

# **Alma Mater Studiorum Università degli studi di Bologna**

---

**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

**CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN INGEGNERIA GESTIONALE**

**TESI DI LAUREA IN**

**VALORIZZAZIONE DELLE RISORSE PRIMARIE E SECONDARIE LS**

## **IMPATTO AMBIENTALE, SOCIALE ED ECONOMICO DEGLI IMPIANTI A BIOMASSA : CONFRONTO TRA IMPIANTI E METODOLOGIE DI ANALISI DIFFERENTI**

**CANDIDATO :**

Ornella Ronchini

**RELATORE :**

Chiar.ma Prof. Alessandra Bonoli

**CORRELATORI :**

Ing. Sergio Palmieri (Co.Se.A)  
Ing. Andrea Paoli (DEIS)  
Ing. Paolo Cagnoli (ARPA)

**ANNO ACCADEMICO 2009 – 2010  
SESSIONE II**

# Indice

<b>1. LE ENERGIE ALTERNATIVE.....</b>	<b>6</b>
1.1. SOSTENIBILITA' E SVILUPPO ENERGETICO SOSTENIBILE.....	6
1.2. LE FONTI RINNOVABILI.....	9
1.2.1.ENERGIA SOLARE.....	14
1.2.2.ENERGIA IDROELETTRICA.....	15
1.2.3.ENERGIA EOLICA.....	16
1.2.4.ENERGIA GEOTERMICA.....	17
<b>2. LA BIOMASSA.....</b>	<b>18</b>
2.1. LA BIOMASSA COME FONTE ENERGETICA.....	18
2.2. DEFINIZIONE BIOMASSA.....	24
2.3. BIOMASSA LEGNOSA.....	27
2.3.1 Caratteristiche chimiche.....	31
2.3.2 Caratteristiche fisiche.....	32
2.3.3 Caratteristiche energetiche.....	33
2.4. CONTENUTO ENERGETICO COMBUSTIBILE LEGNOSO.....	34
2.5. BENEFICI BIOMASSA LEGNOSA.....	36
2.6. APPLICAZIONI BIOMASSA LEGNOSA.....	37
2.7. VANTAGGI DERIVANTI DALL'USO DELLA BIOMASSA LEGNOSA.....	38
2.8. SVANTAGGI DERIVANTI DALL'USO DELLA BIOMASSA LEGNOSA.....	40
2.9. IMPATTO AMBIENTALE BIOMASSE LEGNOSE.....	41
2.10. FILIERA LOGISTICA.....	43
2.11. COMBUSTIBILI SOLIDI DA BIOMASSA.....	43
2.11.1. Legna da ardere.....	44
2.11.2. Pellet-wood pellet.....	45
2.11.3. Cippato-wood chip.....	47
2.11.4. Cippatura e fasi.....	51
2.11.5. Vantaggi e svantaggi cippatura e unità di misura .....	52
2.11.6. Caldaie per impianti alimentati a cippato e caratteristiche.....	54
2.11.7. Stagionatura legno e cippato .....	57
2.11.8. Le cippatrici.....	62
2.11.9. Norme e requisiti qualitativi del cippato.....	69

2.12. AGROENERGIE.....	70
2.12.1. Buone pratiche per le bioenergie.....	79
2.12.2. Effetti dell’anidride carbonica.....	81
2.13. DIGESTIONE ANAEROBICA E BIOGAS.....	85
2.14. NORMATIVA BIOMASSA.....	103
2.14.1. Norme per la produzione di biogas.....	107
2.14.2. Sistemi di incentivazione.....	115
<b>3. CASI STUDIO.....</b>	<b>118</b>
3.1. COGENERAZIONE.....	118
3.2. IMPIANTO A CIPPATO DI CASTEL D’AIANO.....	132
3.2.1 Filiera bosco - legno - energia.....	155
3.2.2 Il software Mini Bref : parte ambientale.....	163
3.2.3 Applicazione Mini Bref all’impianto di Castel d’Aiano.....	175
3.3. IMPIANTO AGRICOLO MENGOLI DI CASTENASO.....	179
<b>4. LCA E SIMAPRO.....</b>	<b>195</b>
4.1. METODOLOGIA LCA.....	195
4.1.1. Cenni storici.....	196
4.1.2. Lca.....	197
4.1.3. Criticità Lca.....	199
4.1.4. Struttura Lca e fasi.....	200
4.1.5. Prima fase di una Lca : definizione obiettivi, scopi e campo di applicazione.....	205
4.1.6. Seconda fase di una Lca : analisi di inventario.....	209
4.1.7. Terza fase di una Lca : la valutazione d’impatto.....	215
4.1.8. Quarta fase di una Lca : interpretazione e miglioramento.....	221
4.1.9. Il metodo degli Eco-Indicator99.....	222
4.1.10. Il metodo Edip – Umip96.....	240
4.2. SOFTWARE SIMAPRO 6.0.....	246
<b>5. RISULTATI LCA.....</b>	<b>250</b>
5.1. CASTEL D’AIANO.....	251
5.2. ANALISI LCA_ APPROVVIGIONAMENTO LA FENICE.....	252
5.2.1. Le diverse fasi.....	253
5.2.2. Risultati con metodo Eco-Indicator99.....	271
5.2.3. Risultati con metodo Edip-Umip96.....	280

5.3. ANALISI LCA_APPROVVIGIONAMENTO ORLANDINI.....	285
5.3.1. Le diverse fasi.....	285
5.3.2. Risultati con metodo Eco-Indicator99.....	288
5.3.3. Risultati con metodo Edip-Umip96.....	297
5.4. ANALISI LCA MENGOLI .....	307
5.4.1. Le diverse fasi.....	309
5.4.2. Risultati con metodo Eco-Indicator99.....	332
5.4.3. Risultati con metodo Edip-Umip96.....	343
5.5. RISULTATI IMPIANTO A BIOGAS AZIENDA MENGOLI E IMPIANTO A CIPPATO DI CASTEL D'AIANO A CONFRONTO.....	351
5.6. RISULTATI MENGOLI CON MINI BREF.....	352
<b>6. ANALISI ECONOMICA.....</b>	<b>356</b>
6.1. SOFTWARE MINI BREF PARTE ECONOMICA.....	356
6.2. ALCUNI CONCETTI DI FINANZA.....	363
6.3. ANALISI ECONOMICA IMPIANTO DI CASTEL D'AIANO.....	379
6.4. ANALISI ECONOMICA IMPIANTO MENGOLI.....	387
<b>7. ARCHITETTURA DI CONTROLLO IMPIANTI A BIOMASSA.....</b>	<b>395</b>
7.1. SISTEMI DI CONTROLLO DISTRIBUITO (DCS).....	395
7.2. SENSORI E ATTUATORI.....	403
7.2.1. I sensori.....	403
7.2.2. Gli attuatori.....	406
7.3. NORMATIVA.....	408
7.3.1. PLC e standard IEC 1131-3.....	408
7.3.2. Normativa sulla sicurezza : IEC 61511 e 61508.....	410
7.4. PROGETTAZIONE SICUREZZA.....	418
7.5. CONTROLLO DELL'IMPIANTO A CIPPATO DI CASTEL D'AIANO.....	421
7.5.1. Architettura di controllo.....	427
7.6. CONTROLLO DELL'IMPIANTO A BIOGAS MENGOLI.....	433
7.6.1. Architettura di controllo.....	434
<b>8. IMPATTO SOCIALE.....</b>	<b>436</b>
8.1. SALVAGUARDARE GLI ASPETTI SOCIALI E AMBIENTALI.....	436
8.2. IL CONSENSO LOCALE.....	439
<b>9. CONCLUSIONI.....</b>	<b>444</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>450</b>

# Introduzione

La presente tesi si pone l'obiettivo di analizzare le tecnologie energetiche da fonte rinnovabile, in particolare l'energia da biomassa. La trattazione è nata da una collaborazione tra Arpa di Bologna, Università degli studi di Bologna, CISA e CoSeA.

Nell'ambito degli impianti a biomassa, col presente elaborato si vorrà mettere in evidenza l'impatto ambientale, sociale ed economico che comportano, attraverso il confronto tra impianti e metodologie di analisi differenti.

Verranno analizzati nel dettaglio due casi studio :

1. Impianto a cippato di legno di Castel d'Aiano (progetto CISA, COSEA e ARPA)
2. Impianto a biogas da biomassa agricola : azienda agricola Mengoli di Castenaso

Tali impianti verranno analizzati in tutti i loro aspetti progettuale, costruttivo, di controllo tramite plc, di impatto ambientale, economico, sociale, di trasporto materia prima e di smaltimento prodotti residui; dall'analisi di tali aspetti seguirà un confronto dei due impianti. Per quanto riguarda il primo impianto verrà inoltre eseguito inoltre un confronto fra i due diversi approvvigionamenti di cui si è avvalso.

Per quanto attiene l'aspetto ambientale verranno utilizzati differenti metodi di analisi del Ciclo di Vita (studio LCA), in particolare tramite software di proprietà dell'Università degli studi di Bologna (SimaPro 6.0) con metodo Eco-Incicator99 e metodo Edip/Umip96; inoltre per valutare i vantaggi della cogenerazione rispetto alla produzione separata di energia ci si è avvalsi di un software dedicato e messo a punto da ARPA di Bologna (Mini Bref).

Per l'aspetto economico si utilizzerà il software di ARPA di Bologna, in fase sperimentale per quanto attiene la parte economica e verrà realizzata un'analisi dell'investimento secondo la metodologia del VAN.

Durante i mesi di tesi per reperire tutte le informazioni necessarie sono state effettuate diverse visite agli impianti, a cui è seguito un lavoro presso gli uffici dell'Università di Bologna e presso la sede ARPA di Bologna per l'utilizzo dei software.

Il risultato finale del presente elaborato sarà dunque una valutazione dell'impatto ambientale complessivo dei casi studio analizzati, secondo le metodologie di analisi sopra citate e una loro valutazione economica, sociale, progettuale, di controllo.

# Capitolo 1 - Le energie alternative

## 1.1 SOSTENIBILTA' E SVILUPPO ENERGETICO SOSTENIBILE

Negli ultimi duecento anni il nostro pianeta ha subito modificazioni molto rilevanti ad opera dell'uomo; tanto che verso la fine degli anni Ottanta del secolo scorso, per la prima volta nella storia dell'umanità, la richiesta di risorse naturali ha superato la capacità di rigenerazione, e si è determinato così uno squilibrio che impedisce tuttora alla biosfera di rigenerarsi allo stesso ritmo con il quale viene consumata. Tale percentuale di "consumo" è andata aumentando, fino a superare, nel 1999, il valore del 120%: in termini concreti per far rinascere ciò che gli esseri umani consumano in un anno non bastano più dodici mesi, ma ne occorrono circa quindici!

La consapevolezza che ciascuna attività umana comporta un'alterazione del fragile e complesso equilibrio del pianeta ha indotto a spostare l'analisi dei rischi, dovuti allo sviluppo tecnologico, su una base molto più ampia. La produzione di energia necessaria a soddisfare esigenze in aumento, i processi di urbanizzazione che interessano quote di popolazione sempre maggiori, lo sviluppo dell'agricoltura volta a soddisfare le crescenti esigenze alimentari, uno standard di vita sempre più elevato e molti altri fattori collegati alla crescita demografica e allo sviluppo tecnologico, concorrono a originare i più importanti e gravi problemi ambientali del pianeta.

Le attività e le tecnologie sopra accennate sono solo alcuni esempi di cause di impatto ambientale, che si manifesta in varie forme ed in diverse scale, tra esse si ricordano:

- l'inquinamento dell'aria, dovuto principalmente ai processi di combustione utilizzati per la produzione di energia;
  - l'inquinamento chimico e biologico delle acque, causato in massima parte dagli scarichi urbani, industriali, agricoli e zootecnici;
  - l'inquinamento da rumore, particolarmente rilevante nei centri urbani ed in prossimità di aeroporti e vie di comunicazione;
  - gli effetti sul paesaggio e sull'assetto del territorio dovuti alla realizzazione di grandi impianti industriali ed energetici e alla costruzione di infrastrutture;
- gli effetti sanitari ed ambientali, dovuti ad incidenti che possono verificarsi in impianti a rischio rilevante, quali centrali nucleari, impianti idroelettrici e chimici

La situazione generale in cui versa oggi il rapporto tra specie umana e ambiente che la circonda non si può definire sostenibile. La **conferenza** delle Nazioni Unite su ambiente e sviluppo, tenutasi a **Rio de Janeiro** nel 1992, ha affermato che la sostenibilità comporta non solo una riduzione dell'uso delle risorse tale da garantire il mantenimento per le generazioni future, ma anche una uguale possibilità di accedervi da parte di tutti i popoli della Terra. L'obiettivo oggi è quello di identificare una strategia di intervento che consenta di **limitare l'uso delle risorse naturali**, permettendo allo stesso tempo nuove possibilità di lavoro e soddisfacenti livelli di sicurezza sociale e di consumo agli abitanti del pianeta.

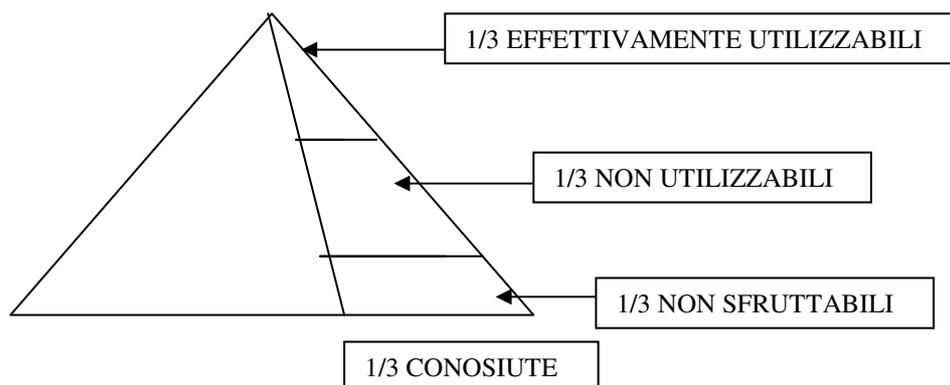
Il concetto di sviluppo sostenibile è stato portato alla notorietà internazionale dal rapporto Brundtland, pubblicato nel 1987, indicando che lo **sviluppo sostenibile** è l'unica strada percorribile per invertire l'attuale rotta negativa. In pratica sostiene che : "l'umanità ha la possibilità di rendere sostenibile lo sviluppo, cioè di far sì che esso soddisfi i bisogni dell'attuale generazione, senza compromettere la capacità di quelle future di rispondere ai loro".

Lo sviluppo sostenibile significa migliorare la qualità di vita umana mantenendosi nei limiti della **capacità** di carico degli **ecosistemi** interessati. Ci sono limiti alla capacità di carico degli ecosistemi della Terra, ovvero agli impatti che essi e la biosfera nel suo complesso possono sopportare senza incorrere in deterioramenti. La Terra ha i suoi limiti che non si possono espandere indefinitamente. Una società è ecologicamente sostenibile quando : garantisce la diversità biologica, assicura che gli usi delle risorse siano rinnovabili, minimizza il consumo delle risorse non rinnovabili, si mantiene entro le capacità di carico degli ecosistemi.

Più risorse vengono prelevate dall'ambiente e consumate per produrre benessere materiale, più gravi sono le conseguenze per l'ambiente. L'obiettivo è di smaterializzare il processo di produzione del benessere umano, usando meno energia e materiali e usando energie rinnovabili (attualmente si stanno impiegando combustibili fossili che sono rinnovabili ma in tempi geologici lunghi, perciò considerate non rinnovabili).

Il consumo di risorse materiali può essere rappresentato da un diagramma triangolare :

le risorse sulla Terra sono il triangolo



Si assisterà a una **crescita della domanda di energia**. Il problema, pertanto, non riguarderà solamente la reperibilità delle risorse energetiche, ma anche gli effetti che un loro utilizzo incontrollato provocherà sull'ambiente. Appare pertanto evidente come anche l'accesso all'energia debba essere caratterizzato da condizioni di sostenibilità.

Dalla *Conferenza di Kyoto* – 11 dicembre 1997 e in vigore dal 2005 - si evince come il ricorso alle fonti di energia rinnovabile si imponga come scelta obbligata per la riduzione e il contenimento dei gas ad effetto serra, CO<sub>2</sub> in primis.

Uno sviluppo energetico sostenibile a livello ambientale si persegue attraverso la promozione, il ricorso e la diffusione di **energie rinnovabili** di pari passo con l'ideazione di tecnologie di conversione più efficienti, il tutto accompagnato da un incremento del risparmio energetico.

*Conferenza di Copenaghen* : Conferenza delle Nazioni Unite sul Cambiamento Climatico dal 7 al 18 Dicembre nella città danese, dove i leaders di tutto il mondo dovevano trovare un accordo vincolante, un trattato quindi, che fissasse le riduzioni di emissioni in modo non più eludibile (risultati di Kyoto saranno disattesi) e stabilisse i come e i dove della politica ambientale globale. Quello che doveva emergere dalla Conferenza erano i binari da percorrere nello scenario futuro per garantire che il surriscaldamento terrestre non proceda con i ritmi attuali. Ritmi che segnerebbero la fine dell'umanità, prima o poi. In due parole, si parla di post-Kyoto. La Conferenza stabilì quindi di ridurre le emissioni di anidride carbonica entro il 2050 della metà.

A Copenaghen si è deciso di lasciare una certa libertà di azione ai Paesi, per cercare di ridurre qualcosa per il 2020, ma definito per il 2050.

Le fonti energetiche a livello globale sono in prevalenza fossili (80-90%) concentrate in pochi areali.

Alcune informazioni sulle fonti energetiche non rinnovabili :

	<b>GAS NATURALE</b> (mc x 10 <sup>6</sup> )	<b>PETROLIO</b> (barili x 10 <sup>6</sup> )	<b>CARBONE</b> t x 10 <sup>6</sup> )
<b>Riserve mondiali x 10<sup>6</sup></b>	174.436.171	1.206.781	841.086
<b>Consumo mondiale per sec</b>	92.653	986	203
<b>Consumo mondiale per gg x 10<sup>6</sup></b>	80.521,2	85,2	17,5
<b>Data stimata di esaurimento</b>	12/9/2068	22/10/2047	9/5/2140

## 1.2 LE FONTI RINNOVABILI

Le energie da fonti rinnovabili, definite da molti per convenzione energie rinnovabili, sono quelle derivate dall'utilizzo di materiali naturali che sono inesauribili. Le energie rinnovabili sono cioè quelle fonti energetiche che **si rigenerano almeno alla stessa velocità con cui le si usano**, ed hanno un **impatto ambientale minore** rispetto alle tecnologie tradizionali. Gli interventi tesi alla diffusione delle fonti di energia rinnovabile appaiono l'unica soluzione che i Paesi ad economia avanzata, come del resto i Paesi in via di sviluppo, debbano intraprendere per la tutela e la salvaguardia dell'ambiente.

Quelle tradizionali sono invece generate da fonti esauribili e in quanto tali disponibili in quantità definita, per quanto ingenti possano essere le scorte, come i combustibili fossili (carbone, petrolio, gas, uranio).

E' possibile praticare delle politiche adeguate a questa fase della globalizzazione e di crisi ecologica o delle risorse. Comporta incentivare gli investimenti a **basso input di materie prime e di energia**.

L'energia rinnovabile è invece energia derivante da fonti dotate di un potenziale energetico che non si esaurisce nel tempo. Tra esse rientrano tutte le fonti di energia non fossili: *solare, idraulica, eolica, geotermica e le biomasse*. Poiché l'era dei combustibili fossili, prima o poi, sarà destinata a declinare, si manifesta già da ora l'esigenza di trovare fonti energetiche che possano garantire in futuro un approvvigionamento energetico sicuro e possibilmente accompagnato da un ridotto impatto ambientale. Tuttora non è ancora chiaro quali siano le fonti energetiche in grado di sostituire i combustibili fossili, ma nei laboratori di tutto il mondo la ricerca è continua e l'obiettivo comune: **energia rinnovabile e sostenibile**.

L'utilizzo delle energie rinnovabili rappresenta un'esigenza sia per i Paesi industrializzati, sia per quelli in via di sviluppo. I primi devono impegnarsi a perseguire, nel breve periodo, un uso maggiormente sostenibile delle risorse, una riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra e dell'inquinamento atmosferico, una diversificazione del mercato energetico e una sicurezza nell'approvvigionamento dell'energia. Per i Paesi in via di sviluppo, le energie rinnovabili rappresentano una concreta opportunità di sviluppo sostenibile e di accesso all'energia anche in corrispondenza di aree remote.

La crescita del mercato delle tecnologie legate all'impiego di energie rinnovabili è prevista intorno al 20÷30% l'anno, ed entro il 2060 è stimato che più della metà del consumo di energia mondiale sarà derivato da fonti energetiche rinnovabili, in relazione anche al consistente rincaro del prezzo del greggio e alle previsioni di esaurimento delle riserve di combustibili fossili. In particolar modo, l'Unione Europea mira ad aumentare

l'uso delle risorse rinnovabili al fine di **limitare la dipendenza dalle fonti fossili** convenzionali e allo stesso tempo far fronte ai pressanti **problemi di carattere ambientale** conseguenti al loro utilizzo. A conferma di ciò la Direttiva 2001/77/CE *“Promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili”*.

L'energia rinnovabile è tratta dal sole (fotovoltaica), dal vento (eolica), dal moto ondoso (marina), dalle masse di scarto (biomassa), dalle acque calde delle viscere della terra (geotermia). Insomma l'energia prodotta da tutte quelle fonti naturali che non si esauriscono.

La normativa italiana considera fonti di energia rinnovabili il sole, il vento, le risorse idriche, le risorse geotermiche, le maree, il moto ondoso e la trasformazione in energia elettrica dei prodotti vegetali o dei rifiuti organici e inorganici. Per definizione sono esclusi da questa categoria tutti i combustibili fossili (carbone, gas naturale, petrolio) poiché soggetti ad esaurimento.

Ma l'energia rinnovabile ha un'altra fondamentale caratteristica: quella di non produrre effetti negativi sull'ambiente, né modifiche al clima e tantomeno variazioni alla temperatura globale della terra. Le energie rinnovabili sono le risorse del futuro. Ci sono però problemi di efficienza e soprattutto economici. Gli impianti occupano in molti casi grandi superfici (come molte wind farm o pannelli fotovoltaici) per ottenere solamente esigue quantità di energia. I costi elevati e la scarsa diffusione delle opportunità esistenti per accedere a fondi comunitari non fanno decollare il settore del rinnovabile in Italia.

Il fabbisogno energetico mondiale attualmente è soddisfatto fondamentalmente dai combustibili fossili, tuttavia il sole, il vento e il mare potrebbero già, con le tecniche di conversione attuali, coprire pienamente la richiesta energetica.

I costi delle energie rinnovabili si stanno inoltre rapidamente abbassando, premessa indispensabile per una loro diffusione su larga scala. L'energia per esempio che arriva dal sole sulla terra in 40 minuti è pari a tutta l'energia consumata dall'umanità in un anno. Questo imponente flusso di energia luminosa genera inoltre tutti i fenomeni che danno origine alla vita sul pianeta. Sulla terra sono le trasformazioni dell'energia solare che danno origine al vento, alla pioggia, ai cicli meteorologici che permettono la vita. Prendendo in considerazione l'energia ottenibile con l'attuale tecnologia disponibile per sfruttare sole, vento e mare, si possono ipotizzare già scenari futuri rassicuranti.

Il *protocollo di Kyoto* è un trattato internazionale in materia ambientalistica riguardante il riscaldamento globale sottoscritto nella città giapponese di Kyoto l'11 dicembre 1997 da più di 160 paesi.

5

Il trattato è entrato in vigore il 16 febbraio 2005, dopo la ratifica anche da parte della Russia. Il trattato prevede l'obbligo di operare una riduzione delle emissioni di elementi inquinanti in una misura non inferiore al 5,2% rispetto alle emissioni registrate nel 1990 (considerato come anno base) nel periodo 2008-2012.

Tenere in considerazione l'evoluzione delle diverse fonti energetiche rinnovabili è importante, valutare le loro prospettive di sviluppo partendo da un confronto tra l'evoluzione di riferimento e quella auspicabile.

I paesi dell'Unione Europea hanno attribuito allo sviluppo di tali fonti un ruolo di rilievo per il raggiungimento dell'obiettivo della riduzione delle emissioni prevista dal Protocollo di Kyoto. Lo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili assume inoltre un rilievo particolare nell'ottica di un rafforzamento della sicurezza dell'approvvigionamento energetico, contribuendo ad incrementare la loro quota di produzione.

La domanda mondiale di elettricità raddoppierà andare al 2030, principalmente nei Paesi in via di sviluppo. La potenza installata nelle centrali aumenterà sia per rispondere all'aumento previsto della domanda, sia per sostituire gli impianti obsoleti. L'investimento nel settore elettrico sarà di circa 10 miliardi di dollari.

I blackouts di anni fa hanno messo in luce l'importanza di adeguati margini di riserva, di una migliore flessibilità delle reti e di una regolamentazione che incentivi gli investitori. Le fonti di energie rinnovabile, nel loro insieme, aumenteranno la loro quota di produzione di energia elettrica dove **l'aumento maggiore** si registrerà per **l'eolico e la biomassa**.

L'energia è fondamentale per lo **sviluppo economico**. Il benessere portato dallo sviluppo economico stimola a sua volta la domanda per una maggiore quantità e migliore qualità dei servizi energetici.

Questi servizi contribuiscono a soddisfare i bisogni come l'alimentazione e l'alloggio e lo sviluppo sociale, migliorando anche l'istruzione e la salute pubblica. L'**energia** elettrica quindi svolge un ruolo fondamentale per lo **sviluppo umano**.

Nei paesi più poveri purtroppo siamo ancora indietro su questo processo, i tassi di elettrificazione aumenteranno ma il numero totale di persone senza elettricità diminuirà leggermente.

Tutte le regioni in via di sviluppo però avranno un aumento dell'uso pro capite di energia e un migliore accesso ai moderni servizi energetici come l'elettricità. I governi devono agire in modo deciso e per spezzare il circolo vizioso della povertà energetica e del sottosviluppo nei paesi più poveri del mondo.

Quest'azione richiederà un aumento dell'offerta di energia commerciale a prezzi accessibili, inoltre un adeguato controllo del settore dell'energia sarà indispensabile per migliorare la quantità e qualità dei servizi energetici.

Si ipotizza quindi un quadro dell'energia più efficiente e più rispettoso dell'ambiente per favorire una rapida diffusione di tecnologie più efficienti e pulite. Innanzitutto si auspica una riduzione della domanda di combustibili fossili soprattutto grazie a politiche volte a promuovere le energie rinnovabili, facendo inoltre anche diminuire la **dipendenza dalle importazioni di petrolio**.

Secondo ipotesi di scenari le emissioni nei paesi industrializzati si stabilizzerebbero nel 2020 e dopo inizierebbero a diminuire. Meno della metà della riduzione delle emissioni sarebbe attribuibile ad un uso più efficiente dell'energia nei veicoli, nelle apparecchiature elettriche, nell'illuminazione e nell'industria; la maggior parte invece sarebbe dovuto al **cambiamento del mix energetico** per la produzione di energia elettrica in favore delle energie rinnovabili.

La battaglia contro il cambiamento climatico che l'Unione Europea conduce ormai da anni parte dal fatto che il cambiamento climatico è un problema mondiale che non può essere risolto dall'azione di una singola nazione o regione. Anche dopo la **Conferenza di Copenaghen** del 2009, la domanda fondamentale risulta : *Una riduzione delle emissioni del 20% al 2020 è possibile?*

Se consideriamo le difficoltà che alcuni paesi incontrano nel perseguimento anche solo del primo obiettivo del Protocollo di Kyoto e che alcuni non lo raggiungeranno se non attraverso cospicui investimenti, il target della politica europea risulta visionario. Esso è comunque parte di un pacchetto più ampio che comprende una forte espansione delle energie rinnovabili e misure di efficienza energetica.

Ora ci si trova di fronte alla doppia sfida della crescita globale di energia e della decarbonizzazione dell'economia. Le strategie e le misure per questo condizioneranno le future scelte energetiche e i costi dell'energia.

L'emissione di anidride carbonica ha un valore economico negativo e ciò spinge verso l'aumento degli investimenti in ricerca e sviluppo per le fonti rinnovabili. La domanda crescente di petrolio della Cina tiene il prezzo al barile alto. In tale contesto il prezzo dell'energia non è destinato a scendere.

L'impatto economico del permanere di un prezzo dell'energia basato sul petrolio così alto comporta : aumento dell'inflazione, aumento della disoccupazione, aumento delle speculazioni sui prezzi petroliferi.

Un aumento della domanda energetica a base petrolifera comporterà anche un forte aumento delle emissioni di CO2 in atmosfera (di cui più di 2/3 deriva dai paesi in via di industrializzazione come la Cina).

L'Italia per esempio è un paese molto dipendente dal petrolio e dall'importazione di combustibili fossili, e avrà un aumento della bolletta energetica. Inoltre le riserve di idrocarburi si stanno rapidamente esaurendo e crescono le importazioni delle fonti energetiche generando così una forte dipendenza energetica per l'Italia.

Quindi senza interventi di politica economica si avrà un peggioramento del settore energetico. Questa prospettiva comporterà maggiori costi per i consumatori, minore competitività per le imprese e minore sostenibilità ambientale.

Per poter migliorare le condizioni di **elevato costo** energetico, **dipendenza** e scarsa **compatibilità ambientale** si deve accelerare lo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili (hanno emissioni zero e offrono nuova occupazione), aumentare l'efficienza energetica e il risparmio in tutti gli usi finali dell'energia (comporta riduzioni della domanda e quindi meno importazioni di energia). Occorre però superare le ostilità locali all'insediamento, costruzione e gestione di nuovi apparati che producono, trasportano e distribuiscono energia.

Suddivisione percentuale delle fonti energetiche a livello globale :

<b>FONTI</b>	<b>%</b>
Petrolio	33 – 35
Carbone	25 – 28
Gas naturale	21 – 26
Biomasse	10 – 12
Nucleare	6 – 7
Idroelettrica	2 – 3
Nuove rinnovabili	0 – 1

## 1.2.1 ENERGIA SOLARE

Le radiazioni derivanti dall'irraggiamento del sole al suolo costituiscono un immenso serbatoio di energia

pulita, rinnovabile e a costo zero. L'energia solare è in assoluto la fonte energetica più abbondante: ogni

anno, il sole irradia sulla terra un'energia equivalente a 16.000 miliardi di TEP (Tonnellata Equivalente di Petrolio).

La quantità di energia varia secondo la latitudine del luogo. In particolare essa è massima all'equatore, mentre è minima ai poli, pertanto questa fonte energetica può essere sfruttata solo entro una fascia ristretta.

I problemi principali, incontrati nello sfruttamento di tale fonte energetica, sono dovuti sia alla sua diluizione, per cui sono necessari spazi relativamente ampi allo scopo di raccoglierla e concentrarla, sia all'irregolarità dell'irraggiamento, conseguente all'alternarsi del giorno e della notte e delle stagioni.

I metodi attualmente disponibili per lo sfruttamento dell'energia solare sotto forma di energia termica sono due:

- con concentrazione, mediante specchi parabolici fissi o mobili, o lenti che riflettono la radiazione verso pannelli o caldaie per la produzione di acqua calda sia a bassa temperatura, impiegata in impianti di civili abitazioni, sia ad alta temperatura, per generare vapore che, convogliato ad una turbina, fornirà energia elettrica;
- senza concentrazione, mediante pannelli applicati o integrati nelle chiusure degli edifici (pareti, tetti).

Centrali elettriche che si alimentano grazie all'energia solare sono già in funzione in diverse zone del mondo, ma la quantità di energia che esse erogano rappresenta tuttora una quota irrisoria, rispetto al fabbisogno energetico mondiale. Gli inconvenienti derivanti dalla nuvolosità, dalla densità dell'atmosfera e dall'incidenza dei raggi solari hanno indotto i tecnici della NASA ad attivarsi per un progetto che consenta di captare l'energia solare nello spazio, al di sopra dell'atmosfera, mediante la collocazione in orbita di satelliti geostazionari, in grado di catturare le radiazioni solari mediante pannelli fotovoltaici.

Attualmente il kWh prodotto ha un costo già più che competitivo se confrontato con il costo dell'energia elettrica ottenuta da fonti esauribili.

## 1.2.2 ENERGIA IDROELETTRICA

L'energia idroelettrica sfrutta l'energia potenziale contenuta in una portata d'acqua che si trova disponibile ad una certa quota rispetto al livello cui sono posizionati gli impianti di conversione.

La potenza di un impianto per la produzione di energia idroelettrica è funzione di due termini: il salto, cioè il dislivello esistente fra la quota cui è disponibile la risorsa idrica svasata e il livello cui la stessa viene restituita dopo il passaggio dall'utilizzatore, e la portata, cioè la massa d'acqua che fluisce attraverso l'utilizzatore nell'unità di tempo. Il salto trasforma l'energia potenziale in energia cinetica, che a sua volta viene convertita in energia elettrica dagli utilizzatori.

In particolare il terzo mondo continua a fare affidamento su questa risorsa economicamente conveniente

pulita, ma messa in discussione dai gravi impatti ambientali ad essa conseguenti. I bacini artificiali, infatti

sconvolgono i precedenti equilibri ecologici, distruggono foreste e risorse faunistiche e sono responsabili di

serie ripercussioni sul clima.

Nei paesi sviluppati, il ricorso a centrali idroelettriche non è venuto meno, tuttavia si tendono a privilegiare

impianti di piccole dimensioni, quindi caratterizzati da un minor impatto ambientale.

Oggi la tecnologia

consente di ottenere energia a prezzi convenienti anche dallo sfruttamento di piccoli salti, potendosi così

installare impianti, non solo nelle regioni di montagna, ma anche in pianura.

Il costo del kWh ottenuto con i sistemi idroelettrici è sempre stato competitivo se rapportato a quello ottenuto

dai combustibili fossili. Questo è evidente in quanto i costi di produzione per lo sfruttamento delle risorse

idriche sono imputabili unicamente agli impianti di produzione, e i costi di manutenzione e di gestione.

Inoltre un'altra considerazione riguarda il moto ondoso degli oceani e i flussi di marea dai quali,

teoricamente, si potrebbero recuperare ingenti quantità di energia.

### 1.2.3 ENERGIA EOLICA

Il vento, abbondante, economico, inesauribile, pulito e ampiamente distribuito in ogni parte del pianeta, è la fonte energetica che negli ultimi anni ha conosciuto il maggior sviluppo. Infatti, a partire dagli anni Settanta gli studi e le applicazioni tecnologiche, legati allo sfruttamento dei venti per la produzione di energia, hanno ricevuto un nuovo impulso, e ad oggi, tale energia è sostenuta da un sempre maggior numero di valutazioni che mettono in evidenza l'enorme potenziale offerto, tanto che, anche tra gli ambientalisti, sono sempre meno gli oppositori.

Come aspetto negativo è da segnalare che non tutte le zone del pianeta risultano idonee all'installazione di

impianti eolici. Questo a causa dell'irregolarità dei venti caratteristica di certe aree, della loro debolezza,

visto che, per essere sfruttabili, devono spirare ad una velocità non inferiore a 4 m/s e per almeno un

centinaio di giorni l'anno, degli elevati costi di trasporto dell'energia prodotta, che escludono i siti lontani

dal luogo di utilizzo, e della tecnologia sinora elaborata, che non consente di creare stazioni in grado di

fornire grandi quantitativi energetici.

L'energia prodotta da una turbina eolica durante il corso della sua vita media è circa 80 volte superiore a quella necessaria alla sua costruzione, manutenzione, esercizio, smantellamento e rottamazione. Si è calcolato che ad una turbina sono sufficienti due o tre mesi di funzionamento per recuperare tutta l'energia spesa per la sua costruzione e il suo mantenimento in esercizio.

Attualmente le turbine eoliche ad alta tecnologia sono molto silenziose: si è calcolato che, ad una distanza di circa 200 metri, il rumore indotto dalla rotazione delle pale del rotore si confonde completamente con il rumore di fondo dovuto al vento che attraversa la vegetazione circostante.

Il minor impatto ambientale e paesaggistico si ottiene collocando gli impianti in mare aperto oltre l'orizzonte visibile dalle coste (*off-shore*).

L'energia prodotta varia con il cubo della velocità del vento, mentre il costo del kWh prodotto dipende fortemente dalla ventosità del sito, e quindi, la sua scelta è fondamentale e deve basarsi su una corretta campagna anemologica di caratterizzazione sperimentale.

#### 1.2.4 ENERGIA GEOTERMICA

Per energia geotermica s'intende l'energia contenuta, sottoforma di calore, al di sotto della crosta terrestre. L'origine di questo calore è da porre in relazione con la natura interna del pianeta e con i processi fisici che in esso hanno luogo.

Si definisce gradiente geotermico l'aumento di temperatura con la profondità calcolata dalla superficie terrestre, esso non è un valore fisso e distribuito omogeneamente su tutto il pianeta, ma può variare nella litosfera da zona a zona. In media il valore del gradiente geotermico è pari a circa 3°C ogni 100 metri di profondità, ma nelle zone geologicamente attive, come quelle vulcaniche e in prossimità delle dorsali oceaniche, tale valore può arrivare a 9÷16°C ogni 100 metri.

La risorsa geotermica è costituita da acque sotterranee che, venendo a contatto con rocce ad alte temperature, si riscaldano e in alcuni casi vaporizzano e vanno a formare i cosiddetti "*serbatoi geotermici*": in essi il calore assorbito dall'acqua è trattenuto da uno spesso strato di rocce impermeabili. A causa dell'esaurimento che, dopo un certo numero di anni, possono subire i campi geotermici, sono stati avviati esperimenti per tentare operazioni di ricarica. Quella geotermica è una fonte energetica a erogazione continua e indipendente da condizionamenti climatici, ma essendo difficilmente trasportabile, è utilizzata prevalentemente a livello locale.

Attualmente il costo di un kWh di energia elettrica, ottenuto in centrali geotermoelettriche, è non molto distante da quello relativo a centrali a ciclo combinato a metano, che oggi garantiscono il minor costo.

Un'interessante applicazione delle acque geotermiche a basse temperature è costituita dall'innaffiamento delle colture di serra o dall'irrigazione ad effetto climatizzante, in grado di garantire produzioni agricole anche nei paesi freddi.

# Capitolo 2 – La Biomassa

## 2.1. LA BIOMASSA COME FONTE ENERGETICA

Per biomassa si intende : *la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (sostanze vegetali e animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani.*

Dalle biomasse vegetali si dovrebbero ottenere principalmente biocarburanti che andrebbero a sostituire parte dei carburanti liquidi tradizionali. Attualmente la quasi totalità del fabbisogno energetico mondiale viene soddisfatto dai combustibili fossili (vedi tabella), le cui riserve, come noto, sono destinate ad esaurirsi. L'impiego dei combustibili fossili causa l'immissione in atmosfera di forti quantità di CO<sub>2</sub>, gas che provoca l'aumento dell'effetto serra e del conseguente aumento della temperatura terrestre, fattore che potrebbe portare a cambiamenti climatici catastrofici per il genere umano.

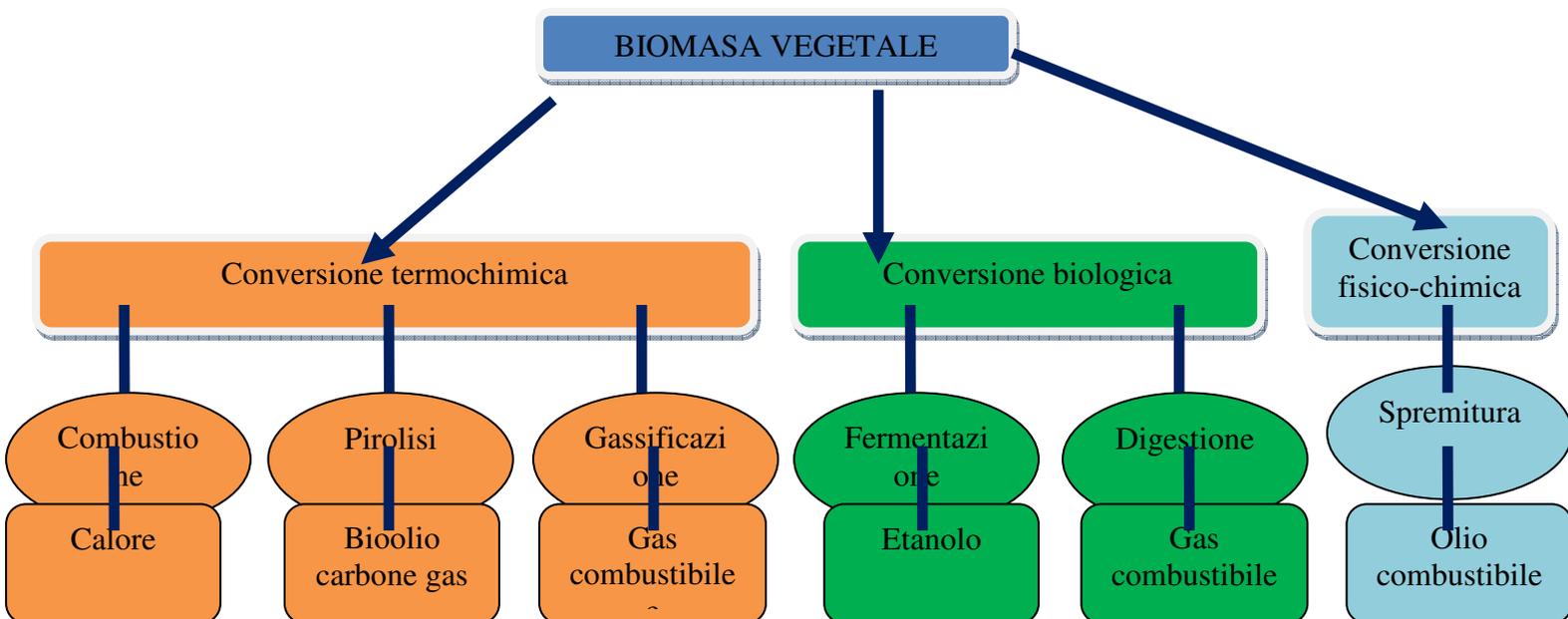
TIPO COMBUSTIBILE	POTENZA TW	ENERGIA ALL'ANNO EJ
Petrolio	5,6	180
Gas Naturale	3,5	110
Carbone	3,8	120
Idroelettrico	0,9	30
Nucleare	0,9	30
Geotermico, eolico, solare, legno	0,13	4
TOTALE	15	471

Le forme della biomassa :

- ▶ GASSOSA (biogas)
- ▶ LIQUIDA (biodiesel)
- ▶ SOLIDA (biomassa legnosa)

## Energia dalle biomasse

Schema esemplificativo delle diverse modalità con cui ottenere energia dalle biomasse, tramite conversione delle biomasse in combustibile.



Le bioenergie spesso vengono indicate come biomasse e rappresentano le energie rinnovabili ricavate direttamente o indirettamente dai vegetali. Hanno una origine biologica recente, derivante dalla fotosintesi e provenienti da agricoltura, selvicoltura e industrie collegate (comprese pesca e acquacoltura) e inoltre, se rispondete a certe caratteristiche, la porzione biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani.

L'origine delle biomasse è detta "sporca", cioè è costituita da scarti vegetali, residui di lavorazione, sterco animale e ha una conversione in energia poco efficiente.

Attualmente le bioenergie rappresentano una piccola parte del consumo energetico mondiale, ed essenzialmente tale apporto è determinato da combustione diretta, utilizzata per il riscaldamento e la cottura nei paesi in via di sviluppo. L'energia elettrica prodotta da biomassa rappresenta attualmente solo il 11% della produzione mondiale di energia, questa percentuale in base a stime prudenziali è destinata ad aumentare.

Le bioenergie solo per un 30% interessano direttamente l'agricoltura che può essere suddiviso in tre tipologie in base all'origine e alla destinazione :

1. Residui con matrice organica proveniente da aziende agricole o agroindustriali
2. Di origine forestale
3. Colture dedicate, cioè coltivate appositamente per ottenere energia

Anche per lo sviluppo delle biomasse vegetali l'energia solare è fondamentale: il motore di tutte le trasformazioni energetiche è il processo di fotosintesi clorofilliana, è grazie ad esso che le piante sintetizzano molecole ad alto contenuto energetico partendo dall'acqua e dalla CO<sub>2</sub> presente nell'aria.

La produzione di biomassa è quindi legata fundamentalmente alla quantità di energia luminosa e all'acqua disponibili per le piante. Per poter recuperare l'energia di legame chimico presente nelle biomasse vegetali sono possibili differenti conversioni energetiche, solamente alcune sono già applicabili a livello industriale, e non tutte risultano economicamente convenienti rispetto all'utilizzo dei combustibili fossili.

Sono state condotte diverse attività tese a verificare come i residui organici possano essere utilizzati

nella coltivazione di biomasse destinate alla produzione di energie rinnovabili.

L'aumento della densità energetica è un punto chiave perché le biomasse possano competere con i combustibili fossili, avendone fino a 5 volte in meno per unità di volume.

La composizione chimica delle biomasse può essere inoltre molto diversa, viceversa negli impianti di trasformazione è necessario usare un prodotto di qualità omogenea. I processi di aumento della densità energetica consentono di diminuire i costi di trasporto e rendono utilizzabile la biomassa anche lontano dagli ambienti di produzione. Attualmente gli impianti a livello dimostrativo presentano delle difficoltà relative all'ottenimento di rese soddisfacenti di un prodotto con qualità omogenea.

### **Processi termochimici.**

Il calore prodotto può essere convertito in energia elettrica: il rapporto C /N deve essere superiore a 30 e l'umidità alla raccolta inferiore al 30%.

- ✓ *combustione diretta*: consiste nel bruciare la biomassa in presenza di aria.

- ✓ *gasificazione*: processo in cui materiale ligno-cellulosico è termochimicamente convertito in un gas a basso o medio potere calorifico inferiore, tramite la vaporizzazione dei componenti più volatili (gas di idrocarburi, idrogeno ecc.). È il processo termochimico per cui la biomassa viene trasformata in un gas combustibile (detto syngas), sotto l'azione del calore ed in atmosfera controllata. Virtualmente qualsiasi tipo di biomassa può essere trasformata in un mix di gas, che può essere bruciato per alimentare un ciclo a vapore.
- ✓ *pirolisi*: decomposizione di materiali organici, per mezzo di calore (tra 400 e 800°C) e in completa assenza di ossigeno. I prodotti sono sia gassosi, sia liquidi.

### **Processi biochimici.**

Processi di fermentazione con il contributo di enzimi, funghi e micro-organismi → *biogas* (miscela di metano e anidride carbonica) C/N sia inferiore a 30 e l'umidità alla raccolta superiore al 30%.

- ✓ *digestione aerobica*: metabolizzazione delle sostanze organiche per opera di micro-organismi, il cui sviluppo è condizionato dalla presenza di ossigeno.
- ✓ *digestione anaerobica*: avviene in assenza di ossigeno e consiste nella demolizione, ad opera di micro-organismi, di sostanze organiche complesse contenute nei vegetali e nei sottoprodotti di origine animale, producendo gas (biogas)
- ✓ *fermentazione alcolica*: avviene per mezzo della presenza di lieviti in condizioni di ambiente privo di ossigeno.

### Il biogas

**Digestione** : dalla digestione anaerobica delle biomasse vegetali ricche di cellulosa e amido come noto si può ottenere del biogas contenente più del 50% di metano. Il biogas ottenuto attualmente viene utilizzato come carburante per gruppi elettrogeneratori, ma è possibile, previa depurazione, anche se non ancora attuata nel nostro paese, l'immissione nelle normali reti di distribuzione del metano. La tecnologia di produzione di biogas da biomasse agricole è matura. Il processo accetta una molteplicità di matrici vegetali e non, mantenendo elevata la sua efficacia. La relativa semplicità degli impianti ne consente una distribuzione diffusa sul territorio.

La penetrazione delle biomasse nel mercato dell'energia dipende non solo da un'adeguata valorizzazione della componente energetica, ma anche da una puntuale pianificazione territoriale che tenga conto di fattori quali le caratteristiche geologiche e pedoclimatiche della zona in esame, le risorse potenziali, i costi economici delle colture, il mercato dei combustibili alternativi alla biomassa con destinazione energetica, le esigenze energetiche locali, il degrado ambientale della zona, ecc. I problemi relativi alla tecnologia da adottare vanno esaminati soltanto dopo un'accurata verifica degli aspetti macroeconomici e "macroecologici" su indicati.

Le biomasse permettono oggi un risparmio rilevante di combustibili fossili sia nei Paesi industrializzati, sia in quelli emergenti o a basso sviluppo tecnologico. Il potenziale delle biomasse tecnicamente utilizzabile a livello mondiale è poco più di 2.000 Mtep/a.

Fra i fattori determinanti per le previsioni sulla bioenergia vi è certamente la quantità di territorio potenzialmente interessata alla produzione di biomassa sia sotto forma di residui e sottoprodotti sia di coltivazioni dedicate.

Per quanto riguarda la potenziale diffusione delle coltivazioni dedicate alla produzione di biomassa, i fattori da considerare sono numerosi (strutturali, geografici, economici, sociali, ecc) e di non facile interpretazione. Una stima di facile lettura fa ammontare ad un milione di ha il territorio che potrebbe essere destinato alla riconversione a colture annuali o poliennali per la produzione di biomassa da energia. Le produttività attese sono molto variabili, dipendendo anche in questo caso da un numero di fattori elevato. Altre quantità di biomassa potrebbero poi derivare da ulteriori fonti non tradizionali quali la manutenzione del verde urbano, la gestione di siepi e filari, la pulizia di alvei fluviali. In definitiva il potenziale globale è certamente elevato e potrebbe assicurare un approvvigionamento stabile agli impianti di conversione energetica.

Una più attenta programmazione impone studi sul territorio, analizzando caso per caso le specifiche condizioni locali che influenzano le effettive potenzialità: da qui la necessità di una stretta collaborazione tra l'Amministrazione Pubblica, il mondo imprenditoriale, con a supporto il settore della ricerca.

Per quel che riguarda l'uso della biomassa vegetale a scopo energetico, in realtà il consumo è fortemente disomogeneo a livello geografico e regionale, in quanto strettamente correlato alla morfologia e al clima del territorio.

La legna rappresenta il 98,5% della quantità complessiva di biomassa vegetale consumata, mentre carbonella, gusci di noci, nocciole e mandorle e sansa costituiscono un'esigua percentuale dei consumi e le ultime due tipologie hanno un carattere prettamente locale, cioè si consumano dove esistono le relative attività produttive.

La biomassa vegetale è utilizzata per riscaldare, produrre acqua calda e cucinare.

Il potenziale globale, certamente elevato, con opportuni investimenti potrebbe crescere ulteriormente, fino a fornire una quota di copertura dei consumi nazionali di energia primaria pari almeno al 15%. Per raggiungere questo obiettivo è necessario agire sui seguenti aspetti:

- incremento dei campi di applicazione e delle filiere;
- ottimizzazione economica delle varie fasi di filiera;
- miglioramento tecnologico dei rendimenti di conversione finale;
- emanazione di normative e incentivi opportunamente mirati.

S'impone quindi la necessità di un'attenta programmazione, che pone le proprie fondamenta su studi specifici ed analisi del territorio, nelle quali saranno opportunamente enfatizzate le condizioni locali che influenzano le effettive potenzialità.

Pertanto la strada da perseguire è quella di una sempre più spinta valorizzazione della bioenergia, questo non solo come conseguenza della crescente sensibilità verso i temi ambientali, ma anche per effetto delle vicissitudini economico-politiche che i combustibili fossili stanno sempre più frequentemente incontrando, in particolare il continuo incremento dei prezzi e le crescenti incertezze e difficoltà nell'approvvigionamento.

Il 22,7% del territorio italiano, pari a 6,8 milioni di ettari è coperto da boschi!

Il 52,9% dei boschi italiani, pari a 3,6 milioni di ettari, è classificato come ceduo!

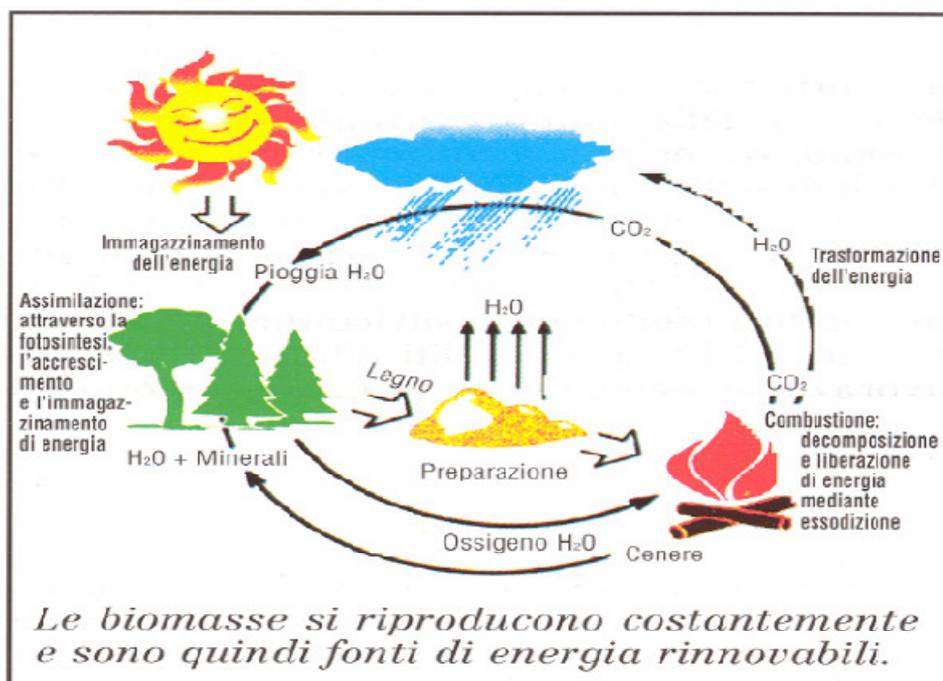
L'andamento dei prelievi di legname in Italia è stato influenzato molto più dalla dinamica del mercato della legna ad uso energetico che da quello del legname da opera.

Mentre il ruolo particolarmente significativo delle produzioni a fini energetici fino ai primi anni '50 era spesso connesso ad un prelievo eccessivo se rapportato alla capacità produttiva degli ecosistemi, dopo l'evidente rallentamento delle utilizzazioni negli anni '60, '70 e '80, la ripresa dei tagli avviene in un quadro di complessiva sostenibilità: l'utilizzazione di  $1 \div 1,5 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot \text{anno}$ .

## 2.2. DEFINIZIONE BIOMASSA

Con il termine biomassa ci si riferisce genericamente a tutto ciò che ha matrice organica, ogni tipo di materiale che origina dagli organismi viventi derivante direttamente o indirettamente dall'attività fotosintetica delle piante; essa rappresenta la forma più sofisticata di accumulo dell'energia solare, ottenuto attraverso la conversione della CO<sub>2</sub> atmosferica in materia organica.

La biomassa è una fonte rinnovabile che presenta un utilizzo energetico già efficiente, e può infatti essere utilizzata in modo immediato come combustibile per generare energia termica. E' legata comunque alla disponibilità di materia prima, che può essere ottenuta da rifiuti organici di origine urbana, agroindustriale o forestale oppure da apposite coltivazioni.



Vediamo la tipologia e la provenienza delle biomasse combustibili :

- Materiale vegetale prodotto da coltivazioni dedicate; ;*
- Materiale vegetale prodotto da interventi selvicolturali, da manutenzioni forestali e da potatura;*
- Materiale vegetale prodotto dalla lavorazione esclusivamente meccanica di legno vergine e costituito da cortecce, segatura, trucioli, chips refili e tondelli di legno vergine, granulati e cascami di legno vergine, granulati e cascami di sughero vergine, tondelli, non contaminati da inquinanti, aventi le caratteristiche previste per la commercializzazione e l'impiego;*

*d) Materiale vegetale prodotto dalla lavorazione esclusivamente meccanica di prodotti agricoli, avente le caratteristiche previste per la commercializzazione e l'impiego*

Per **biomassa utilizzabile ai fini energetici** si intende un materiale organico che può essere utilizzato, direttamente o con trasformazioni termochimiche, biologiche o biochimiche atte a migliorarne le proprietà energetiche, come combustibile negli impianti di conversione. Un vasto insieme di materiali di natura eterogenea di matrice organica, ovvero tutti gli organismi vegetali e i loro componenti, tutti i prodotti organici derivanti dall'attività biologica degli animali e dell'uomo, inclusi gas, reflui e le frazioni biodegradabili dei rifiuti urbani, utilizzabili in processi di trasformazione termochimica o biochimica.

**Bioenergia:** tutte le forme di energia ottenute dalla trasformazione di biomasse attraverso processi che ne migliorano le caratteristiche di rendimento energetico. Tra le varie tecnologie di conversione della biomassa alcune sono ad un livello di sviluppo tale da consentirne l'utilizzo su scala industriale, altre necessitano di sperimentazione per aumentare i rendimenti e ridurre i costi di conversione energetica.

In genere le biomasse rappresentano una forma di energia a lento rilascio naturale e fortemente dispersa sul territorio. Una prima classificazione generale contempla la distinzione fra:

- **biomassa vegetale** che, insieme all'ossigeno, costituisce il prodotto della fotosintesi clorofilliana delle piante;
- **biomassa animale**, cioè la quota di biomassa che, attraverso la catena alimentare, passa dal mondo vegetale al mondo animale; ne sono un esempio i rifiuti del metabolismo e le deiezioni animali.

La biomassa può consistere in:

- legna da ardere: assortimenti e sottoprodotti forestali, come cimali e ramaglie, residui dell'utilizzazione di fustaie e cedui, ottenuti da interventi di gestione, miglioramento e taglio boschivo;
- colture ligno-cellulosiche: fra le specie annuali il sorgo da fibra; fra quelle erbacee perenni, la canna comune e tra le specie perenni a turno breve di taglio, da 2 a 5 anni la robinia, il pioppo e l'eucalipto, coltivabili in aree inutilizzabili, quali quelle golenali;

- colture oleaginose: prevalentemente colza e girasole in Europa e soia negli Stati Uniti, impiegate nella produzione di biodiesel;
- colture zuccherine: barbabietola, sorgo zuccherino;
- colture amidacee: cereali, mais e patate;
- sottoprodotti di colture erbacee: paglie di cereali, stocchi e pannocchie;
- sottoprodotti di colture arboree: sarmenti di vite, potature di alberi da frutto e di siepi, gusci e foglie;
- residui agro-industriali: vinacce, sanse esauste, gusci di mandorli, di noci e noccioli, scarti di legno non trattato (sfridi, segatura, trucioli) da segheria, falegnameria e mobilifici; scarti di cartiera, in genere contenenti un 50% di lignina, e scarti di fibra naturale derivanti dall'industria tessile (cotone, lana, seta);
- deiezioni: residui animali derivanti da allevamenti zootecnici, suscettibili di essere impiegati nella produzione di biogas;
- frazione organica dei rifiuti solidi urbani: costituisce un rifiuto che dovrebbe essere smaltito in discarica, rappresentando una voce di costo non trascurabile; se opportunamente trattata, invece, offre interessanti opportunità nella produzione di biogas.

Le biomasse si possono considerare risorse primarie rinnovabili e, quindi, inesauribili nel tempo, purché vengano impiegate con un ritmo complessivamente non superiore alle capacità di rinnovamento biologico. In realtà esse non sono quantitativamente illimitate, infatti, per ogni specie vegetale la disponibilità è superiormente limitata dalla superficie ad essa destinata, nonché da vincoli climatici ed ambientali che tendono a selezionare, in ogni regione, le specie che effettivamente vi possono crescere o che possono essere coltivate in maniera economicamente conveniente.

La biomassa rappresenta sicuramente la più antica e durevole forma di energia impiegata nelle attività umane; la sua recente riscoperta potrebbe segnare un effettivo passo avanti verso una sempre più marcata diversificazione delle fonti energetiche disponibili, oltre che un'auspicata minore dipendenza dai combustibili fossili, con ripercussioni positive sull'ambiente, sulla società e anche sull'economia.

Vi è una stretta interdipendenza fra biomassa e territorio: l'uso razionale delle rispettive potenzialità può portare a notevoli benefici ad entrambi i sistemi. L'introduzione nell'uso del territorio di colture non alimentari innovative e la possibilità di usarle a fini energetici ed industriali potrebbe offrire un contributo alla rivalutazione dei terreni non più utilizzati per la produzione alimentare.

Il sistema biomasse attinge al territorio la materia prima e al territorio ritorna gran parte delle uscite sia sotto forma di energia sia in sottoprodotti utili per il sistema agricolo.

L'agricoltura moderna con i suoi sistemi produttivi ha determinato una progressiva riduzione del numero delle colture, ha utilizzato una sempre maggiore lotta alle piante infestante con la conseguente riduzione della biodiversità vegetale sia delle colture che delle specie spontanee, ed animale per la micro e macro fauna. Inoltre lo sfruttamento intensivo del territorio ha portato ad un depauperamento della sostanza organica dei suoli; inoltre poiché il terreno agricolo funziona da scambiatore di carbonio con l'atmosfera, un uso improprio dei suoli può avere come conseguenza un aumento netto del carbonio in atmosfera.

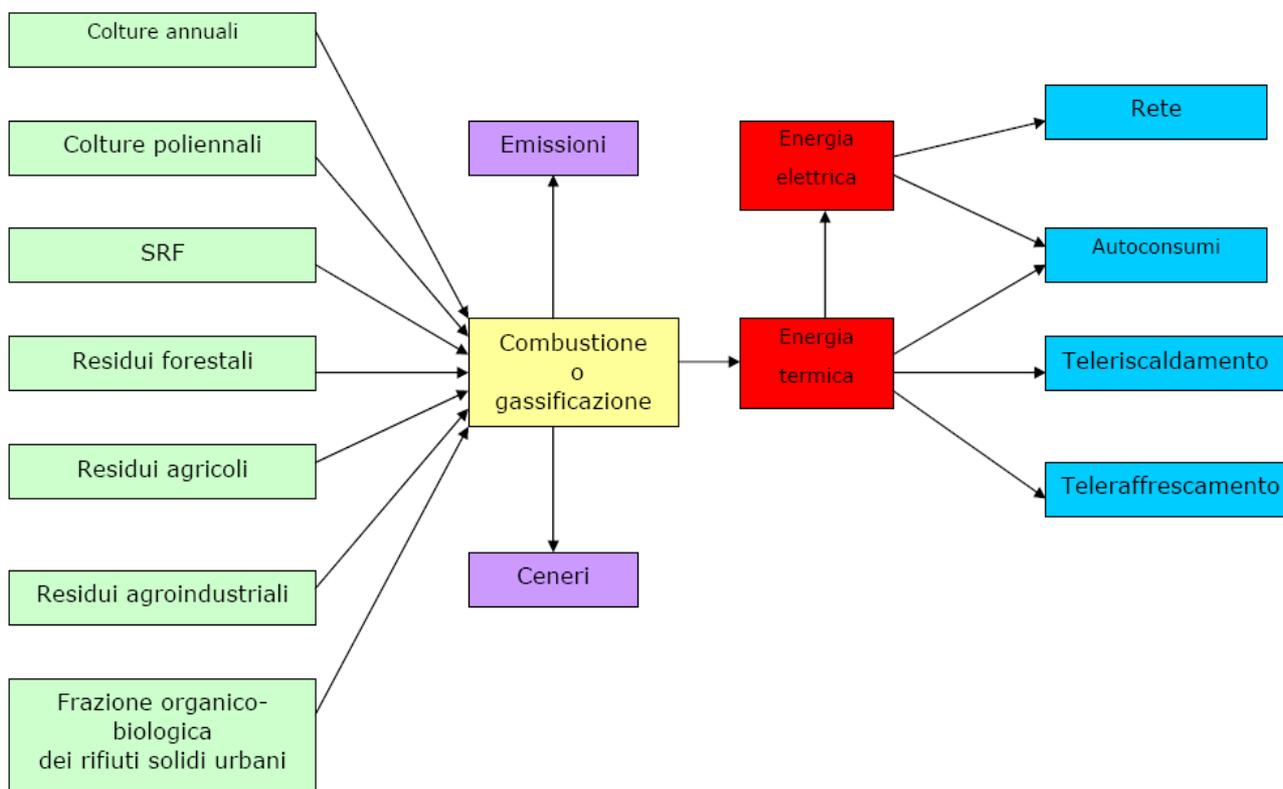
Una politica di corretta gestione del territorio dovrebbe passare attraverso due fasi:

1. predisposizione di un quadro di riferimento che tracci le linee di indirizzo per una gestione sostenibile del territorio
2. individuazione di interventi coerenti e organizzati

### **2.3 BIOMASSA LEGNOSA**

Per *biomasse legnose*, o biomasse ligno-cellulosiche, si intendono le biomasse composte principalmente da lignina e cellulosa, che possono provenire dal settore forestale come residui delle utilizzazioni boschive, essere scarti delle industrie di trasformazione del legno, scarti di potatura e produzioni di colture legnose dedicate.

Durante la sua combustione viene liberata energia sotto forma di calore, che può essere usata per riscaldare quanto, attraverso particolari impianti (termo-elettrico), a produrre energia elettrica. La combustione porta a liberare energia e composti chimici come anidride carbonica, acqua, ossidi di azoto, anidride solforosa e ceneri (molti di questi inquinanti comunque risultano di lieve entità).



Sottoponendo i biocombustibili solidi alle tecnologie di combustione o gassificazione si ottiene la produzione di **energia termica ed elettrica**.

- Energia termica per usi domestici individuali.

Il mercato dell'energia per il riscaldamento delle abitazioni civili e di impianti industriali di modeste dimensioni vede già da tempo affermato l'impiego delle biomasse lignocellulosiche, tanto che attualmente esse si pongono in posizione di grande competitività nei confronti dei combustibili fossili. Negli ultimi tempi, l'offerta di tecnologie di combustione compatibili con l'ambiente ha raggiunto livelli di efficienza, affidabilità e comfort del tutto paragonabili a quelli relativi ai tradizionali impianti a gas o gasolio. Basti pensare che una moderna stufa o una caldaia alimentata a biomassa può raggiungere un rendimento prossimo al 90%, limitando enormemente, rispetto ai vecchi caminetti e stufe, gli sprechi di combustibile e ottimizzando il controllo sulle emissioni. A tale aspetto deve essere associata la progressiva evoluzione del mercato dei biocombustibili solidi che ultimamente si è arricchito di nuove forme, quali il cippato, il pellets e i briquettes, di più semplice movimentazione e stoccaggio.

- Teleriscaldamento a biomasse

Una rete di teleriscaldamento alimentata a biomassa è un sistema che distribuisce calore ad una serie di utenze attraverso un fluido termovettore, solitamente acqua calda, prodotta in una centrale termica di media o grande potenza (da alcune centinaia di kW a parecchi MW), che circola entro un circuito chiuso di tubature ben isolate, in grado di garantire una minima dispersione termica lungo il tragitto. Si realizza la sostituzione, presso ogni singola utenza servita, delle tradizionali caldaie con scambiatori di calore. Ogni utenza è indipendente dalle altre e paga unicamente il calore consumato.

Il teleriscaldamento a biomasse fornisce quindi calore ad un'insieme di abitazioni e/o attività, posto nelle vicinanze del luogo di produzione della biomassa utilizzata (bosco, terreni di coltura, segherie).

L'impianto è costituito da : area di stoccaggio delle biomasse ; pretrattamento riduzione pezzatura e dell'umidità della biomassa ; linea di alimentazione dotata degli opportuni controlli linea ; combustore a tecnologia avanzata (griglia); eventuale abbattitore di polveri a ciclone; impianto di trattamento acqua di alimentazione caldaia e circuito di teleriscaldamento recupero energetico (mediante sistemi a tubi di fumo se il fluido vettore è acqua calda a bassa pressione o aria; a tubi di acqua; ad olio diatermico).

*Vantaggi del teleriscaldamento.*

Minor inquinamento e maggior efficienza energetica

Sicurezza: si sposta la combustione nell'impianto di teleriscaldamento

Maggiore affidabilità

Comodità: l'utente del teleriscaldamento deve solo regolare sul termostato la temperatura e pagare la bolletta

*Punti critici del teleriscaldamento.*

Accettabilità sociale (impatto paesaggistico e ambientale dell'impianto e del trasporto)

Stoccaggio

Condizioni di lavoro (sicurezza ed ergonomia) degli addetti alla raccolta-selezione-trasporto

Disponibilità di più fonti di approvvigionamento.

Sostenibilità economica;

Stabilità e convenienza del kWh termico

La rete del teleriscaldamento è un'infrastruttura che assorbe dal 50% al 80% del costo dell'impianto

- Energia termica per usi industriali

Nel settore industriale, il ciclo produttivo di molteplici attività porta alla produzione di ingenti quantità di scarti lignocellulosici, suscettibili di essere riutilizzati come risorsa per la generazione di energia termica (riscaldamento, raffrescamento, calore di processo) ed elettrica. Tale valorizzazione determina vantaggi da un punto di vista economico, sia perché si consegue un risparmio sulla quantità di energia che è necessario acquistare e sui costi di smaltimento dei residui prodotti, sia perché l'energia eventualmente generata in sovrappiù può essere venduta.

Considerando per esempio i settori dell'industria del legno emerge una produzione di scarti legnosi di circa 6 Mt/anno che potrebbero essere impiegati per usi energetici.

- Energia elettrica

La tecnologia più diffusa per la produzione di energia elettrica, a partire da biocombustibili solidi, è la combustione diretta in caldaia con produzione di vapore, il quale alimenta una turbina accoppiata ad un alternatore.

Con tale ciclo la produzione di energia elettrica da biomasse è economicamente concepibile solo in impianti di dimensioni significative, che prevedano una soglia minima dell'ordine di 1 MW<sub>e</sub>, corrispondenti ad un consumo di biomassa molto elevato pari a circa 25 tonnellate al giorno.

Il rendimento elettrico di questi impianti è generalmente dell'ordine del 25%, per cui è fondamentale, da un punto di vista economico e ambientale, massimizzare il recupero del calore di processo: questo non sempre è possibile, anche considerando che le potenziali utenze termiche sono normalmente stagionali e spesso non localizzate nelle immediate vicinanze degli impianti.

E' primariamente indispensabile che la filiera si organizzi con le necessarie infrastrutture per la coltivazione, la raccolta, il trasporto, il condizionamento e lo stoccaggio della biomassa.

### 2.3.1 Caratteristiche chimiche

Le biomasse legnose possono essere considerate dal punto di vista energetico come energia dal sole trasformata, attraverso il processo di fotosintesi, in energia chimica e stoccata all'interno delle piante sottoforma di molecole complesse ad alto contenuto energetico.

I principali polimeri contenuti nelle biomasse forestali sono :

- La cellulosa (La **cellulosa** è la principale componente del legno, conferisce al legno resistenza, essendo particolarmente resistente agli agenti chimici)
- L'emicellulosa (presente in percentuali variabili. Si trova nella parete cellulare delle piante e negli spazi lasciati liberi dalla cellulosa. Come la cellulosa è insolubile in acqua, ma contrariamente a quest'ultima è solubile in soluzione acquosa alcalina)
- La lignina (è il componente che differenzia il legno dagli altri materiali vegetali. Presente in percentuali che variano, conferisce rigidità alla pianta)

Una frazione importante del legno è costituita dai **composti inorganici** (sali di calcio, magnesio, sodio, potassio, silicio, ...) che solitamente si ritrovano, a combustione avvenuta, nelle **ceneri**. La percentuale dei composti inorganici varia in funzione di diversi fattori, quali la tipologia di terreno, la specie arborea, l'organo della pianta.

Vediamo la composizione elementare delle principali tipologie di legname :

Specie	C	H <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>
Leccio	48,9	5,2	43,1	2,1
Roverella	49,4	6,1	44,5	2,0
Faggio	48,3	6,0	45,1	0,6
Betulla	48,9	6,2	43,9	1,0
Carpino	48,1	6,1	44,9	0,9
Ontano	49,2	6,2	44,6	0,7
Frassino	49,4	6,1	44,5	-
Pioppo nero	49,7	6,3	44,0	-
Tiglio	49,4	6,9	43,7	0,6
Pino silvestre	49,9	6,3	42,0	0,7
Abete rosso	50,2	6,2	41,4	0,6

Sebbene ci siano variazioni tra le diverse tipologie, il legno può considerarsi composto quasi interamente da tre elementi: **carbonio** (49÷51%), **ossigeno** (41÷45%), **idrogeno** (5÷7%). A differenza di altri combustibili, quali il carbone e il petrolio, esso contiene relativamente basse quantità d'azoto, tracce di zolfo e di altri elementi minerali che vanno a costituire le ceneri (0,5÷1,5%).

I rapporti percentuali tra i principali elementi influiscono in maniera determinante sulla qualità del legno come combustibile: alti contenuti di carbonio e idrogeno determinano un maggiore potere calorifico, mentre elevate presenze di ossigeno, azoto e ceneri danno luogo ad un effetto opposto.

Un altro parametro di notevole interesse per la valutazione del valore combustibile del legno è la *volatilità*, espressa in funzione dalla quantità di materiale volatile presente, data in percentuale sul peso secco. Rapportata agli altri combustibili, la volatilità del legno è molto elevata.

### **2.3.2 Le caratteristiche fisiche**

Le caratteristiche fisiche del legno che incidono in maniera significativa sui processi di conversione energetica sono :

- L'umidità, che modifica i meccanismi di combustione. La quantità d'acqua presente nel legno è estremamente variabile potendo assumere differenti valori in funzione della specie, dell'età, della parte della pianta considerata, della stagione e del luogo di provenienza. In genere si ritrovano valori più bassi di umidità nelle latifoglie rispetto alle conifere, nelle parti basse rispetto alle parti alte, in estate rispetto all'inverno. L'umidità esprime la quantità di acqua presente nel legno; essa viene espressa in percentuale con riferimento al peso secco, ovvero al peso fresco.
- La densità, rappresenta sicuramente il più semplice e diretto indicatore di qualità del combustibile legno; in effetti, il potere calorifico è direttamente proporzionale ad essa. La densità è espressa come rapporto tra la massa ed il volume entro cui è contenuta, e si misura in  $\text{kg/m}^3$  (è equivalente al peso specifico).
- Massa volumica sterica, impiegata per gli ammassi dei combustibili legnosi tal quali (legna da ardere, cippato e pellet) che presentano al loro interno spazi vuoti più o meno grandi in funzione della pezzatura e della forma. E' espressa in peso (kg/t) per unità di volume sterico (msr o msa).

Densità di alcuni materiali :

Material e	Abete	Acciaio	H <sub>2</sub> O a 4 gradi	Acqua di mare	Anidride Carbonica	Aria	Benzina	Calcestruzzo	Ceneri
<b>Densità Kg/mc</b>	700	7860	1000	1030	1,98	1,293	700- 720	2200- 2600	900

**L'acqua nel legno :** Il legno per la sua struttura presenta una doppia porosità.

*Macroporosità* costituita dalle cavità dei vasi conduttori

*Microporosità* della sostanza legnosa vera e propria

La biomassa legnosa di solito non si trova allo stato anidro (cioè priva di contenuto idrico) ma ha un contenuto idrico variabile.

### 2.3.3 Caratteristiche energetiche

Il valore combustibile di un vettore energetico può essere efficacemente rappresentato dal **potere calorifico**, definito come la quantità di calore prodotta dalla combustione completa di un'unità di peso di un materiale energetico. In genere si usa esprimere tale valore in kcal/kg oppure in kJ/kg.

Il "**potere calorifico**" o **calore di combustione** quindi esprime la quantità massima di **calore** che si può ricavare dalla **combustione** completa di 1 kg di sostanza **combustibile** (o 1 m<sup>3</sup> di gas) a 0 °C e 1 atm.

Il contenuto energetico può essere anche espresso in relazione al volume, come kcal/l nel caso di combustibili liquidi, o come kcal/m<sup>3</sup> se si stanno considerando combustibili solidi.

Dalla conoscenza del peso specifico (kg/m<sup>3</sup>) si può facilmente risalire al potere calorifico.

Convenzionalmente si definisce **potere calorifico inferiore** (oppure indicato con LHV - Lower Heating Value-) il potere calorifico superiore diminuito del calore di condensazione del vapore d'acqua durante la combustione.

Questo è il valore a cui si fa usualmente riferimento quando si parla di potere calorifico di un combustibile e di rendimento di una macchina termica.

Per determinare il potere calorifico inferiore mediante l'analisi elementare bisogna prima determinare il potere calorifico superiore e poi sottrarre da questo 2500 kJ per ogni kg di vapore d'acqua contenuto nei fumi.

Il vapor d'acqua nei fumi sarà dovuto alla combustione dell'idrogeno e all'umidità presente inizialmente nel combustibile. Il numero delle calorie risultante dalla combustione del legno è pertanto inferiore rispetto al potere calorifico superiore di circa 300 kcal/kg, denominato Potere Calorifico Inferiore (PCI).

Il poter calorifico delle biomasse forestali varia notevolmente in funzione delle caratteristiche fisiche e della composizione chimica del materiale. A parità di peso, il legno di conifere ha un potere calorifico maggiore rispetto a quello delle latifoglie: ciò è imputabile alla presenza delle resine e alle più elevate quantità di lignina. Infatti, mentre per le conifere si può raggiungere un PCI di 5.000 kcal/kg (legno di pino), per le latifoglie il PCI non si supera le 4.500 kcal/kg.

Una comparazione tra il valore di riscaldamento del legno e quello di altri combustibili non può basarsi, ovviamente, sul solo sul potere calorifico, ma deve evidentemente tener conto anche **dell'efficienza di combustione**, la quale è una misura della quantità di energia prodotta rispetto a quella consumata.

Il potere calorifico delle biomasse legnose può variare in funzione di tipo di essenza, tipologia del legname, stato di conservazione, umidità presente nella biomassa.

## 2.4 CONTENUTO ENERGETICO COMBUSTIBILE LEGNOSO

Il contenuto energetico del legno dipende da :

- Contenuto idrico (modifica, riducendolo, il potere calorifico del legno perché parte dell'energia liberata nel processo di combustione è assorbita dall'evaporazione dell'acqua e quindi non è disponibile per l'uso termico desiderato)
- Peso

Ogni combustibile possiede una determinata quantità di energia definita **energia primaria** che con la combustione si trasforma in energia utile agli scopi desiderati (riscaldamento, acqua calda sanitaria, calore di processo).

Le unità di misura sono il Joule (J) o il Watt (W) e loro multipli.

## Equivalenze tra unità di misura di energia termica

	<b>kJ</b>	<b>kcal</b>
<b>1 kJ</b>	1	0,239
<b>1 kcal</b>	4,1868	1
<b>1 kWh</b>	3600	860
<b>1 tep</b>	$41,87 \times 10^6$	$10 \times 10^6$

## Conversioni più comuni

1 kWh	= 860 kcal	= 3600 kJ (3,6 MJ)
1 MJ	= 239 kcal	= 0,278 kWh
1 kcal	= 4,19 kJ	= 0.00116 kWh
1 tep	= 41,87 GJ	= 11,63 MWh

**Tep = tonnellata equivalente di petrolio** è un'unità di misura convenzionale utilizzata a scopi statistici-comparativi che esprime il contenuto di energia di una tonnellata di petrolio greggio

L'**energia termica** è quella forma di energia associata al movimento di agitazione molecolare, può essere considerata come la somma di tutte le energie cinetiche delle singole molecole. Non è sinonimo di **calore** con il quale si intende invece la quantità di energia termica trasferita da un sistema ad un altro.

$$1 \text{ Joule} = 1 \text{ Newton} \times 1 \text{ metro} = 1 \text{ Watt} \times \text{secondo}$$

La **potenza termica** è il rapporto tra l'energia termica prodotta e il tempo impiegato a produrla. Esprime la quantità di calore ceduto al vettore termico.

Unità di misura della potenza : **Watt = Joule / secondo**

La **potenza nominale** esprime la quantità massima di energia termica prodotta dalla caldaia in modo continuo dalla combustione nell'unità di tempo

La potenza di una caldaia si esprime solitamente in kW.

Relazioni di trasformazione :            **1 kcal = 1,163 Watt**        **1 kW = 860 kcal = 3,6 MJ**  
**1 MJ = 239 kcal = 0,278 kWh/kg**

Il successo delle biomasse legnose dipende da :

- scelta del tipo di combustibile legnoso
- utilizzo di caldaie ed impianti ad elevata efficienza (>85%)
- scelta di un elevato grado di automazione
- biocombustibile con basso contenuto d'acqua(>P.C.I)
- risparmio energetico
- riduzione dell'inquinamento atmosferico con riduzione del CO<sub>2</sub>
- convenienza economica costo del combustibile biomassa
- combustione per riscaldamento e per la produzione di energia elettrica.

## **2.5. BENEFICI BIOMASSA LEGNOSA**

La bioenergia, così come qualsiasi altra fonte rinnovabile di energia, non è necessariamente “positiva” nei confronti del rapporto con l'ambiente; un cattivo sistema di produzione e uso di fonti rinnovabili può essere dannoso per l'ambiente quanto una fonte fossile: in una logica di sviluppo sostenibile è necessario analizzare la rinnovabilità delle fonti energetiche ma anche l'articolato contesto del loro utilizzo.

### **Benefici ambientali**

- La biomassa assorbe CO<sub>2</sub> dall'atmosfera durante la crescita e la restituisce all'ambiente in fase di combustione; il bilancio della CO<sub>2</sub> viene quindi definito nullo (non contribuisce all'effetto serra); tuttavia il ciclo di approvvigionamento può comportare una produzione di altri inquinanti (es. inquinamento per il trasporto del materiale)
- Le emissioni di inquinanti acidi, ossidi di azoto, polveri e microinquinanti, possono essere controllate con le tecnologie di combustione e depurazione dei fumi;
- Il basso contenuto di zolfo e di altri inquinanti fa sì che, se utilizzate in sostituzione di carbone e olio combustibile, le biomasse contribuiscano ad alleviare i fenomeni di acidificazione

### **Benefici occupazionali**

Le diverse fasi del ciclo produttivo del combustibile da biomassa creano posti di lavoro e favoriscono lo sviluppo del settore agricolo, forestale e del riciclaggio. Anche il settore collegato alle tecnologie di conversione energetica potrebbe trarre un considerevole beneficio occupazionale.

### **Benefici di politica energetica**

La produzione di energia da biomassa contribuisce a ridurre la dipendenza dalle importazioni di combustibili fossili e a diversificare le fonti di approvvigionamento energetico e a perseguire gli obiettivi imposti nell'ambito delle conferenze internazionali sul clima

## **2.6. APPLICAZIONI BIOMASSA LEGNOSA**

### **- Residenziale termico**

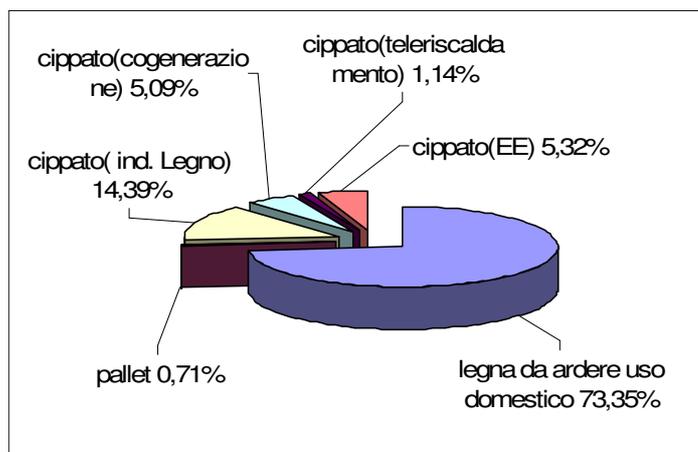
Per il riscaldamento di singoli edifici con biomassa. Se gli utenti da riscaldare sono numerosi e situati a breve distanza fra loro, l'impianto può essere costituito da un'unica centrale termica alimentata con legno sminuzzato, alla quale sono allacciati diversi utenti per mezzo di una rete di distribuzione del calore mediante tubi interrati. Presso ogni utente viene installata una sottocentrale dotata di scambiatore di calore: in tal modo si paga solo l'energia effettivamente utilizzata.

### **- Commerciale**

### **- Industriale**

### **- Civile elettrico**

E' possibile realizzare impianti che producono elettricità o elettricità e calore (**cogenerazione**) con la sostituzione di combustibili fossili con biomassa (es. legna e sottoprodotti di origine agroindustriale). Gli impianti di tipo cogenerativo hanno il vantaggio di avere un rendimento complessivo del sistema più alto rispetto alla sola generazione di energia elettrica. L'elettricità può essere prodotta sfruttando diverse tecnologie, ad es. tramite l'espansione di vapore in turbina; tecnologie più innovative adottano cicli combinati (previa gassificazione) composti da turbine a gas e da un ciclo a vapore alimentato dai gas di scarico dell'espansione



## 2.7. VANTAGGI DERIVANTI DALL'USO DELLA BIOMASSA LEGNOSA

La biomassa rappresenta un immenso giacimento energetico, potenzialmente in grado di sostituire i tradizionali combustibili fossili, presentando inoltre svariati vantaggi.

La biomassa è una fonte energetica rinnovabile, pertanto se gestita correttamente, adottando una politica basata su uno **sfruttamento sostenibile** e mirando comunque ad una valorizzazione del patrimonio boschivo esistente, **non** è destinata all'**esaurimento**; difatti le piante, dopo il taglio, si rinnovano. Inoltre comporta un **ridotto impatto ambientale**, che la rende perfettamente in linea con gli obiettivi prefissati dal Protocollo di Kyoto, volti alla riduzione delle emissioni di gas serra, in particolare della CO<sub>2</sub>. Infatti, le piante sono dotate della capacità di immagazzinare ingenti quantitativi di CO<sub>2</sub>, fissandoli nelle loro fibre durante la crescita. Quando il legno è sottoposto a combustione, restituisce in atmosfera la quantità di anidride carbonica che aveva, nel corso della propria vita, fissato: questa stessa quantità potrà essere assimilata, a sua volta, da altri organismi vegetali. Perciò **il bilancio dell'anidride carbonica**, a differenza di quanto avviene per i combustibili fossili, **è di perfetto pareggio**.

Essendo una risorsa ampiamente disponibile, di facile reperibilità e diffusa in modo abbastanza omogeneo su tutto il Pianeta, impiegata a livello locale, permetterebbe l'approvvigionamento di molte persone attualmente ancora sprovviste di energia elettrica. Per i Paesi industrializzati, quali l'Italia, la biomassa potrebbe rappresentare un passo decisivo verso l'ampliamento del mix di fonti energetiche disponibili e soprattutto verso una minore dipendenza dai principali produttori di idrocarburi.

Con l'avvento e il perfezionamento di tecnologie innovative, quali le caldaie automatiche, si possono conseguire elevati rendimenti di combustione, fino all'80÷90%, inoltre alcuni processi recentemente brevettati consentono la sua trasformazione in combustibili gassosi (syngas e biogas), e liquidi (biofuels) a ridotto impatto ambientale. Offre inoltre la possibilità di **essere impiegata in tecnologie e soluzioni impiantistiche ormai consolidate, analoghe a quelle predisposte per i combustibili fossili, non implicando pertanto eccessivi costi di riconversione, adattamento o riconfigurazione.**

Le emissioni inquinanti ascrivibili alla conversione energetica della biomassa sono nettamente al di sotto dei valori comunemente registrati impiegando combustibili fossili. In particolare, la combustione di biomassa produce SO<sub>x</sub> in quantità trascurabili e, mediante l'impiego di moderne tecnologie, il quantitativo di CO può essere contenuto e la produzione di polveri risultare inferiore.

La biomassa è disponibile a **prezzi più contenuti** rispetto alle altre fonti energetiche: il prezzo della caloria prodotta a partire dal combustibile legno, in una qualsiasi delle sue forme (legna da ardere, cippato, pellet) è inferiore rispetto a quello relativo alle tradizionali fonti fossili. Ciò è dovuto al fatto che la biomassa attualmente non rappresenta ancora una risorsa strategica, e soprattutto in quanto essa è **esente da imposte**, contrariamente a quanto avviene per i combustibili fossili.

Il rafforzarsi dell'impiego di biomassa legnosa a fini energetici può inoltre garantire benefici economici, sociali ed ambientali alle comunità in cui sia possibile impiantare una filiera per lo sfruttamento razionale del legname. Gli interventi migliorativi volti allo sfruttamento sostenibile del patrimonio boschivo garantiscono una buona qualità dei boschi, preservandoli dall'abbandono e quindi dal degrado, prevenendo il dissesto idrogeologico, le frane e gli incendi e proteggendo l'habitat della fauna selvatica, aiutandone la sopravvivenza e il ripopolamento.

La Politica Agraria Comunitaria (PAC) attualmente sta incentivando lo sfruttamento di terreni marginali abbandonati o poco produttivi, elargendo contributi pari a 45 €/ettaro, per la produzione di colture energetiche o specie forestali a ciclo breve (SRF), creando così opportunità occupazionali. Tali incentivi sono particolarmente sentiti in corrispondenza di zone marginali, come quelle montane e rurali, oggi soggette a spopolamento e alla disgregazione del tessuto sociale.

## 2.8. SVANTAGGI DERIVANTI DALL'USO DELLA BIOMASSA LEGNOSA

Gli aspetti che ostacolano la diffusione dell'impiego della biomassa legnosa a fini energetici sono riconducibili a svariati aspetti.

Anzitutto l'assenza di una precisa programmazione, di una strategia nazionale e di un piano operativo di settore che coniughi i diversi aspetti. Questo comporta una serie di difficoltà nelle **procedure di autorizzazione**, spesso troppo lente e complicate. È da citare anche l'inadeguatezza degli strumenti di mercato che non sono ancora in grado di incentivare l'interesse dell'opinione pubblica verso un investimento economico in un progetto di energia da biomasse, condizione necessaria alla costituzione di una domanda di combustibile sufficientemente ampia.

Per quanto riguarda le limitazioni fisiche, la biomassa è caratterizzata da una **bassa densità energetica** per cui, a parità di energia prodotta, implica un maggiore ingombro e peso, se confrontata ai tradizionali combustibili fossili. Questo si traduce in un maggiore impegno di mezzi di trasporto e in una più onerosa movimentazione. Per non compromettere i benefici conseguenti al basso costo della materia prima, è necessario **contenere il consumo di gasolio**, principalmente nelle fasi di esbosco e di trasporto, che risulta proporzionale alla distanza percorsa. Sarebbe opportuno minimizzare anche il consumo dei mezzi di produzione, necessari all'abbattimento, alla spaccatura e alla sminuzzatura, proporzionale alla quantità di legname da trattare e al regime di produttività desiderato.

Affinché un impianto a biomassa si riveli vantaggioso dal punto di vista economico ed ambientale sarebbe necessario **minimizzare la distanza tra il punto di approvvigionamento e l'impianto** : infatti vengono promosse le filiere corte e quindi locali del cippato. Le migliori condizioni economiche si hanno perciò nel momento in cui la biomassa sia prodotta e sfruttata a livello locale, meglio ancora qualora si riscontri la presenza abbondante e continua, oltre che di legname, anche di scarti di origine agro-industriale.

Un altro aspetto significativo è dato dal **costo d'investimento iniziale** dell'impianto che non è certo trascurabile.

All'inferiore costo del combustibile si contrappone il più elevato costo delle caldaie e in genere delle tecnologie. Questo fatto è imputabile alle caratteristiche chimico-fisiche della biomassa: una miscela che racchiude varie essenze legnose di diversa pezzatura e tipologia e dal grado di umidità non omogeneo.

Il risparmio economico, conseguito durante l'intera vita dell'impianto, dovuto al minor costo del combustibile è comunque in grado di controbilanciare e ripagare abbondantemente i maggiori costi di acquisto, d'installazione relativi ad una centrale a biomasse.

Il **tempo di ritorno dell'investimento**, a seconda della tecnologia adottata della scala dell'intervento (riscaldamento domestico, collettivo e teleriscaldamento) e del livello di consumo, è normalmente fissato a **15 anni**, per cui il guadagno economico nel riscaldamento a biomasse è garantito, anche se non immediato.

Per realizzare un definitivo salto di qualità del sistema biomasse, da un mercato di nicchia e assistito, ad un affermato e stabile sistema competitivo ed organizzato, occorre selezionare, tra le tante possibili opzioni, le **filiere energetiche di successo**, caratterizzate da maturità tecnologica, compatibilità ambientale, sicura accettabilità sociale ed elevato indice di fattibilità economica.

Occorre pertanto adoperarsi nell'attivazione di una domanda stabile, attraverso un'adeguata campagna informativa e promozionale, per conferire stabilità al mercato, adeguate garanzie ai consumatori e speranze di reddito agli imprenditori che intendano avventurarsi nel progetto biomasse.

## **2.9. IMPATTO AMBIENTALE BIOMASSE LEGNOSE**

Se coltivate in maniera sostenibile :

- nessuna produzione di gas serra
- basso contenuto di zolfo che riduce le piogge acide

**Le ceneri costituiscono l'effluente solido principale.**

Sono costituite in massima parte da sostanze inerti e incombuste quali silice, ossidi di alluminio, potassio, calcio, magnesio, sodio, altri metalli in tracce e agglomerati carboniosi.

Le ceneri da combustione del legno sono quindi costituite da materiale carbonioso incombusto (ad es, cellulosa) e in quota maggiore dalla componente minerale della biomassa in ingresso.

Il quantitativo di ceneri prodotte dipende dalla tipologia e dalla qualità della biomassa utilizzata, dalla tecnologia impiegata per la conversione energetica e alla sua efficienza. In impianti con elevati rendimenti è verosimile ipotizzare che la quantità di ceneri è pari al residuo di combustione dei materiali in ingresso,

considerando nulla la presenza di incombusti carboniosi. In termini quantitativi la percentuale sul secco in peso di ceneri è compreso tra lo 0,20% e il 2-3% per legnami vari (pioppo, faggio, abete); sale generalmente a valori ben superiori per le biomasse erbacee, stocchi di mais, coltivazioni energetiche con punte che vanno da un massimo del 15% (lolla di riso) a un minimo del 2% (cippato di legno). In genere il **40%** è costituito da ceneri leggere e il restante **60%** da ceneri pesanti.

Gli elementi che compongono le ceneri sono tipicamente calcio, potassio, fosforo, magnesio,

ferro, seguiti da silice, zinco, sodio e boro, sotto forma di ossidi, silicati e nitrati. Data la loro composizione, sono fortemente basiche, con pH intorno a 12.

Dal punto di vista dell'uso agronomico delle ceneri da legno come fertilizzante, è rilevante la

quantità di Ca, P e K, ma sono presenti anche metalli pesanti, di cui occorre tenere conto. E' emerso chiaramente il loro effetto sulle proprietà fisiche del suolo, esse hanno infatti la capacità di innalzare il pH nei suoli acidi e si comportano quindi come "correttivi"; il loro apporto nutritivo è legato soprattutto al potassio. Sicuramente a bassi dosaggi e tenendo conto dell'apporto di P, K e metalli pesanti.

Dal punto di vista formale, infine, le ceneri da combustione di biomasse sono a tutti gli effetti "rifiuti speciali non pericolosi" ai sensi del D.Lgs 152/06; pertanto il loro impiego agronomico è fattibile solo previa autorizzazione specifica ai sensi della normativa ambientale.

Controllo continuo dei **gas di combustione** per la determinazione di HCl, CO, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e COT. La temperatura dei fumi in atmosfera è mediamente di 132 °C (70 - 160 °C), mentre la portata media è di 81.000 Nm<sup>3</sup>/h (in relazione della potenza termica). Per ciò che concerne l'acqua di reintegro delle torri di raffreddamento, i consumi di acqua oscillano tra 2,2 e 6,2 m<sup>3</sup>/MWe con una media di 4,6 m<sup>3</sup>/MWe.

I gas di combustione vengono normalmente depurati in modo da ridurre entro i limiti previsti dalle singole autorizzazioni le emissioni inquinanti.

## 2.10. FILIERA LOGISTICA

Possibilità di riduzione dei costi relativi alla logistica di trasporto e accumulo.

La *filiera energia-biomassa* è costituita da una serie di attori che svolgono determinate mansioni (produzione ed approvvigionamento della biomassa; eventuali pre-trattamenti; stoccaggio intermedio e finale; conversione della biomassa in biocombustibile solido o liquido o produzione dell'energia).

<p><b>PUNTI DI FORZA (STRENGTHS)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Forte legame con la gestione del territorio</li> <li>-Logistica e metodo produttivo noti</li> <li>- Prodotto eterogeneo, facile reperibilità</li> <li>-Possibilità di "procedere dal basso" per lo sviluppo della filiera</li> <li>-Possibilità di autoproduzione per autoconsumo a scopo termico (riscaldamento, essiccazione)</li> <li>-Possibile "certificazione ambientale"</li> <li>- Riqualificazione del territorio e dei rifiuti</li> </ul>	<p><b>PUNTI DI DEBOLEZZA (WEAKNESSES)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spesso necessità di consorziarsi</li> <li>- Rischio di sfruttamento suolo (scarso mantenimento di fertilità, struttura e sostanza organica)</li> <li>- Nei grossi impianti difficoltà di standardizzare la biomassa in ingresso</li> <li>- Emissioni polveri sottili;</li> <li>- Mancanza di competenze specifiche</li> </ul>
<p><b>MINACCE (THREATS)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo di importazione minore alla produzione in loco;</li> <li>- Coalizioni sociali(etiche o dovute a effetto NIMBY)</li> <li>- Quadro normativo complesso</li> <li>- Difficile valutazione certificato verde</li> </ul>	<p><b>OPPORTUNITA' (OPPORTUNITIES)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Crescita dell'interesse sulle fonti rinnovabili;</li> <li>- Possibilità di evincolarsi dai produttori di combustibili fossili</li> <li>- La produzione di energia da biomassa è considerata attività agricola (Finanziaria 2006);</li> <li>- Relativa facilità di reperimento risorse,</li> <li>- Possibilità di riconversione di impianti preesistenti.</li> <li>- Riqualificazione dei rifiuti</li> <li>- Miglior utilizzo del suolo</li> </ul>

## 2.11. COMBUSTIBILI SOLIDI DA BIOMASSA

Esistono varie forme di combustibile legnoso che hanno un contenuto energetico differente, anche in funzione della specie oltre che dell'umidità/contenuto idrico e una logistica differente.

La biomassa è un termine che riunisce una gran quantità di materiali, di natura estremamente eterogenea. In

forma generale è una materia prima, proveniente da manutenzione boschiva e residui agro-alimentari.

### 2.11.1. Legna da ardere

La legna da ardere può essere confezionata secondo diverse dimensioni.

Il grado di umidità è generalmente compreso tra il 30 e il 50%, in funzione del periodo di tempo intercorso dal taglio della pianta. Il costo di acquisto al dettaglio varia in funzione della distanza dal luogo di produzione, normalmente è compreso tra 0,07 e 0,13 €/kg.

La legna è ottenibile tramite potatura, ramaglie, ecc... (residui di manutenzione boschiva).



Dopo la prima lavorazione con motosega in bosco il materiale è trasportato al piazzale di lavorazione dove subisce la riduzione a misura d'impiego combustibile.

Precisamente avviene la **selezione** (il materiale viene separato, generalmente a mano, secondo le categorie), la **troncatura** (riduzione lunghezza legname tagliando il tronchetto in direzione perpendicolare alle fibre) e la **fenditura** (riduzione larghezza legname spaccando il tronchetto con una forza parallela alle fibre).

Le macchine per la lavorazione della legna di ardere sono : spaccalegna e segalegna.

La prima è dotata di un organo di spacco a cuneo o a vite : quelle a cuneo di uso domestico presentano 2 o 4 facce e lavorano in verticale esercitando una forza di spacco; quelle a vite presentano un cono filettato che si avvita nel legno fino a spaccarlo, sono più veloci delle precedenti ma poco precise. La seconda è basata su una sega a nastro che lavorano grandi diametri e danno basse perdite di segagione; oppure su seghe a disco per diametri minori e presentano maggiori perdite di segagione.

Per lavorare un legno duro occorre una potenza maggiore e i legni si spaccano più facilmente allo stato fresco che stagionato.

### 2.11.2. Pellet - wood pellet

Il pellet è semplicemente segatura pressata ed è assolutamente privo di qualsiasi collante o additivo chimico.

Viene ricavato dagli scarti di legno di qualunque provenienza.

Il pellet di legno è un combustibile ricavato da scarti legnosi, derivanti da lavorazioni industriali o da tagli boschivi, essiccati e successivamente pressati meccanicamente fino ad ottenere dei piccoli cilindretti di diametro variabile tra 5 e 8 mm e altezza di 10÷20 mm. Generalmente per ottenere pellets s'impiegano segatura e scaglie polverizzate di legno vergine, cioè non trattato con corrosivi, colle, vernici.

E' un prodotto compatto senza ricorrere all'aggiunta di additivi e sostanze chimiche estranee al legno; si ottiene, quindi, un combustibile naturale ad alta resa.

Per effetto della pressatura il potere calorifico del pellet, a parità di volume, è circa doppio rispetto a quello del legno. Sul rendimento calorico influisce anche la specie legnosa e l'umidità; in particolare esso aumenta all'aumentare della percentuale di legni duri presenti nel materiale di origine.

**1 m<sup>3</sup> di olio = 6 m<sup>3</sup> di legna = 18 m<sup>3</sup> di cippato = 3 m<sup>3</sup> di pellet**



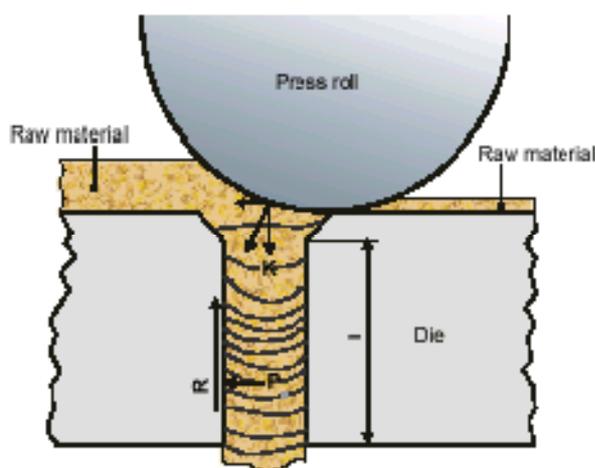
Il processo di pellettizzazione prevede diverse fasi :

Il materiale legnoso di partenza viene posto in forno per essere essiccato allo scopo di ottenere un prodotto con grado di umidità non superiore all'8÷12%.

In seguito viene sminuzzato al fine di omogeneizzare le dimensioni dei componenti.

Successivamente la materia prima giunge alla macchina pellettizzatrice dove subirà una compressione a pressione molto elevata, dell'ordine di 100 bar, necessaria a miscelare tra loro differenti specie legnose e scarti di lavorazione, ma soprattutto per eliminare i vuoti.

L'attrito che si viene a creare tra le particelle produce un brusco innalzamento della temperatura, fino a 250°C, che determina fenomeni di parziale fluidificazione e polimerizzazione della lignina, in tal modo non si rende necessaria l'aggiunta di leganti, peraltro vietati o comunque fortemente limitati dalle legislazioni di molti Paesi. Alcuni Stati consentono l'impiego di una percentuale variabile tra 1÷3% in peso di collanti biologici come l'amido, la melassa, gli oli vegetali, il sulfonato di lignina, la fecola di patate, la farina di mais.



A seguito dell'estrusione dalla macchina pellettizzatrice, il pellet viene sottoposto ad una fase di raffreddamento, necessaria ad evitare indesiderate situazioni di autoaccensione.

Il pellet viene poi depositato in silos o confezionato in appositi sacchi, questo per facilitarne la maneggevolezza, il trasporto e l'uso, essendo il comportamento di tale prodotto del tutto simile a quello di un liquido. L'approvvigionamento può di conseguenza avvenire anche tramite un'autobotte che pompa direttamente il combustibile nel serbatoio d'accumulo.

E' un prodotto dotato di un potere calorifico paragonabile a quello di un combustibile fossile fluido. Originariamente il suo campo d'applicazione lo vedeva confinato al solo settore industriale, ben presto però ha trovato impiego anche nel riscaldamento di utenze domestiche dove ha riscontrato grande successo, soprattutto in virtù delle caratteristiche di compattezza, maneggevolezza e praticità, nonché per i miglioramenti di tipo ecologico, energetico e di gestione impiantistica via via conseguiti nel tempo.

Pertanto risulta indispensabile l'istituzione di un'adeguata filiera di tale combustibile che garantisca il consumatore finale circa lo standard qualitativo del materiale e la continuità dell'approvvigionamento.

### 2.11.3. Cippato - *wood chip*

Il cippato è costituito da legno macinato e ridotto in scaglie grazie all'impiego di una macchina cippatrice.

Il cippato è costituito da scaglie di legno di lunghezza variabile tra 5 e 50 mm, che si estendono nella direzione delle fibre, ottenute dalla sminuzzatura di biomassa lignocellulosica di bassa qualità, per azione di taglio o sfibratura, esercitata da apposite macchine dette cippatrici.



Per produrre cippato possono essere utilizzati i residui delle potature boschive, agricole e urbane, le ramaglie e i cimali, i sottoprodotti delle segherie e il legno proveniente da impianti a breve rotazione come il pioppo, la robinia e l'eucalipto.

Si tratta di una miscela estremamente eterogenea per tipologia di essenze legnose, caratteristiche morfometriche (dimensione, granulometria e geometria) e grado di umidità, caratteristiche che incidono pesantemente sul rendimento di combustione.

La qualità del cippato dipende da :

✓ Specie arborea

*I legni dolci*, come pioppo, salice e abete, sono caratterizzati da un contenuto energetico per unità di volume non elevato in ragione della ridotta massa volumica; presentano inoltre un'elevata umidità allo stato fresco. È bene evitare l'utilizzo di partite di cippato ricavate da legname appena abbattuto, le quali, potendo possedere un contenuto di umidità anche superiore al 150% del peso anidro, non risultano idonee nemmeno all'alimentazione d'impianti predisposti per la combustione di legno umido.

*I legni duri* non resinosi come quercia, castagno, carpino, faggio, robinia, frassino e altre latifoglie nobili, sono specie caratterizzate da un contenuto d'umidità che non supera il 100% allo stato fresco, e quindi possono essere utilizzate subito dopo l'abbattimento, pur essendo sempre preferibile una parziale stagionatura. Avendo massa volumica più elevata rispetto ai legni teneri, il cippato ottenuto, a parità di volume, possiede un contenuto energetico superiore.

*I legni duri resinosi* come larice e pini sono caratterizzati da un contenuto in resine mediamente elevato, fino all'8% del peso anidro, le quali hanno l'effetto di aumentare il potere calorifico del legno. Se la combustione avviene ad alte temperature, ed è regolata secondo rapporti stechiometrici ottimali, la presenza delle resine non dà luogo a problemi, viceversa, i prodotti parzialmente incombusti che si liberano da questi estratti possono originare incrostazioni del focolare e delle canne fumarie, richiedendo frequenti interventi di manutenzione dell'impianto. E' consigliabile lasciar stagionare, almeno parzialmente, questo tipo di legname.

#### ✓ Tipologia di cippato

A seconda della natura del materiale che s'intende cippare si è soliti distinguere tre tipologie di materiale ottenuto :

*Il cippato verde* è ottenuto dallo sminuzzamento della pianta intera, comprese ramaglie, cimature, corteccia e foglie. La produzione di cippato verde consente di ottimizzare la fase produttiva, eliminando i tempi di selezione e di scarto dei residui forestali, pur conferendo un prodotto a pezzatura variabile e caratterizzato da un'alta percentuale di umidità relativa, fino al 50% in peso.

*Il cippato marrone* è ottenuto cippando oltre al tronco anche i rami e i tronchetti comprensivi di corteccia.

*Il cippato bianco* è prodotto dalla cippatura del solo tronco, preventivamente scortecciato.

#### ✓ Tipo e regolazione dell'azione della cippatrice

Il cippato propriamente detto ha pezzatura fine e granulometria abbastanza uniforme, esso è ottenuto per mezzo di sollecitazioni taglienti, impresse dalla cippatrice, al materiale da trattare. Il cippato può essere ricavato anche per sfibratura: in tal caso il prodotto si presenta più grossolano di forma allungata e piuttosto irregolare, conservandosi in parte la struttura originale dei tessuti legnosi. La velocità di rotazione dell'organo di taglio, la velocità di avanzamento del pezzo di legno e le condizioni della superficie di taglio dei coltelli sono parametri che incidono fortemente, sia sulla qualità del cippato, sia sulla produttività della macchina.

Risulta di fondamentale importanza un'accurata regolazione di questi aspetti, oltre ad una periodica manutenzione degli organi meccanici, in particolare la pulizia e l'affilatura dei coltelli.

✓ Pezzatura cippato

La pezzatura del cippato se non è sufficientemente piccola e uniforme può incidere negativamente su *rendimento di combustione* (elementi **legnosi più grossi comportano maggiori emissioni e più ceneri**); *densità del materiale* (aumentando la densità apparente si rendono più onerose le operazioni di carico, trasporto e movimentazione); *tempo di essiccazione* (particelle più grosse rendono più difficoltosa la circolazione dell'aria); *funzionamento dell'impianto* (i pezzi di legno di più elevate dimensioni possono causare intoppi e avarie).

Sarebbe opportuno rimuovere i chips di dimensioni non conformi a monte del sistema di alimentazione, predisponendo un vaglio.

L'**omogeneità** e un costante **basso grado di umidità** della biomassa legnosa, oltre a ridurre il rischio di inconvenienti in fase di alimentazione, consentono alla caldaia di lavorare a regime, permettendo così il conseguimento di un maggiore rendimento di combustione unitamente ad una riduzione delle emissioni.

✓ Percentuale di umidità

L'umidità del cippato è funzione di quella del legno da cui deriva ed è definita dal rapporto fra la quantità d'acqua contenuta in un pezzo di legno e il peso, anidro o umido, di quest'ultimo.

Le scaglie provenienti dal bosco non essiccate posseggono un elevato grado di umidità relativa, generalmente compreso tra il 40 e il 60%.

Solitamente la biomassa legnosa, privata di foglie e ramaglie, viene lasciata essiccare per circa 6 mesi prima di procedere alla cippatura: in tal modo si ottiene un materiale con una percentuale di umidità relativa pari al 20÷30%, con caratteristiche qualitative e di pezzatura abbastanza uniformi.

Per sostituire **1 kg di gasolio** sono necessari circa **4 kg di cippato**.

Il **cippato** dunque è un buon combustibile, ma la sua **conservazione in condizioni ottimali è molto difficile**: il legno umido infatti è un substrato eccellente per la crescita di vari microrganismi *xylofagi*, quali funghi e batteri. Normalmente questi organismi non riescono a penetrare la corteccia, pertanto raggiungono il legno solo laddove questa è interrotta, ad esempio in corrispondenza di una ferita.

Con la sminuzzatura, invece, viene prodotta un'enorme quantità di legno non protetto, moltiplicando così la superficie ricettiva all'attacco dei microrganismi. Il risultato è che **l'attacco microbiologico ha inizio subito dopo la cippatura** e si protrae per diverse settimane, almeno finché la temperatura generata dalla respirazione microbica non diventa talmente elevata da inibire un'ulteriore proliferazione.

Il risultato dell'attacco microbiologico, impropriamente chiamato fermentazione, è la **perdita di una notevole quantità di sostanza secca**, divorata dai microrganismi e non più disponibile per la produzione di energia.

#### ✓ Stoccaggio

Finalità generale dei metodi per lo stoccaggio del cippato è la riduzione del grado di umidità del materiale. Il sistema d'immagazzinamento più efficace consiste nel conferire il cippato entro locali coperti e ventilati, predisponendolo sottoforma di cataste di altezza abbastanza limitata, al fine di agevolare il passaggio di aria. Tuttavia, la costruzione di strutture di stoccaggio può risultare eccessivamente costosa, così, qualora nelle vicinanze del cantiere di cippatura non esistano edifici inutilizzati, le cataste si vengono predisposte all'aperto. In tal caso è buona norma coprirle con un telone o con fogli di PVC. Da segnalare anche il rischio, non trascurabile, di autocombustione, soprattutto conseguente alla presenza di oggetti metallici accidentalmente finiti all'interno di cataste.

Il cippato può essere impiegato nell'industria cartaria, per la produzione di pannelli e *compost*, oppure a scopo energetico, attraverso combustione in caldaia: in tal caso è bene che la pezzatura del materiale sia abbastanza uniforme e piccola.

Il prezzo del cippato dipende dalla disponibilità di legname, derivante sia dalle attività di taglio e gestione dei boschi, sia dagli scarti di lavorazione, da destinare alla cippatura, dalla distanza di trasporto del materiale d'origine al cantiere di cippatura, ed eventualmente dall'accessibilità al luogo di produzione, dalle dimensioni degli stoccaggi, dai volumi di cippato lavorati.

#### **2.11.4. Cippatura e fasi**

Nei lavori di utilizzazione forestale si distinguono diverse fasi, che potranno variare da azienda ad azienda.

**Abbattimento** : recensione del fusto al piede e atterramento fusto

**Allestimento** : sramatura (taglio dei rami e del cimale fino alla completa pulizia del tronco) e depezzatura (divisione del fusto in assortimenti commerciali) ove necessario, di solito la pezzatura è di 5 metri

**Concentramento** : trasporto del legname dal letto di caduta alle vie di esbosco

**Esbosco** : trasporto del legname col trattore tramite trascinamento con argano lungo le vie d'esbosco, fino all'imposto dove verrà cippato e raccolto con autocarro

**Scortecciatura** : asportazione parziale o totale della corteccia (alcune aziende non la effettuano)

**Trasporto** : movimentazione del legname attraverso strade forestali o pubbliche

**Trasformazione** : riduzione a misura di impiego combustibile (cippatura)

La cippatura è una fase che in questi ultimi anni ha acquisito sempre più importanza allo scopo di valorizzare biomassa altrimenti inutilizzata e scartata.

#### **Cippatura = sminuzzatura**

E' la produzione di scaglie di legno (chips) da piante intere o loro parti di minor valore (cimale, rami) da utilizzare a fini energetici o per la trasformazione industriale.

Si è sviluppata 15-20 anni fa.

#### **Funzioni:**

- riduzione del volume dei rami in bosco;
- accelerare il processo di decomposizione del materiale
- omogeneizzazione del materiale dopo il taglio
- facilitazione del trasporto del prodotto (coclee, nastri...)

#### **Destinazione del materiale :**

- Industria cartaria (cellulosa) 18-25 mm
- Industria dei pannelli (di particelle e fibre) 18-25 mm
- Compost (orto frutticola) 8-12 mm
- Produzione di energia (combustibile) 8-12 mm

#### Utilizzo cippato a fini energetici :

- Negli ultimi anni si è sviluppato il mercato del cippato a fini energetici
- Combustione in apposite caldaie per la produzione di calore
- Nascita di centrali alimentate a cippato

#### Norme e requisiti qualitativi :

Norma UNI (Ente Nazionale Italiano di unificazione) n° 14961 del 2005 (**Direttiva biocombustibili solidi**) che cataloga la dimensione delle particelle dello sminuzzato in sei classi granulometriche :

<3 mm, 3-15 mm, 16-45 mm, 46-63 mm, 64-100 mm, >100 mm.

Ci possono essere due schemi di possibili filiere legno-energia per l'alimentazione di caldaie a cippato in zona montana, nell'ottica dell'impresa boschiva che gestisce la filiera

1) *Diradamento in bosco*. Le fasi sono : abbattimento, esbosco pianta intera, allestimento meccanizzato all'imposto (con trascinatori ad argano ed escavatrici con pinza per accatastare i tronchi), carico legname su autotreno, trasporto alla piattaforma di cippatura, scarico da autotreno, stagionatura, cippatura, conferimento cippato con autotreno.

2) *Taglio di maturità in bosco*. I residui di lavorazione sono materiale presente a bordo strada a costo 0.

Le fasi sono : cippatura residui di lavorazione, conferimento cippato con autotreno.

#### **2.11.5. Vantaggi e svantaggi cippatura e unità di misura**

##### Vantaggi :

- **minore prezzo d'acquisto;**
- **minore densità volumetrica:** il cippato può essere considerato quasi alla stregua di un liquido in quanto non possiede un proprio volume, ma assume quello del recipiente che lo contiene, per tale motivo si parla di massa volumica apparente [kg/m<sup>3</sup>], funzione delle caratteristiche morfometriche di pezzatura e di forma delle scaglie che ne determinano il grado di costipazione;
- **maggiore facilità di movimentazione e carico:** è infatti consentito l'impiego di mezzi meccanici automatizzati;

- **maggiore contenuto energetico:**  $PCI=10,5\div 14,4$  MJ/kg (2.000÷3.500 kcal/kg), variabile in funzione dell'umidità, della specie legnosa e della massa volumica. I valori inferiori si riscontrano nel caso di legno dolce e di particelle di grandi dimensioni, quelli più elevati sono tipici del legno duro e di particelle minute;
- **migliori condizioni di combustione:** cioè maggior rendimento, minori emissioni e un più ridotto quantitativo di ceneri, infatti il combustibile di pezzatura più piccola e uniforme garantisce indiscutibilmente una più omogenea miscelazione con l'aria e quindi un processo termochimico a regime;
- **utilizzo** del 20-25 % in più di massa legnosa (anche i rami);
- **riduzione** lavoro di de-pezzatura;
- **ottenere** fino a 300-400 q/h di scaglie.

Svantaggi :

- **potenza** richiesta elevata;
- **mancanza** di un vero mercato
- **costo trasporto** maggiore

Unità di misura :

- Il metro cubo (mc) di legno pieno fa riferimento al volume interamente occupato dal legno
- Il metro stero (ms) che considera i vuoti per pieni ed è utilizzato per i combustibili legnosi :

- Il **metro stero accatastato (msa)** è per la legna da ardere ordinatamente accatastata

- Il **metro stero riversato o alla rinfusa (msr)** è l'unità di misura utilizzata per il cippato

**Potere calorifico:** *quantità di calore sviluppata nella combustione completa di una quantità unitaria di combustibile (quantità cioè di energia termica che si può ricavare e che è liberata dalla combustione completa riferita all'unità di peso).*

Potere calorifico è misurato in : Joule per chilogrammo (J/kg) o kilocalorie per chilogrammo (kcal/kg) di combustibile o kWh/kg.

Potere calorifico dipende da : specie, parte sminuzzata (più o meno corteccia)

→ NECESSITA' DI MATERIALE OMOGENEO (per la taratura delle caldaie a cippato)

**Densità energetica (E) :** *rapporto tra il contenuto energetico del legno e il volume sterico in cui è compresso (cippato).*

Densità energetica è misurata in : J/msr o kWh/msr.

### Parametri energetici indicativi del cippato

	UNITA' DI MISURA	VALORI
Massa sterica	Kg/msr	220 – 320
Contenuto idrico	%	30
Potere calorifico inferiore	kWh/kg	3,4
Densità energetica	kWh/msr	748 – 1088
Ceneri	% (in peso)	1 - 3

#### 2.11.6. Caldaie per impianti alimentati a cippato e caratteristiche

La combustione è il processo di utilizzazione energetica della biomassa più antico e consolidato. In relazione al tipi di biomassa utilizzata, al contenuto di umidità presente e della quantità di ceneri prodotta il potere calorifico inferiore derivante dalla combustione varia.

Gli impianti che sfruttano la combustione di biomassa a scopi energetici possono essere suddivisi in due categorie :

- 1) **Impianti per la produzione di energia termica**, eventualmente in cogenerazione, a partire da combustibile solido con una potenza di solito inferiore a 5 – 6 MW termici (sono gli impianti con le migliori prestazioni sia economiche che tecniche e in termini di potenziale risparmio energetico);
- 2) **Impianti per la produzione di energia elettrica**, eventualmente in cogenerazione, a partire da combustibile solido o liquido con una potenza tra 2 e 15 MW elettrici.

Le principali caratteristiche qualitative richieste dalle caldaie sono la pezzatura, il contenuto idrico e di ceneri.

Esistono diverse tipologie di impianti alimentati a cippato:

### 1) Impianti di combustione a griglia fissa e mobile

E' la tipologia tradizionale più diffusa, si adattano bene a tutti i tipi di combustibile e flessibili nei confronti dell'umidità.

*Le caldaie a griglia fissa* richiedono materiale molto omogeneo sia per la ridotta dimensione della griglia sia perché pezzi fuori misura possono essere causa di blocchi alle coclee di trasporto e di caricamento. Il contenuto idrico di tali caldaie non deve superare il 30%, esse hanno infatti una scarsa inerzia termica in quanto i volumi della camera di combustione e dell'acqua nello scambiatore sono limitati, perciò l'ingresso di materiale molto umido abbasserebbe eccessivamente la temperatura di combustione. Inoltre un contenuto idrico troppo elevato può compromettere la fase di avvio, essendo tali caldaie dotate di un dispositivo di accensione automatica elettrico. Il contenuto idrico del cippato dovrebbe essere quanto più omogeneo possibile in quanto, maggiore è la sua eterogeneità e maggiori sono i costi di investimento per avere una tecnologia in grado di gestire il più complesso processo di combustione. Benchè le caldaie a griglia fissa riescano a bruciare cippato fresco, maggiore è il contenuto idrico del cippato maggiore è la perdita di efficienza del processo di conversione energetica, in quanto parte dell'energia deve essere consumata per far evaporare l'acqua dal legno. E' il sistema più adatto e conveniente per le industrie della lavorazione del legno, soprattutto per le gamme di potenza medio - piccole. La speciale struttura del focolare impedisce la formazione di scorie anche nel caso di materiale molto secco e trucioli. Costituiscono un sistema economico anche per la combustione di biomassa proveniente dal bosco.

*Le caldaie a griglia mobile* impiegate soprattutto in contesto industriale grazie alla maggiore facilità di movimentazione, del minor grado di rimescolamento del combustibile e della più agevole rimozione delle ceneri. Se si vuole utilizzare convenientemente questi assortimenti legnosi direttamente dal bosco alla caldaia la griglia mobile ad avanzamento -arretramento è il sistema ideale. Questo impianto è di facile manutenzione e ha una elevata tollerabilità di combustibile.

La camera di combustione rotante migliora la combustione e quindi il rendimento nominale utile della caldaia : si tratta di caldaie indicate per ogni tipo di biomassa e per potenze elevate oltre i 2000 kW.

In questa situazione praticamente l'avanzamento si realizza per gravità sagomando e disponendo opportunamente gli elementi sulla griglia (rendimenti intorno al 70%).

## 2) Impianti di combustione a letto fluido

Il combustibile viene mantenuto in sospensione tramite un flusso d'aria dal basso verso l'alto e comporta l'impiego di un vettore solido che, trascinato dall'aria comburente, viene a contatto con il combustibile. Si utilizza della sabbia silicea con dimensione dei grani inferiore a 1 mm.

Consente di trattare varie tipologie di biomassa inclusi i materiali più scadenti, quali ligniti, torbe, RSU, fanghi, prodotti con elevata umidità. La camera di combustione è parzialmente riempita da un materiale inerte, come sabbia, che viene fluidificato dall'aria comburente in modo da costituire un letto bollente che viene rimesso in circolazione nella camera di combustione. Il combustibile viene mantenuto in sospensione tramite un flusso d'aria dal basso verso l'alto, utilizzo della sabbia silicea con dimensione dei grani inferiore a 1 mm.

## 3) La combustione in sospensione

Tecnologia indicata per biomasse leggere e polverulenti, quali lolla di riso, segatura, paglia. La biomassa inserita nella parte superiore del combustore brucia cadendo sulla griglia sottostante.

## 4) La combustione a tamburo rotante

Utilizzate nelle applicazioni che prevedono l'impiego di combustibile dalle scarse caratteristiche termo-fisiche e contenente elevati inquinanti. A causa del rimescolamento continuo, generato dalla rotazione del tamburo, la combustione avviene in maniera completa con diminuzione degli incombusti.

## 5) La combustione a doppio stadio

Tecnologia nella quale si verificano, in una prima camera, gassificazione e pirolisi, poi, in corrispondenza di una seconda camera a valle, si ha la completa combustione dei prodotti gassificati, dove avviene anche il trasferimento dell'energia a fluido vettore.

## Gassificatori

Produzione di un gas combustibile (detto gas di gasogeno o syngas) da avviare a motori endotermici o a turbine a gas, avviene un processo termochimico che origina una miscela combustibile di CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, con ossidazione incompleta di una sostanza in ambiente ad elevata temperatura (900÷1.000°C).

La gassificazione è un processo chimico-fisico complesso mediante il quale si trasforma un combustibile solido (legno, scarti agricoli, rifiuti) in un combustibile gassoso.

Il processo si realizza in 3 fasi :

- una prima fase di essiccazione in cui si ottiene la disidratazione del materiale;
- una seconda fase di pirolisi in cui si ottiene una parziale “distillazione” del legno;
- una terza fase di gassificazione in cui i prodotti della pirolisi reagiscono con l’agente gassificante

Il processo consiste nell'ossidazione incompleta (a causa dell'assenza o della carenza di ossigeno), di una sostanza in ambiente ad elevata temperatura (900÷1'000°C). Il prodotto risultante è un gas combustibile (detto gas di gasogeno o syngas) caratterizzato da un potere calorifico inferiore variabile.

**L’impiego di cippato di bassa qualità** (es. prodotto composto esclusivamente da ramaglie di conifere con aghi) comporta poi un aumento dei costi di manutenzione (scorie di fusione, pulizia scambiatori) e una sensibile riduzione del rendimento del generatore con conseguente aumento del costo dell’energia utile.

#### **2.11.7. Stagionatura legno e cippato**

##### Stagionatura legno

Le biomasse lignocellulosiche fresche nella fase di stoccaggio si **riscaldano** a causa soprattutto dei processi di respirazione di alcune cellule ancora vive; tali processi si interrompono raggiunti i 40 gradi. L’ulteriore incremento di temperatura della massa legnosa è riconducibile al metabolismo di funghi e batteri (i funghi possono sopravvivere fino a 60 gradi, mentre i batteri termofili fino a 70-75 gradi). In particolari condizioni il riscaldamento della massa legnosa può raggiungere anche i 100 gradi. Oltre i 100 gradi però si instaurano processi di trasformazione termochimica che possono condurre a fenomeni di autocombustione (anche se raro) che interessano maggiormente materiali legnosi molto fini (segatura) e la corteccia. In condizioni ottimali di crescita di batteri e funghi (umidità, temperatura) il riscaldamento della massa avviene già dopo pochi giorni. Al contrario, i microorganismi non sono attivati nel caso di permanenti condizioni di basse temperature come in inverno.

**Tanto maggiore è il contenuto idrico del cumulo di cippato tanto più rapidamente il cumulo si scalda**

A causa dell'intensificarsi delle attività metaboliche di funghi e batteri si determina una decomposizione della sostanza legnosa, quindi una perdita di massa combustibile. Per minimizzare tali perdite **l'attività biologica** deve essere tenuta il più possibile **sotto controllo**.

Il **cippato** e la **corteccia** sono i combustibili più sensibili a tali problematiche, e per esse è possibile attuare una serie di provvedimenti :

- stoccare materiale più umido possibile e proteggerlo dalle precipitazioni
- favorire la ventilazione naturale che accelera la perdita di calore e di acqua
- utilizzare utensili di taglio adeguatamente affilati per garantire la pezzatura regolare
- minimizzare la presenza di aghi e foglie facilmente aggredibili dai microrganismi
- minimizzare la durata dello stoccaggio
- altezza del mucchio non troppo elevata

Spesso non è sempre possibile attuare tutti i provvedimenti, perciò deve essere considerata una certa perdita di massa legnosa.

MATERIALE/TIPO STOCCAGGIO	PERDITA/A DI SOSTANZA SECCA (SS) IN %
Cippato forestale fine, fresco, scoperto	20-35
Cippato forestale fine, stagionato coperto	2-4
Cippato forestale grossolano, fresco, coperto	4

Nel corso della stagionatura cambia la composizione del legno e quindi del suo contenuto energetico, a causa dei diversi tipi di funghi che possono attaccare la lignina (la più difficilmente attaccabile). . Lo sviluppo dei funghi è legato alla temperatura e al contenuto idrico del legno. Le muffe invece contribuiscono in modo irrilevante alla decomposizione della sostanza legnosa, utilizzano solo le sostanze nutritive della parte superficiale della biomassa.

Lo sviluppo dei **funghi** non provoca solo la perdita di sostanza secca ma crea dei rischi per la **salute umana**.

I rischi per la salute umana derivano dalla disseminazione delle spore fungine che, nel corso della movimentazione dei combustibili legnosi, possono arrivare al sistema respiratorio e provocare allergie.

Alcune **precauzioni** :

Il legno dovrebbe essere il più possibile stoccato e stagionato tal quale; la stagionatura del cippato non dovrebbe durare più di 3 mesi; minimizzare la presenza di parti verdi (aghi, fogliame) e di frazione fine; i mucchi stoccati all'aperto dovrebbero avere una conformazione conica per favorire l'allontanamento dell'acqua piovana; nei depositi di cippato interrati dovrebbe essere predisposti dei sistemi di aereazione.

#### Stagionatura cippato

Per produrre cippato di qualità idonea all'impiego in caldaie di piccola media potenza si utilizzano come materiali di partenza : tronchi di conifera sramati, tronchi di latifoglia con o senza rami e ramaglie di latifoglie possibilmente con diametro minimo di 5 cm per limitare il contenuto di cenere percentualmente presente più nella corteccia che nel legno, pioppo e robinia a breve ciclo di rotazione.

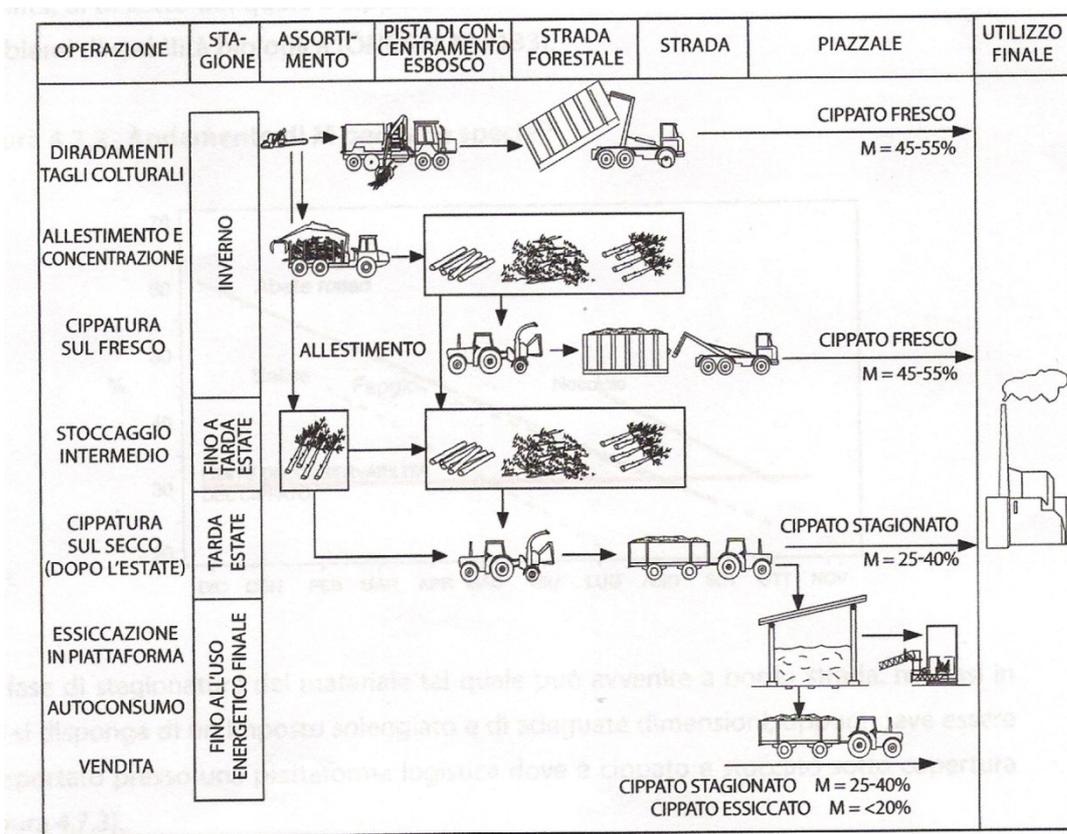
La stagionatura deve avvenire nel corso dell'estate quando è massimo l'apporto energetico gratuito da parte del sole e del vento che favorisce l'essiccazione naturale del legno. Nel corso della stagionatura la perdita di contenuto idrico varia di solito tra il 40 e il 50 %. Tagliando per esempio le piante a maggio, con le foglie presenti, esse grazie all'evapotraspirazione accelerano l'essiccazione naturale del legno.

Lasciare la legna tagliata in un ambiente ombroso interno al bosco non determina una sensibile perdita del contenuto idrico del legno, per questo la stagionatura del materiale deve avvenire in un sito adeguatamente soleggiato e il più possibile ventilato. Il legname tal quale, dal momento del taglio, portato in un imposto soleggiato esterno al bosco raggiunge nella tarda estate un contenuto idrico inferiore al 30% ed è pronto per essere cippato (**30% è definito limite di conservabilità, al di sotto del quale il cippato è classificato idoneo ad essere stoccato senza problemi di stabilità biologica**).

La fase di stagionatura del materiale tal quale può avvenire a bordo strada nei casi in cui si disponga di un imposto soleggiato e di adeguate dimensioni, oppure deve essere trasportato presso una piattaforma logistica dove è cippato e stoccato sotto copertura.

Il modo più efficace di conservare e stagionare il cippato è disporlo sopra una superficie impermeabile (cemento e/o asfalto), per le operazioni di cippatura e taglia/spacca, protetto da una copertura in un sito soleggiato e ventilato. La struttura della copertura deve massimizzare l'aerazione dello stoccaggio e consentire di compiere comodamente le operazioni di movimentazione e carico/scarico del cippato.

Sono disponibili sul mercato tessuti protettivi specifici per il cippato che hanno dimostrato una buona efficacia sia per la stagionatura del cippato fresco che per la conservazione del cippato con umidità inferiore al 30%. Il tessuto è traspirante e consente l'allontanamento dell'aria satura d'acqua durante la fase di auto riscaldamento della massa. Il cippato deve essere posto possibilmente su una superficie impermeabile e al cumulo data forma conica per favorire lo scorrimento dell'acqua piovana sulla superficie del tessuto.



Esistono diversi metodi di essiccazione :

#### *Ventilazione forzata con aria preriscaldata.*

Qualsiasi misura tecnica esterna che innalza anche di pochi gradi la temperatura dell'aria all'interno della massa di cippato induce fenomeni di circolazione dell'aria favorendo l'essiccazione del legno.

Nel caso di coperture con prevalente funzione di stagionatura del cippato, si può prevedere la costruzione di strutture con sistemi di ventilazione forzata di aria preriscaldata in un'apposita intercapedine sotto tetto. L'aria è preriscaldata dal sole e viene successivamente convogliata in un camino di ventilazione e forzata dal basso con ventilatori all'interno del cumulo di cippato. Con tali sistemi si riescono a portare in una settimana (di primavera-estate) 150 msr da umidità 50% a umidità 30%.

Le fasi sono : 1)riscaldamento dell'aria esterna da parte dei collettori solari, 2)effetto di auto riscaldamento del cumulo di cippato, 3)l'aria preriscaldata è spinta dal ventilatore attraverso il cumulo di cippato.

Durante la notte, quando l'umidità relativa dell'aria aumenta, è bene sospendere la ventilazione forzata per impedirne l'acquisizione da parte del cippato. Per il calcolo di progetto della portata d'aria necessaria si può fare riferimento alla superficie coperta dal cumulo.

#### *Essiccazione con aria calda con valorizzazione energia termica.*

L'effetto di essiccazione migliora sensibilmente impiegando aria riscaldata con un generatore. La temperatura di lavoro può variare da 20 gradi a 100 gradi. Anche qui l'aria è immessa nell'ammasso di cippato per mezzo di un ventilatore (il calore necessario è circa 3-4 Mj per Kg di acqua). Accanto a sistemi dedicati per la produzione di calore è bene sfruttare calore a basso costo o gratuito coprodotto e recuperato da impianti di cogenerazione (biogas o impianti a cippato) e così questa energia termica può essere valorizzata per essiccare anche il cippato.

#### *Dispositivi semplificati di essiccazione.*

Per l'essiccazione del cippato sono proposte strutture semplificate fisse o mobili con una doppia pavimentazione forata attraverso la quale è immessa aria calda. Il sistema di distribuzione del calore è costituito da una serie di tubazioni rigide facilmente allestite nell'essicatoio.

*Asciugatura indotta dal calore dei processi fermentativi.*

Il calore originato dai processi di demolizione della sostanza legnosa nei cumuli di cippato origina moti convettivi che richiamano aria più fresca dal basso e lateralmente, perciò sono particolarmente efficaci le pavimentazioni ventilate nelle coperture di stoccaggio. L'effetto di auto riscaldamento sull'asciugatura del cippato è molto efficace in combinazione con sistemi di ventilazione forzata.

Nelle strutture con sistemi di circolazione dell'aria forzata, i cicli di aerazione sono regolati dalla differenza di temperatura interno-esterno; già da differenze di 5-10 gradi è favorita la circolazione naturale dell'aria consentendo così di ridurre l'energia necessaria per forzare la circolazione.

### **2.11.8 Le cippatrici**



La cippatrice è una macchina specificatamente progettata per la riduzione del legno in scaglie e può essere fissa, semovente, carrellata, allestita su rimorchio o su autocarro o montata sull'attacco del trattore. Può essere dotata di motore autonomo o essere azionata dalla presa di potenza del trattore.

Quando la cippatura avviene in luogo diverso dall'utilizzo finale, il prodotto è trasportato su autocarro o autotreno

A seconda della potenza esistono diverse cippatrici :

- ▶ A piccola potenza, collegate a tre punti del trattore di solito e sono azionate dalla presa di potenza trattore o con motore indipendente (circa 50 kW). Lavorano diametri fino a 20 cm e arrivano a produrre 20 t/giorno.
- ▶ A media potenza, allestite anche su rimorchi e azionate da motori a scoppio indipendenti (50 – 110 kW). Lavorano diametri fino a 30 cm e arrivano a 50 t/giorno.
- ▶ A elevata potenza, allestite su rimorchi o autocarri e generalmente presentano un motore autonomo (> 130 kW) o azionate dal motore dello stesso autocarro. Macinano diametri elevati (> 30 cm) e possono arrivare a 60 t/giorno.

Il **vaglio** è un importante accessorio di tali macchine, permette di selezionare le scaglie in fase di espulsione , raffinando il cippato e allo stesso tempo abbassano la produttività.

La produttività di una cippatrice varia a seconda del materiale di partenza.

### **Componenti cippatrici**

*Presa di potenza:* su cui viene inserito l'organo di trasmissione del moto del motore

*Supporto porta utensili taglienti:* può essere a disco, a tamburo, a vite senza fine

*Organo di ventilazione ed espulsione:* la ventilazione, necessaria all'espulsione delle scaglie, avviene tramite alette poste sul disco o tramite una ventola posta sull'asse del tamburo o della vite senza fine; l'espulsione avviene tramite un "collo d'oca" metallico fisso od orientabile per direzionare il materiale nel punto voluto

*Bocca di alimentazione:* è quadrangolare a tronco di piramide ed ha la funzione di invio del materiale ai coltelli. La svasatura deve essere ampia per permettere ad esempio l'introduzione di ramaglia o di piante intere di rami. Importante è l'altezza da terra della bocca

### **Alimentazione**

- Manuale
- Con gru munita di pinza idraulica

### **Classificazione cippatrici**

1. In funzione del sistema di trasporto : movimentate dall'operatore, portate, trainate, semoventi, fisse
2. In funzione del sistema di azionamento : presa di potenza del trattore, motore autonomo a scoppio, motore autonomo elettrico
3. In funzione dell'organo sminuzzatore : vite senza fine, disco, tamburo

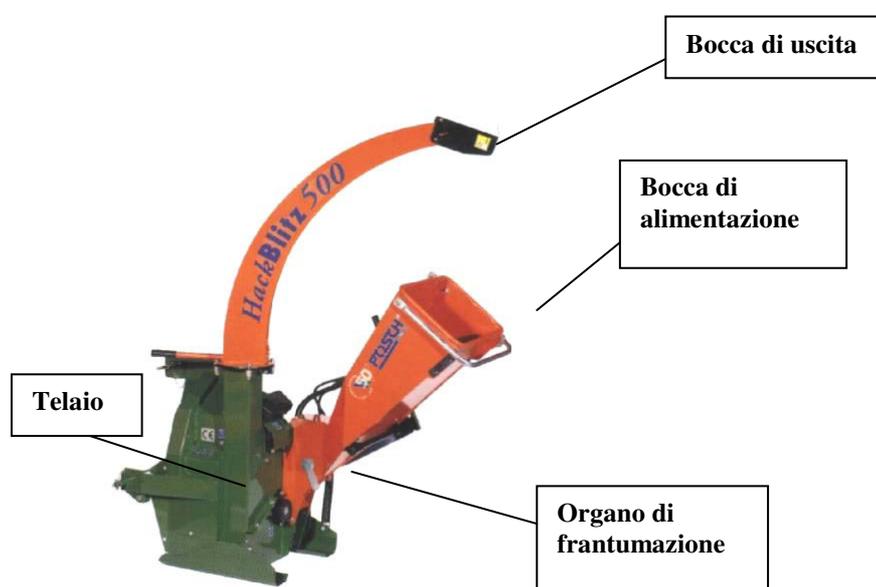
## 1. Sistema di trasporto

### ➤ Trasportata manualmente dall'operatore

Vengono usate ad uso privato per ripuliture di giardini, dotate di motore autonomo a scoppio oppure elettrico (2,2 – 10 kW)

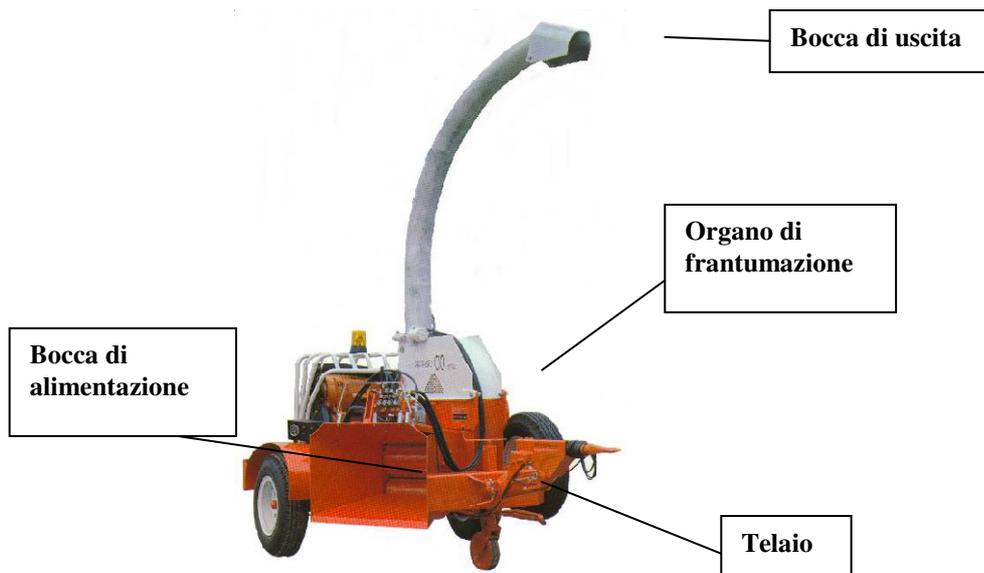
### ➤ Portata

Utilizzate su piazzale e in bosco con potenza da 25 a 90 kW, azionate dalla presa di potenza del trattore



### ➤ Trainate

Utilizzate su piazzale e in bosco con potenza da 25 a 350 kW, azionate dalla presa di potenza del trattore oppure da motore autonomo a scoppio

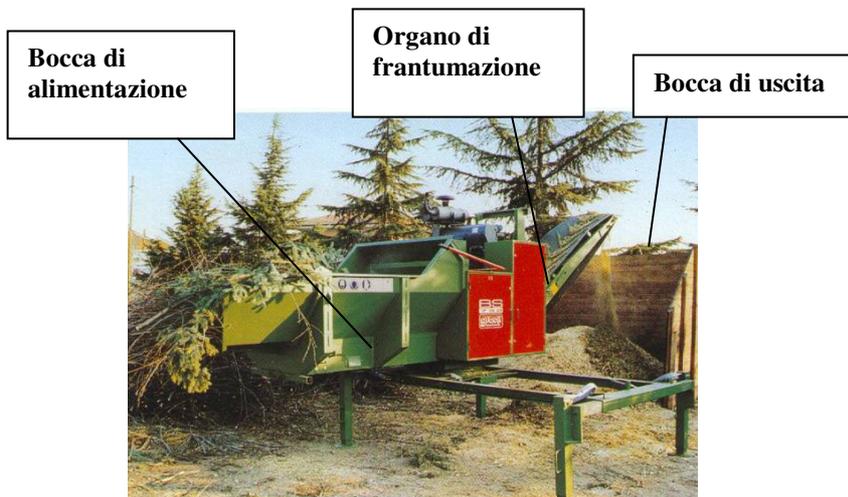


➤ Semovente

Utilizzate su piazzale o in bosco con potenza da 100 a 150 kW, motore autonomo o a scoppio

➤ Fissa

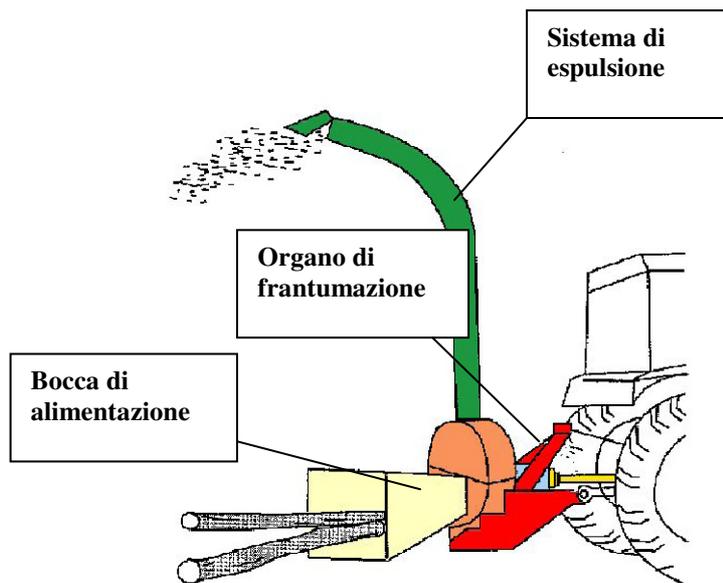
Utilizzate su piazzale con potenza da 30 a 700 kW, motore autonomo



## 2. Organo sminuzzatore

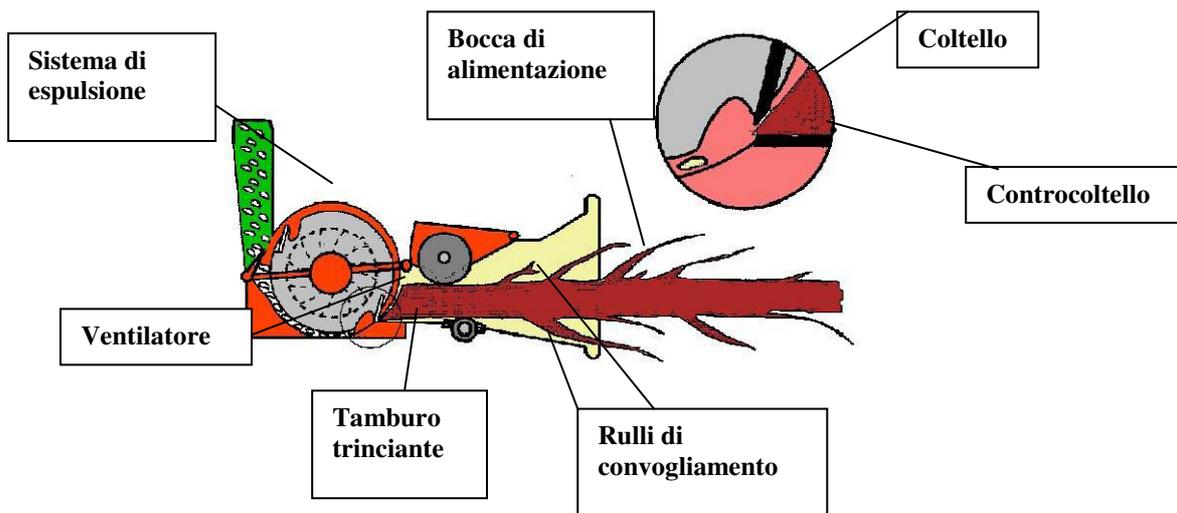
### ➤ Cippatrice a disco

E' costituita da un pesante volano su cui sono montati 2 o 4 coltelli in posizione radiale; vi è una controlama regolabile che permette di variare le dimensioni delle scaglie (fra 0,3 e 4,5 cm); num. giri/minuto = 500, bocca di alimentazione disposta a 45° rispetto al disco



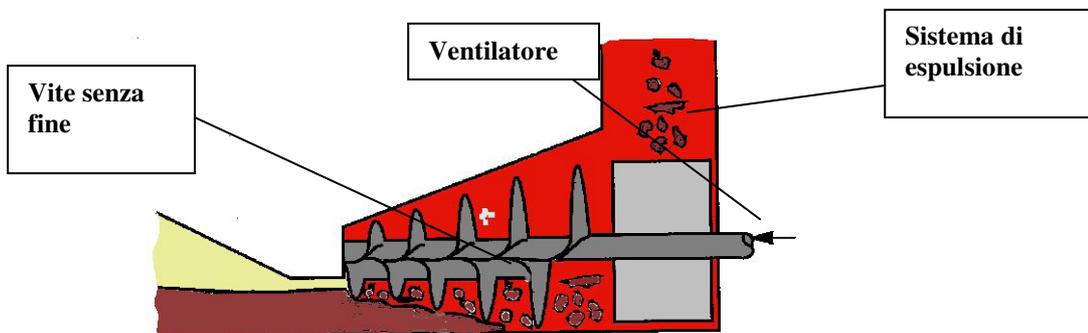
### ➤ Cippatrice a tamburo

Sono macchine più grandi e più potenti delle precedenti, per lavorare quindi anche ramaglie; l'organo di taglio è un cilindro di acciaio su cui sono montati fino a 12 coltelli in posizione tangenziale; il materiale restituito è più eterogeneo (scaglie fino a 6,5 cm); i coltelli vanno sostituiti ogni certo quantitativo di tonnellate lavorate in funzione del tipo di legno; formata da un cilindro cavo del diametro minimo di 30 cm



➤ Cippatrice a vite senza fine o a coclea

L'organo di taglio è una grossa vite a sezione decrescente con i bordi taglienti che ruota su un'asse orizzontale; sono poco diffuse; adatte a lavorare tronchi interi e producono scaglie più grandi (fino a 8 cm); i tronchetti vengono fatti avanzare contro una vite senza fine con bordi taglienti rotanti.



**Criteri di scelta**

Per scegliere la cippatrice più idonea alle nostre esigenze di deve tenere conto di :

- Diametro della legna da sminuzzare
- Destinazione dello sminuzzato
- Quantità di prodotto da lavorare

## Costi

Variabili in funzione della potenza della scippatrice : variano da poche centinaia di euro fino a 5-600.000.

Le cippatrici presentano alto consumo di combustibile.

## Sicurezza nelle cippatrici

Utilizzare una cippatrice è lavoro tutt'altro che privo di pericoli. Gli incidenti che possono accadere sono spesso assai gravi e non di rado provocano periodi prolungati di incapacità lavorativa o addirittura invalidità. Il principale rischio è quello di essere ghermiti con forza dai cilindri di trascinamento. Oltre a tale rischio l'utilizzazione e la manutenzione di una macchina cippatrice comporta i seguenti rischi :

- essere **colpito** con violenza da pezzi di legno rigettati oppure proiettati attorno alla zona della tramoggia di alimentazione;
- venire catturato o **tagliarsi** durante i lavori di riparazione, di pulizia e di manutenzione;
- subire delle lesioni all'udito a causa del **forte rumore**;
- venire **schacciato** da altri veicoli in movimento.

Differenti provvedimenti di tipo tecnico e misure riguardanti l'organizzazione del lavoro permettono di ridurre o addirittura eliminare questi rischi. Tra le principali misure preventive :

- aumentare la distanza tra i bordi anteriori della tramoggia di alimentazione e i cilindri di trascinamento, in modo che essa sia almeno di 150 cm;
- rendere maggiormente visibile la staffa di comando del dispositivo di arresto, in modo che chi introduce il materiale legnoso possa arrestare tempestivamente la macchina;

.

La macchina cippatrice deve essere sistemata in una **zona ampia**, prestando attenzione che tutt'intorno non vi siano muri, recinzioni o ringhiere, in posizione stabile in modo che essa sia assolutamente fissata al suolo. La **zona** di lavoro attorno alla macchina deve essere preventivamente **sgomberata**, per evitare che ci si possa inciampare e cadere. Nei luoghi pubblici e sulle strade, la zona circostante la cippatrice deve essere segnalata e posta in sicurezza in modo da evitare che terze persone possano essere intercettate da pezzi di legno rigettati o proiettati dalla macchina in funzione.

Nessuno deve trovarsi nella zona di emissione della legna cippata. I grossi rami incurvati e voluminosi devono essere preventivamente tagliati in pezzi dritti, in modo da renderli più maneggevoli.

Tra gli errori di utilizzazione più frequenti, e che spesso possono portare a gravi conseguenze, in quanto si aumenta il rischio di essere catturati dai cilindri di trascinamento, vi è quello di chinarsi verso l'imbocco della tramoggia per cercar di fare entrare i resti delle piante. Per eliminare questo rischio, basta introdurli nei cilindri aiutandosi con un lungo bastone.

Quando si lavora con una macchina cippatrice è in ogni caso assolutamente indispensabile essere dotati delle seguenti **attrezzature di protezione** individuale: casco, visiera frontale di protezione, occhiali di protezione, vestiti di segnalazione ad alta visibilità comodi e ben sistemati, guanti chiusi alla loro base e provvisti di una fettuccia di chiusura, scarpe robuste provviste di soles antidrucciolo.

È preferibile che gli operatori effettuino questo lavoro in coppia; in tal modo, in caso di necessità, sono assicurati i primi soccorsi. Il personale deve ricevere una formazione professionale regolare e conforme a quanto previsto dalle avvertenze e dalle istruzioni sull'impiego, la manutenzione e la pulizia della cippatrice.

### **2.11.9. Norme e requisiti qualitativi del cippato**

La classificazione qualitativa dei combustibili solidi è definita a livello europeo dalla specifica tecnica CEN/TS 14961.

Tale specifica definisce una serie di informazioni normative che devono essere prese in considerazione nella stesura dei contratti di fornitura e le relative dichiarazioni di qualità del combustibile fornito.

#### Determinazione contenuto idrico

Oggi la tecnologia offre strumenti portatili e pratici per la determinazione del contenuto idrico del legno, molto utili nell'attuazione di contratti a peso. La precisione del risultato dipende dalla rappresentatività del campione e dell'accuratezza con cui l'operatore effettua le misurazioni. Importante risulta l'impostazione iniziale degli strumenti.

Esistono due tipologie di strumenti che si differenziano per il metodo di determinazione, la precisione e la rapidità della misura :

- ▶ *Bilancia a infrarossi*, bilancia di alta precisione che utilizza il metodo di essiccazione a raggi infrarossi.
- ▶ *Analizzatore del contenuto idrico*, utilizza contenitori con il metodo di misura della costante dielettrica con un buon grado di precisione. L'operatore versa 3 -5 kg di cippato e il display restituisce il valore in pochi secondi. Si utilizzano quindi questi strumenti a contatto che misurano la costante dielettrica (carica elettrostatica) che è tanto maggiore quanto più è elevata l'umidità del legno. Negli ultimi anno sono stati sviluppati strumenti specifici per il cippato rispondenti alla specifica CEN/TS 14961, lo strumento può rilevare cippato appartenente a diverse classi di pezzatura con un contenuto idrico massimo del 60%. Il cippato viene rovesciato all'interno del contenitore dove è attraversato da un debole campo elettromagnetico influenzato dal contenuto idrico e in pochi secondo sul display compare la misura del contenuto idrico del campione.

#### Determinazione pezzatura cippato

La classe di pezzatura è determinata in laboratorio con appositi vagli vibranti disposti in serie rispondenti ai requisiti della norma UNI CEN/TS 14961.

## **2.12. AGROENERGIE**

**Agroenergia** = approccio integrato, finalizzato alla valorizzazione delle risorse rinnovabili dei territori rurali improntato a modelli di sviluppo che ottimizzino l'uso delle risorse e del territorio, massimizzino la redistribuzione dei benefici economici e occupazionali localmente a favore delle imprese agricole e forestali, integrino le fonti di approvvigionamento e gli attori/produttori/utenti delle medesime

Le bioenergie per circa il 70% non interessano direttamente l'agricoltura.

Il restante 30% derivante dall'agricoltura è diviso in 3 tipologie, diverse per origine e per destinazione :

1. Di origine forestale (già trattato nei paragrafi precedenti)
2. Residui con matrice organica provenienti da azienda agricola (come reflui zootecnici) o agroindustria (sottoprodotti di diversa origine e composizione)

### 3. Culture dedicate appositamente per produrre energia

Queste ultime possono essere definite agro energie e sono ottenute soprattutto nei Paesi ad economia sviluppata e destinate ad usi industriali quali elettricità, potenza, trasporto, riscaldamento.

#### Le colture dedicate

L'aspetto che coinvolge maggiormente l'agricoltura è rappresentato dalle colture dedicate, cioè coltivate appositamente per produrre energia.

Ognuna delle possibili colture da energia presenta certe caratteristiche strettamente dipendenti dalle specifiche condizioni di coltura :

- Resa areica
- Qualità delle produzioni
- Effetti ambientali (prodotti e subiti)
- Bilanci energetici

In particolare ogni coltura ha esigenze diverse di fattori della produzione (soprattutto acqua e azoto) e di fitotecniche (collocazione temporale del ciclo, densità di piante, disponibilità nutrienti, ecc).

Quindi a seconda del parametro considerato le decisioni operative saranno diverse anche per singola specie e per specifico luogo di coltivazione; tutto ciò da un lato rende difficili le scelte e dall'altro le rende efficaci se ben mirate.

Oltre agli aspetti economici e logistici, prevalenti, esistono soluzioni tecniche ottimali diverse per ogni specifica situazione di coltura

Un ulteriore sviluppo delle agro energie è previsto e favorito da impegni a livello globale (Protocollo di Kyoto) e dall'UE.

Stabiliti obiettivi e regole generali, permangono però molte incertezze su attuazione, modalità di calcolo, metodi di rilevamento, ecc con conseguenti ripercussioni negative sullo sviluppo del settore.

L'enorme variabilità delle situazioni operative (per es. per la fase agricola : clima, terreni, culture sostituite, materiale genetico, logistica, meccanizzazione raccolta, ecc) e delle possibili combinazioni, ha dato origine a risultati contrastanti degli studi effettuati.

La variabilità dei risultati riguarda i bilanci energetici (sia inputs che outputs) e quelli ambientali (impiego di mezzi tecnici, emissioni gas, nitrati, erosione, biodiversità, paesaggio, ecc). Tutto per l'intera filiera o singoli anelli, produzioni locali o importate, destinazioni d'uso diverse (elettricità, riscaldamento, ecc), utilizzando o no sottoprodotti.

Un aspetto importante riguarda la domanda : **produzione di cibo o di energia?**

Il principio inderogabile è *prima il cibo!* Oltre che una scelta ovvia ed etica, è anche la più vantaggiosa dal punto di vista economico. Verrà sempre meglio remunerata se destinata all'alimentazione umana anziché all'energia.

Una ricerca che ha considerato le combinazioni fra fitotecniche (input irriguo e non), incremento demografico e dieta alimentare (vegetariana, bilanciata, ricca) con il risultato che il 55% degli arativi dovrà essere riservato alla produzione di cibo, e il restante 45% può essere destinato ad altri usi fra i quali la produzione di bioenergie.

Se ovviamente invece tutta la superficie potenzialmente disponibile verrà coltivata, quindi interessando anche superfici ora non coltivate, la produzione di biomasse potrebbe raddoppiare.

Uno studio globale e completo mostra che a seconda degli scenari, alle bioenergie può essere destinata quasi la metà degli arativi, oppure che per esse non c'è spazio. In mezzo si hanno tutte le combinazioni e tutte le possibili scelte conseguenti alle possibilità di rispondere a un'infinità di domande riferite a situazioni specifiche.

Fra le bioenergie rientrano i **biocarburanti** = biocarburanti o biocombustibili sono prodotti sostitutivi e/o integrativi della biomassa e del gasolio utilizzati per autotrazione macchine agricole e aviazione.

L'UE prevede che tali biocarburanti entro il 2020 sostituiranno il 10% dei carburanti tradizionali.

I fautori dei biocarburanti li presentano come uno dei mezzi importanti per contrastare le cause antropiche del cambiamento climatico; i detrattori dei biocarburanti invece ritengono errati i bilanci energetici e ambientali positivi e accusano di fare concorrenza alla produzione di cibo (aspetto questo molto importante da analizzare).

Gli arativi rappresentano solo il 12-13% della superficie terrestre, per cui si ritiene essere ampia la riserva di terra coltivabile; in realtà solo il 25% delle superfici totali potrebbe essere sfruttato per scopi agricoli in quanto per il restante è troppo freddo, arido, umido o montagnoso. In effetti l'uso della terra coltivata o potenzialmente coltivabile è molto diverso in funzione di fattori pedoclimatici, sociali, politici, economici.

Anche il fabbisogno individuale è molto diverso a secondo dell'areale considerato : 9,5 ettari per un cittadino statunitense e mezzo ettaro per un cittadino africano. Considerando poi che nei paesi in via di sviluppo la terra è poco/male utilizzata, mentre in quelli industrializzati è spesso sovra sfruttata e ridotta dalla urbanizzazione crescente.

L'andamento dei mercati appare d'altronde molto più influenzato da fenomeni speculativi che non dalla concorrenza food – non food. In media non sembra quindi che i biocarburanti facciano concorrenza alle culture alimentari.

Nei paesi in via di sviluppo i terreni coltivabili sono mal usati (non vengono applicate tecniche per rimediare all'acidità e alla scarsa fertilità dei suoli tropicali, quindi i terreni dopo essere stati coltivati devono essere lasciati a lungo a riposo (il 90% dei terreni arabili in Africa non vengono usati per molto tempo).

In molti paesi in via di sviluppo quindi :

- ✓ i potenziali sono enormi
- ✓ si dovrebbero recuperare terreni incolti e mal coltivati
- ✓ sostenibilità economica e ambientale
- ✓ ciò può essere ottenuto solo con l'applicazione rigorosa delle conoscenze tecniche generali e la messa a punto di quelle specifiche per le diverse condizioni di coltura

#### Filiera agro energetica

Nuova modalità di intervento sul territorio, in cui il focus dell'iniziativa industriale viene spostato dalla sola aspettativa di business del singolo soggetto alla possibilità di armonizzare l'intervento sul territorio.

Non si intravede la costituzione di una filiera laddove ci sia semplice cooperazione di soggetti aventi "uguale funzione economica", (es. pool di imprenditori), ma è filiera l'interazione funzionale di tutti i soggetti interessanti e afferenti l'iniziativa, in primis il "Territorio". Definiti gli obiettivi le filiere agro-energetiche non possono che essere definite per singola fonte energetica e/o problematica ambientale, poiché ciascuna fonte

energetica rinnovabile o problematica ambientale presenta caratteristiche e peculiarità specifiche.

La filiera delle biomasse presenta i più elevati margini di benefici economici ed occupazionali tali da favorire una effettiva redistribuzione sul territorio investito dell'intero ammontare dei costi evitati per l'acquisto di combustibili fossili necessari per la produzione equivalente di energia.

Al netto delle utilizzazioni correnti (es. legna da ardere o da opere; paglia utilizzata nel settore agricolo, civile, fertilizzanti per le culture, irrigazione, ecc...) è individuabile un potenziale di biomasse destinabile ad usi energetici dell'ordine di una potenza totale installabile di circa 500 MW termici.

Il problema è costruire condizioni di mercato che garantiscano l'incontro tra la domanda –produttori di energia- e l'offerta –produttori e conferitori di biomasse- nel medio periodo (certificati verdi), rendendo sicuri gli investimenti occorrenti per lo sviluppo di colture bioenergetiche e quelli del settore energetico.

La filiera potrà assumere un proprio assetto attraverso la disponibilità di una massa critica di materia prima offerta che non sarà disponibile senza adeguate garanzie di approvvigionamento fornite dalla domanda. Lo scenario autorizzativo attuale si muove prevalentemente verso impianti di generazione elettrica e su questi “conviene” lavorare per costruire la massa critica.

In ogni caso, risulterà fondamentale una armonica distribuzione territoriale degli impianti e l'uso sostenibile delle risorse e del territorio.

Il potenziale regionale delle biomasse residuali sopra individuato dovrà “alimentare” impianti finalizzati alla sola produzione termica, a quella elettrica ed alla cogenerazione, precisamente:

- circa un 30% destinato a caldaie termiche per condomini (teleriscaldamento)
- circa 30% destinato alla cogenerazione –caldo, freddo ed energia elettrica
- circa il 40% destinato alla generazione di energia elettrica con piccoli o medi impianti fino a 10 Mwe

Lo scenario non è ottimale : non esiste ancora un contesto socio-territoriale maturo e pronto ad accogliere nuove modalità di approvvigionamento di energia termica – teleriscaldamento e cogenerazione- (l'uso ottimale delle biomasse dovrebbe massimizzare la scelta della cogenerazione e del teleriscaldamento).

Lo sviluppo di un ampio sistema di produzione delle biomasse richiede il superamento di alcune criticità iniziali, partendo dall'organizzazione delle filiera agro energetica senza dimenticare adeguate politiche fiscali che ne favoriscano lo sviluppo.

L'impiego energetico delle biomasse ovviamente deve presentare una soddisfacente convenienza e fattibilità economica. L'utilizzo delle biomasse energetiche è considerato economicamente valido se :

- non esistono altri impieghi più remunerativi
- i prodotti della conversione sono economicamente competitivi

Quindi la filiera deve essere pianificata e organizzata opportunamente, tenendo in considerazione i fattori di debolezza :

- insufficiente specializzazione delle colture agricole dedicate alla produzione di energia
- limitata sperimentazione di tecniche colturali a ridotto consumo energetico e basso impatto
- insufficiente definizione di standard qualitativi delle materie prime
- insufficienze strutturali della filiera agroindustriale (dimensioni, barriere all'entrata)
- difficoltà logistiche di stoccaggio, conservazione, trasporto e consegna del prodotto
- dipendenza del mercato (andamento delle produzioni e delle riserve mondiali dei prodotti cerealicoli, leadership di prezzo, cambio valuta)
- concorrenza delle materie prime a basso costo reperibili sui mercati internazionali (olio di palma)
- quadro politico e fiscale di riferimento confuso

Tuttavia tali filiere hanno evidenziato enormi potenzialità.

L'azienda che realizza produzioni agricole per concorrere alla produzione energetica, integra due livelli della filiera : quello di produzione e di prima trasformazione.

Le colture dedicate possono essere impiegate anche in impianti di piccola taglia, produrre direttamente in azienda biocombustibile (come il biogas) per alimentare caldaie termiche aziendali, macchine motrici con opportuni adattamenti ai motori tradizionali, e cogeneratori per la produzione di energia elettrica e termica.

Il fabbisogno di materia prima da destinare alla produzione energetica è limitato.

Nei terreni aziendali si può attuare una rotazione colturale : ad esempio considerando una rotazione frumento – mais – colza – girasole il 50% di superficie aziendale è destinato a colture oleaginose dalla cui lavorazione si ottengono alimenti zootecnici ed olio combustibile, e il rimanente 50% è destinato alla produzione di prodotti cerealicoli destinati all'attività zootecnica (insilato di mais) e/o produzione di energia, tipicamente biogas ottenuto da biomassa e da reflui dell'allevamento.

L'attività zootecnica sarebbe così complementare alla produzione energetica sia per prodotti cerealicoli che oleaginosi (per esempio da un ettaro di colza/girasole si otterrebbero circa 1150 litri di biodiesel sufficienti per il funzionamento di un trattore da 80 kW per 90 ore).

Si stima che l'autosufficienza energetica dell'azienda consenta di migliorare il bilancio energetico riducendo il costo dei prodotti energetici del 30%. Inoltre all'interno dell'azienda la produzione energetica consente di sviluppare sinergie e complementarità fra produzione di biodiesel, produzione zootecnica e riciclo dei reflui nella produzione del biogas (si realizza quindi un ciclo chiuso con impatto ambientale zero e zero emissioni come residui).

Questo approccio consente diversi vantaggi all'azienda :

- vantaggio energetico : poter migliorare il bilancio energetico aziendale con la cogenerazione
- vantaggio economico : vendita di prodotti energetici in canali diversi del mercato
- vantaggio ecologico : riduzione dei gas ad effetto serra e delle emissioni maleodoranti

Agli aspetti positivi vanno comunque considerati dei vincoli di tipo economico, dovuti alle modeste dimensioni degli impianti di trasformazione, che limitano i vantaggi delle economie di scala, che potrebbero essere realizzati con una migliore organizzazione della filiera.

La mancanza di un sistema organico di produzione, raccolta, e trasporto delle biomasse è una delle principali cause degli elevati costi di generazione della bioenergia.

Le filiere agro energetiche sono filiere per la produzione di energia a partire da fonti di origine vegetale. Innanzitutto occorre sottolineare che gli aspetti socio – economici delle agro energie sono per buona parte subordinati al loro prezzo sul mercato : finchè queste risulteranno essere più costose dei tradizionali combustibili fossili, la loro incidenza sarà limitata.

E' probabile che per passare dalle fonti energetiche convenzionali a quelle rinnovabili vi sarà una lunga fase di transizione, in cui coesisteranno tecnologie di diverso tipo. L'attuale sistema produttivo delle biomasse ha comunque degli effetti sul territorio, sull'economia e sulla società. Tali effetti sono sintetizzati così :

1. Diminuzione delle coltivazioni per scopi alimentari (soprattutto però per i biocarburanti che per le tecnologie agro energetiche) e possibile deturpamento territorio boschivo
2. Possibili benefici per le comunità locali
3. Nuove opportunità occupazionali (sono necessarie nuove professionalità per l'intera filiera)

Nell'organizzazione della filiera comunque uno dei rischi è rappresentato dall'aumento indiscriminato delle fasi intermedie che intercorrono tra la produzione dei prodotti e la loro commercializzazione, che potrebbe provocare aumenti dei prezzi per i consumatori e difficoltà nella distribuzione riducendo quindi i merco e gli occupati.

Tuttavia alla produzione di agro energie è assegnata una posizione centrale per le politiche di sviluppo rurale. Nell'ipotesi che in una determinata area : le culture energetiche siano compatibili dal punto di vista ambientale; le biomasse forestali siano sfruttate con correttezza; vi sia la presenza di una filiera completa, ben strutturata ed efficiente; la popolazione locale sia adeguatamente informata, vi saranno le condizioni affinché si verifichino dei benefici in termini economici, sociali ed ambientali. La produzione di energia da fonti rinnovabili presenti in una determinata area contribuisce a rendere autosufficiente tale area nella produzione di elettricità, riscaldamento e combustibili per i trasporti (*anche lo sfruttamento energetico delle biomasse prodotte dal settore forestale presenta benefici per le comunità locali.*

*Si rafforza così la capacità degli ecosistemi forestali di svolgere le proprie funzioni oltre che a fornire biomassa : la valorizzazione dei boschi precedentemente abbandonati o soggetti a una cattiva gestione, tutela la riproducibilità delle risorse naturali in esso presenti, con benefici per le comunità locali, senza dimenticare che una rotazione dei tagli boschivi ben pianificata permette di effettuare una corretta opera di prevenzione degli incendi per es).*

Analizzando gli effetti ambientali provocati dalle agro energie si evince che i rischi potenziali possono essere:

1. Compattamento del suolo, eccesso di nutrienti nel suolo e nelle acque, consumo eccessivo della risorsa idrica, erosione causati dall'intensificazione delle coltivazioni per avere biocaburanti;
2. Trasformazione dei prati – pascoli in terreno arabile per le colture energetiche con perdita delle riserve di carbonio immagazzinate;
3. Perdita della biodiversità per il ritorno a modelli di produzione più intensivi;
4. Errata scelta di colture o di miscuglio di specie che non tengano conto delle esigenze pedo-climatiche delle diverse regioni;
5. Omogeneizzazione del paesaggio.

Questi rischi devono essere opportunamente valutati a monte della produzione, altrimenti tradotti in aspetti negativi sul territorio avendo ripercussioni non solo sul sistema ambiente nel suo complesso, ma indirettamente anche sul sistema produttivo ed economico (ricadute occupazionali, decremento turismo, produzione di materie prime del sistema alimentare).

Ad oggi comunque i principali effetti ambientali sono :

1. Scomparsa di foreste a scapito di monoculture energetiche : considerando che i terreni ricoperti da fitta vegetazione forestale sono particolarmente fertili a causa della massiccia presenza di sostanze nutritive nel terreno, perse nel momento in cui il manto forestale viene rimosso per far posto alle monoculture energetiche in particolare per quelle ad alta richiesta idrica (cercare di realizzare quindi colture energetiche poco idro esigenti e in una percentuale minima).

Se poi vengono utilizzati per la produzione di colture energetiche terreni rimasti incolti per lungo tempo i quantitativi delle emissioni di CO<sub>2</sub> sarebbero anche maggiori a causa dell'aratura che accelera i processi di mineralizzazione della sostanza organica che determina proprio il rilascio della CO<sub>2</sub>.

2. Riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> e altri gas nocivi : la sostituzione dei combustibili fossili con bio-combustibili di origine agro-forestale consente di ridurre le emissioni antropiche di anidride carbonica; le biomasse poi consentono un **ciclo del carbonio chiuso**, cioè la CO<sub>2</sub> prodotta durante la loro combustione è bilanciata dalla CO<sub>2</sub> precedentemente assorbita, e così il consumo di bioenergia incide meno

sull'innalzamento della temperatura terrestre rispetto all'energia fossile; inoltre le biomasse presentano assenza di piombo, zolfo e altri inquinanti rispetto ai combustibili fossili, con minore produzione di particolato fine e sostanze aromatiche cancerogene. Sebbene la pura sostituzione di combustibili fossili con biocarburanti comporti un vantaggio ecologico netto, è da tenere in considerazione che durante il processo di lavorazione delle agro energie una certa quantità di combustibili fossili sia impiegata per la raccolta, il trasporto e altri processi, che emette **anidride carbonica non rinnovabile** incidendo sulle emissioni del bilancio finale. Per contenere le emissioni è dunque necessario ridurre al minimo l'impiego di energia fossile all'interno del processo di trasformazione della biomassa in energia. Comunque va anche detto che la generazione di energie da alcune biomasse, per esempio quelle legnose, comporta l'emissione di alcuni inquinanti quali i composti dell'azoto, l'ossido di carbonio CO e polveri.

3. Impatto sul suolo e sulle risorse idriche : l'acqua è la più importante risorsa. A livello planetario è in atto una crisi idrica a causa dell'aumento della popolazione, dall'industrializzazione e urbanizzazione ecc. La crisi è stata soprattutto determinata dalla mancanza di politiche adeguate che ne garantiscano un uso sostenibile. I biocarburanti richiedono risorse idriche ingenti, è bene quindi prediligere colture basso idro esigenti.

### **2.12.1 Buone pratiche per le bioenergie**

Per la generazione di agro energie agricole d'altronde è possibile impiegare materiale organico prodotto per esempio da reflui zootecnici trasformati dopo il processo di estrazione del biogas (digestione anaerobica).

Il ricorso a colture energetiche richiede una gestione sostenibile dei terreni forestali e agricoli.

Alcune pratiche agricole per la salvaguardia dei terreni :

- ✓ Garantire la copertura del suolo per tutto l'anno
- ✓ Non arare e coltivare sui pendii
- ✓ Creare frangivento tramite l'introduzione di colture di diverse altezze
- ✓ Pratiche che impediscano la perdita di materia organica nel suolo

Sarebbe importante anche prevedere un accurato mix di biomasse vegetali, per rafforzare la diversità vegetale e del paesaggio.

Lo sviluppo di una corretta agricoltura energetica può favorire una costante presenza dell'uomo sul territorio assicurandone la vigilanza e la valorizzazione delle risorse. La produzione di biomasse da impiegare come fonti rinnovabili di energia consente quindi di riconsiderare le tecniche colturali, favorendo una gestione agricola meno dannosa per l'ambiente ed il suolo purché si avviino sistemi di rotazione tra coltivazioni energetiche e coltivazioni agricole annuali.

Per le risorse forestali invece, in molti paesi europei una quota ampia delle foreste è sotto utilizzata. I residui forestali e le ceppaie svolgono importanti funzioni ambientali, come rifornire il suolo di sostanze nutritive, regimentare i flussi d'acqua e contribuire a prevenire l'erosione del suolo. Ma la rimozione della biomassa forestale, sia per il prelievo di legname che di energia, può avere ripercussioni negative su queste funzioni, per cui il prelievo periodico di biomasse legnose richiede una valida gestione selvicolturale. Di particolare importanza per la biodiversità è avere ceppi grandi, habitat ideale per funghi, alcuni tipi di piante, insetti e piccoli animali. Quando si effettua un prelievo dei residui forestali è importante però lasciare una certa quantità di residui, visto che in un albero la più bassa concentrazione di nutrienti è di solito contenuta nel legno e la più alta nel fogliame.

E' importante mantenere il fogliame sul sito poiché un'altra funzione dei residui è quella di diminuire l'esposizione diretta del terreno all'acqua piovana, al sole e al vento; sarebbe quindi buona prassi che le radici fossero lasciate nel terreno e che una quota di rami fosse utilizzata come tappeto per la protezione del suolo. Inoltre i residui forestali svolgono un ruolo nella regimazione delle acque superficiali, agendo come filtri per migliorare la qualità e immagazzinando grandi quantità di acqua e riducendo il ruscellamento delle acque piovane in superficie.

Quindi gestione sostenibile delle risorse forestali.

Una corretta gestione delle superfici forestali e delle coltivazioni energetiche le rende in grado di svolgere consistenti attività di sottrazione di CO<sub>2</sub> dall'atmosfera. Esse durante il loro ciclo di vita, infatti, sequestrano quantità di carbonio sotto forma di CO<sub>2</sub> dall'atmosfera. L'attività di sequestro della CO<sub>2</sub> da parte di superfici agricole assicura non solo benefici ambientali, ma anche positivi aspetti socio-economici.

Il carbonio inoltre è una delle principali componenti della frazione organica presente nel suolo, e la sua presenza influenza le proprietà chimiche, fisiche e biologiche di un terreno agricolo, determinandone la produttività e di conseguenza il valore economico.

Le agro energie sono quindi la fonte energetica più promettente tra le rinnovabili. Questo grazie alla loro flessibilità di utilizzo (trasporti, produzione di energia elettrica, disponibili in forma solida, liquida e gassosa, impianti di piccole e grandi dimensioni ecc), alla relativa facilità di produzione con cicli che esistono già in natura e ai bassi costi delle infrastrutture.

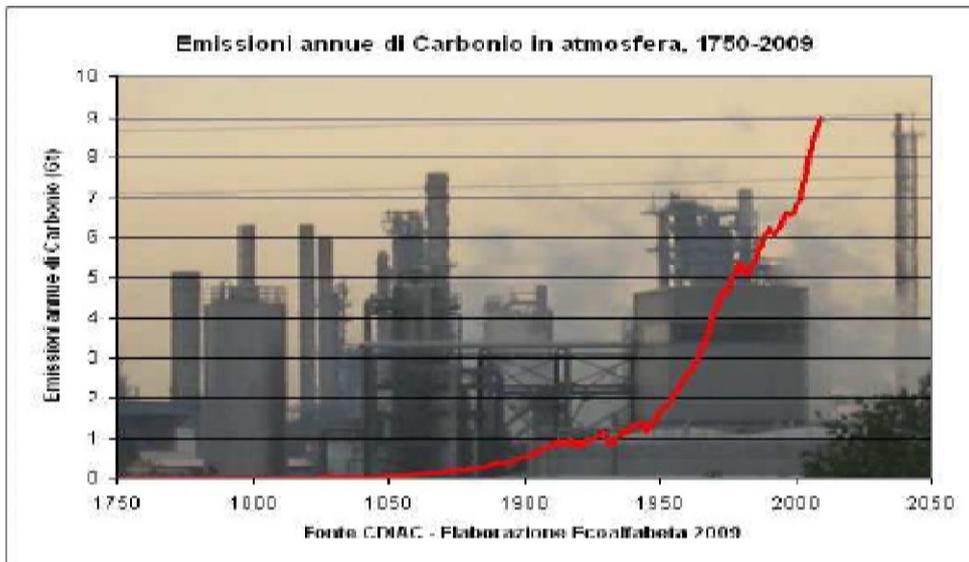
Comunque il fatto è che il consumo di risorse deve rallentare per proteggere gli ecosistemi naturali che assorbono il carbonio, e ridurre al minimo i rifiuti della nostre attività.

In un contesto in cui l'acqua per usi industriali e agricoli sia riciclata, le case siano isolate termicamente, gli oggetti di consumo siano riciclati e non ottenuti da idrocarburi non riciclabili, le auto mosse da biocarburanti, centrali elettriche alimentate da reflui zootecnici e culture dedicate o biomasse legnose da scarti forestali e che l'agricoltura potrà vivere anche con minori contributi finanziari.

### **2.12.2 Effetti dell'anidride carbonica**

La concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera mostra il seguente andamento negli anni, a partire dai periodi storici nei quali è iniziata l'era dei combustibili fossili (prima carbone e poi petrolio).

Tali combustibili creano molti effetti negativi, primo fra tutto l'immissioni in atmosfera di enormi quantità di anidride carbonica in quantità non assorbibili dall'ecosistema. Tale fenomeno darà poi origine all'effetto serra e al conseguente surriscaldamento globale del pianeta.



**L'effetto serra** è il risultato della presenza attorno ad un pianeta di un'atmosfera che assorbe parte dei raggi infrarossi emessi dal suolo riscaldato dalla radiazione ricevuta da una stella (il sole).

Il nome evoca quanto avviene nelle serre per la coltivazione dei prodotti agricoli, anche se il meccanismo alla base è diverso : una parte della radiazione emessa dal suolo viene assorbita dall'atmosfera e riemessa in tutte le direzioni, quindi in parte anche verso il suolo. Ciò comporta che l'equilibrio del pianeta si fissi ad una temperatura maggiore di quella che si stabilirebbe in assenza dell'atmosfera. L'effetto serra permette quindi alla Terra di avere una temperatura media superiore al punto di congelamento dell'acqua, consentendo la vita così come noi la conosciamo.

Le sostanze che determinano l'effetto serra sul nostro pianeta, i cosiddetti "gas serra", sono principalmente vapore acqueo, anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), ossido nitroso (N<sub>2</sub>O) e ozono (O<sub>3</sub>).

In condizioni di equilibrio la quantità di radiazione ricevuta è bilanciata da un'eguale quantità riemessa attraverso la riflessione (circa il 30% del totale, prevalentemente dalle nubi) e la radiazione non riflessa (il restante 70%), che viene assorbita dall'atmosfera (16%), dalle nubi (4%) e dalla superficie terrestre e dai mari (51%), dove si trasforma in calore.

La Terra come qualunque corpo caldo, riscaldata dai raggi solari, riemette una radiazione elettromagnetica la cui lunghezza d'onda è collegata alla temperatura. Alla temperatura della superficie terrestre, pari a circa 287 K, l'emissione è nel campo dei raggi infrarossi. Solamente il 6% della radiazione riemessa riesce a sfuggire nel cosmo, il resto viene assorbito dall'atmosfera stessa riscaldandola, mentre a sua volta l'atmosfera riemette energia. La temperatura al suolo aumenta così fino a quando la quantità di radiazione che riesce a sfuggire compensa quella ricevuta dal sole.

I gas serra consentono alle radiazioni solari di passare attraverso l'atmosfera e il livello della loro concentrazione in atmosfera influenza inevitabilmente l'andamento della temperatura terrestre.

Una maggiore impennata nella concentrazione dei gas serra si è avuta con l'utilizzo di combustibili fossili, che hanno intaccato le riserve geologiche di carbonio, e con la maggiore produzione di metano della attività di allevamento per esempio. Anche prodotti come clorofluorocarburi contribuiscono all'intensificazione dei gas serra. Infatti dalla fine del diciannovesimo secolo la temperatura globale media terrestre è gradualmente aumentata.

La crescente richiesta di energia da parte dei processi produttivi automatizzati ha portato ad un maggiore utilizzo di combustibili. Dopo una prima fase in cui il legno era la fonte energetica maggiore, si è gradualmente intensificato, in seguito alla continua evoluzione tecnologica, il ricorso a risorse di origine fossile quali il carbone, il petrolio e il gas naturale. Il loro potere calorifico è molto maggiore di quello del legno ed è in grado di garantire prestazioni e rese energetiche maggiori, anche se i loro processi di combustione fanno aumentare la concentrazione di gas ad effetto serra in atmosfera.

Le risorse fossili impiegate per la generazione di energia sono il risultato di una trasformazione millenaria di composti organici. Questi si conservano e si accumulano nel sottosuolo dove, sottoposti a temperature e pressioni elevate, sono convertiti in idrocarburi utilizzabili come fonte energetica. Una volta poi estratti dal suolo vengono combusti con conseguenti emissioni in atmosfera di anidride carbonica, immagazzinata nel sottosuolo per milioni di anni.

Questa, dunque, non rientra nella fase biologica del ciclo del carbonio, contribuendo così all'incremento delle concentrazioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera.

In questo modo l'azione dei gas ad effetto serra viene amplificata, con un conseguente innalzamento della temperatura media terrestre.

Le continue emissioni antropiche ed il conseguente aumento dei livelli di concentrazione dei gas hanno reso il processo biologico di assorbimento incapace di ridurre l'anidride carbonica in atmosfera.

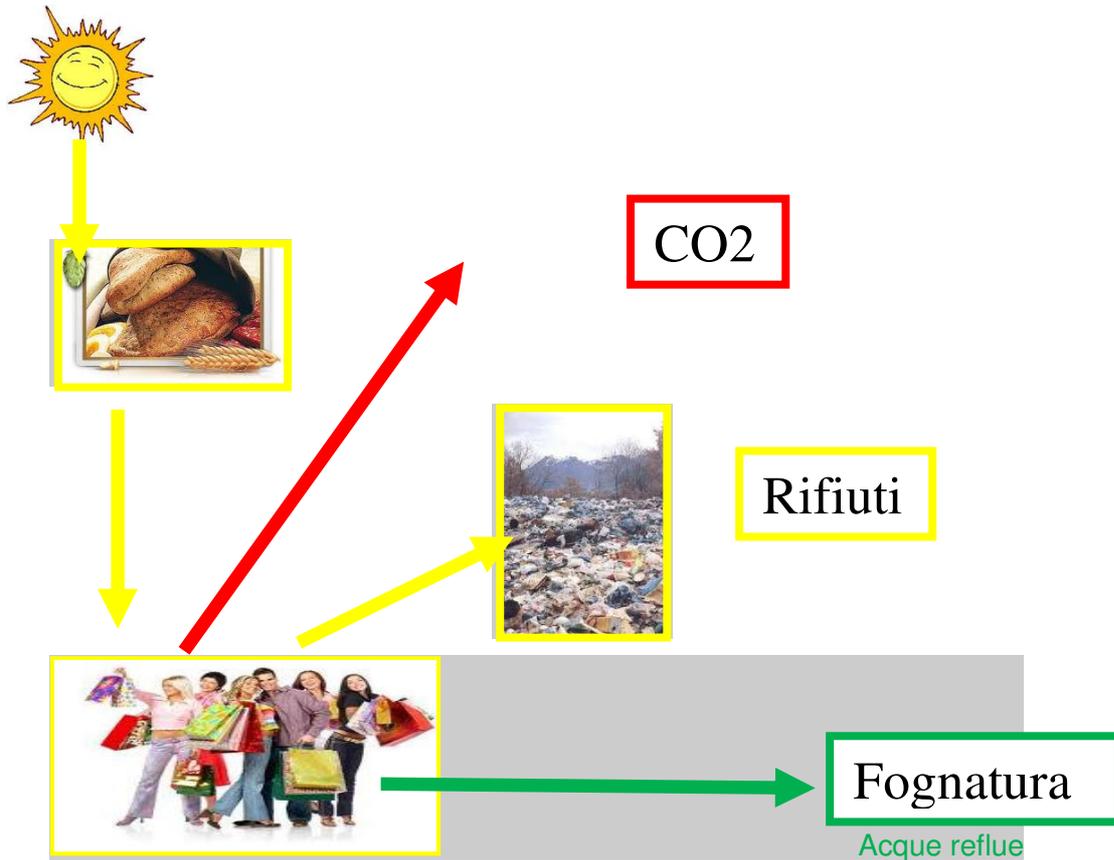
Questa situazione è aggravata dal perdurare di azioni di deforestazione, che limitano la capacità dell'ecosistema di assorbire le emissioni e contribuiscono alla presenza di elevati livelli di gas.

Se le emissioni continuassero ai ritmi attuali la temperatura globale è destinata ad aumentare. Il continuo accrescimento della temperatura terrestre porterebbe ad un innalzamento dei livelli del mare in seguito allo scioglimento dei ghiacciai (sciolti per l'aumento della temperatura globale), mentre la frequenza delle precipitazioni atmosferiche verrebbe alterata, con conseguenze sull'andamento dell'agricoltura e sulla disponibilità d'acqua. Inoltre, anche la biodiversità sarebbe danneggiata.

Nel lungo periodo, dunque, il consumo di energia fossile difficilmente potrà essere sostenibile per l'aspetto ambientale.

## 2.13. DIGESTIONE ANAEROBICA E BIOGAS

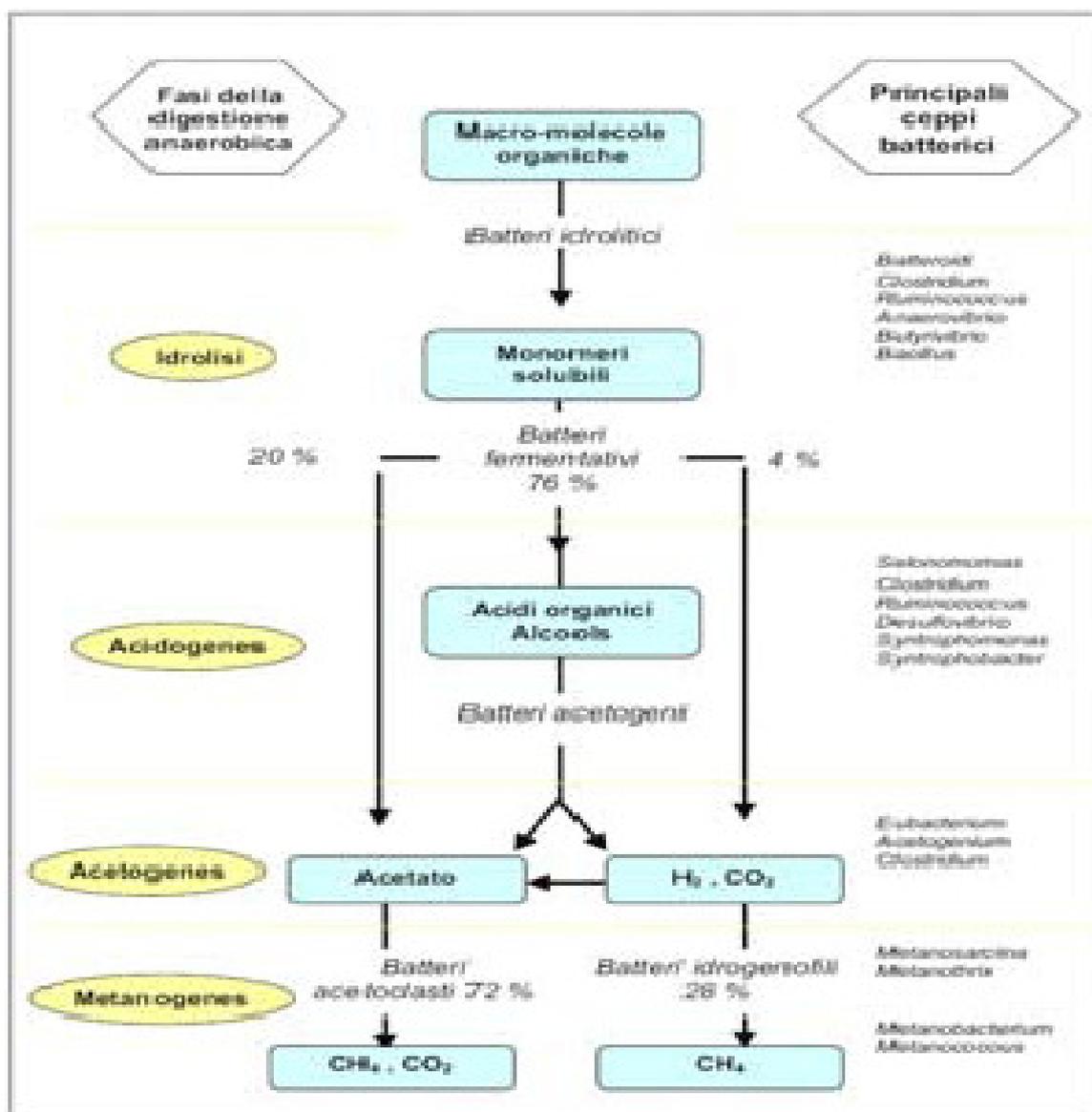
Quello che mangiamo dove finisce?



**All'interno dei rifiuti vi è una energia implicita, ma come estrarre tale energia?**

Attraverso processi di digestione anaerobica diventa possibile estrarre l'energia insita nelle sostanze organiche, come nei rifiuti organici. Analogamente viene effettuato per i residui delle aziende agricole e per le loro colture.

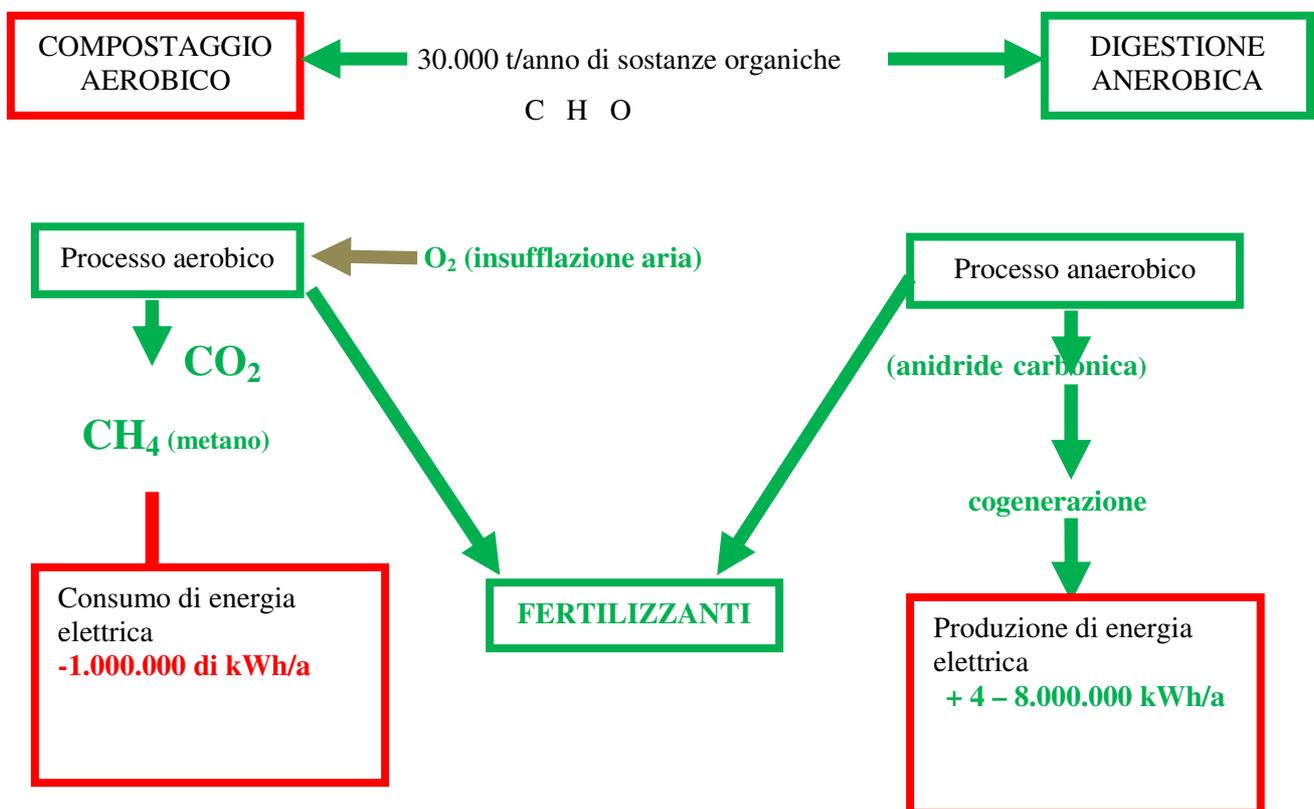
Processo biologico di digestione anaerobica



In realtà la fase di digestione anaerobica non è un processo unico che avviene in un'unica fase, invece è un'impostazione sbagliata (un unico digestore dove le varie fasi si succedono ma sono tutte all'interno dello stesso digestore. Oggi possiamo immaginare l'idrolisi separata per poter gestire il processo in modo più preciso. Sono comunque complicazioni da aggiungere all'impiantistica e alla gestione dell'impianto. Poche esperienze reali dell'idrolisi separata e quei pochi hanno problemi ma anche alcuni aspetti importanti primo fra tutti la possibilità di compattare l'impianto e quindi di ridurre i costi.

Le tecnologie di trattamento delle sostanze organiche si dividono in due grandi macrocategorie :

1. **Aerobiche** cioè il processo di fermentazione con batteri avviene in presenza di ossigeno. Si può realizzare attraverso biocelle, corsie areate o platea areata
2. **Anaerobiche** cioè la digestione avviene in assenza di ossigeno in contenitori chiusi ermeticamente. Può essere realizzata a secco (Dry con 40% di sostanza secca), a umido (Wet con 5% di sostanza secca), o semi-secco (semi Dry con 20% di sostanza secca).



Tecniche di digestione : da suddividere in funzione della temperatura o della possibilità di avere a disposizione un materiale miscelabile oppure solido.

1. **Digestione a secco** se il substrato da inviare a digestione ha un contenuto di solidi totali  $>30\%$ .

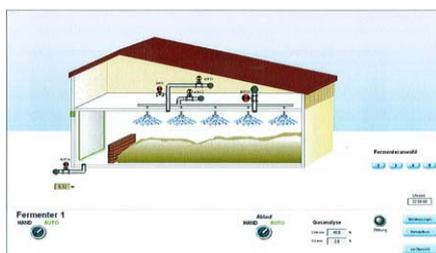
Bassa quantità di materiale da movimentare; niente pre-trattamenti e bassi costi operativi; niente problemi di miscelazione, sedimenti e croste; tecnologia semplice e robusta e bassi costi di manutenzione; niente sistemi per rendere liquido il materiale.

E' una soluzione interessante se abbiamo dei solidi (materiale palabile), ma nel nostro Paese ci sono pochi esempi. Impianto che ha una certa meccanicità, costituito da una serie di celle che lavorano in modo discontinuo; ogni cella funziona in batch (è riempita, innescata rapidamente e attivarla mano a mano con materiale che inoculo dal digestore miscelato. La cella resta in funzione poi, parte la fermentazione e dopo arriva la produzione di biogas passati i 45 gg a seconda del tipo di biomassa utilizzata. Dopo i 45 gg la cella viene aperta, previa eliminazione del biogas eventualmente ancora presente per evitare pericoli per gli addetti, e viene svuotata e riempita nuovamente ecc. Il biogas è raccolto in un gasometro dove i vari biogas delle diverse celle con caratteristiche diverse perché si trovano ad età diverse di fermentazione si mescolano e all'utilizzo arriva un biogas così costante).

2. **Digestione ad umido** quando il substrato ha un contenuto di solidi totali  $\leq 10\%$ . Possiamo miscelare, quindi circa attorno all'8-10% di sostanza secca. Ogni giorno è necessario muovere il 100% delle sostanze inserite nel digestore, alta quantità di liquido da muovere; sono necessari dei pre-trattamenti per contenere gli alti costi operativi; problemi con gli strumenti di miscelazione (mixer) e sedimentazioni e croste; diversi strumenti e alti costi di manutenzione; sistemi per rendere liquido il materiale.

Processi con valori di secco intermedi (10 – 14% solida) vengono definiti processi a **semisecco**.

La cella



Altre distinzioni di impianto relativa alla temperatura :

**1. Mesofilia** (circa 35 gradi) con tempi di residenza di 25-30 giorni.

E' la più diffusa perché è più interessante sia nei confronti dell'eliminazione di eventuali patogeni presenti sia per la velocità maggiore del processo. L'aspetto negativo è la maggiore difficoltà di gestione dell'impianto. Bisogna comunque considerare quale biomassa abbiamo in ingresso : se usiamo biomasse ricche in azoto è più pericolosa la presenza di un eccesso di azoto o ammoniaca che sotto forma gas diventa tossica per gli organismi.

**2. Termofilia** (circa 55 gradi) con tempi di permanenza inferiori a 14-16 giorni.

Esiste qualche impianto di questo tipo con risultati interessanti, però un'attenta gestione occorre.

**3. Psicofilia (a freddo)** (10-25 gradi) per impianti semplificati con tempi di permanenza di 60 giorni. Non ci interessano per produrre energia, ma sono diffusi soprattutto per motivi ambientali per il controllo degli odori negli allevamenti zootecnici intensivi.

Gli impianti più diffusi sono ad umido – semi secco che lavorano per lo più in termofilia; sono impianti che operano di solito in **codigestione (liquami zootecnici + colture energetiche + scarti organici)**

In Italia sono stati i primi e poi se lo sono presi i tedeschi.

All'inizio in Italia si lavorava solo con gli effluenti di allevamento per ridurre l'enorme impatto ambientale degli allevamenti. Abbiamo allora concluso che con la digestione anaerobica gli impianti costano troppo, gli impianti non sono in grado di contenere i parametri classici dell'inquinamento (parametri organici) a livello accettabile per le acque, energia ne producono poca (energia che allora non era incentivata); l'unico vantaggio è quello di ridurre gli odori.

Non abbiamo fatto il passo dei tedeschi che hanno pensato di arricchire la biomassa con qualcosa che valga di più, per avere un potenziale energetico che permette di produrre maggiore energia e così è nata la tecnica della codigestione.

(scarti organici però bisogna stare attenti nella loro scelta e utilizzo, devono essere classificati **sottoprodotti**)

Tabella che evidenzia i **m<sup>3</sup> ottenibili da diversi materiali** per la biomassa : ci sono forbici molto ampie!evidenzia la variabilità delle varie biomasse, è importante da parte dell'impianto una grande elasticità.

<b>Materiale</b>	<b>m<sup>3</sup> biogas/t</b>
Deiezioni animali (suini, bovini)	200 – 500
Residui colturali (paglia, barbabietole, ..)	350 – 400
Scarti organici agroindustria (siero, scarti vegetali, lieviti, fanghi e reflui di distillerie, birrerie e cantine)	400 – 800
Scarti organici macellazione (grassi, contenuto stomacale ed intestinale, sangue, fanghi)	550 – 1000
Fanghi di depurazione	250 – 350
Frazione organica rifiuti urbani	400 – 600
Culture energetiche (mais, sorgo, triticale, ..)	550 – 750

### **Biogas da liquami VS biogas da matrici vegetali**

Mettiamo a confronto due impianti di produzione di biogas, con relativa conversione in energia elettrica per mezzo di cogeneratori. Gli impianti si differenziano per il fatto che il primo funziona solamente con effluenti suinicoli, il secondo con effluenti bovini in co-digestione con colture dedicate e sottoprodotti agroindustriali.

La co-digestione ha lo scopo di aumentare la produzione di biogas per unità di volume di digestore e, di conseguenza, la redditività dell'investimento. Accanto agli evidenti benefici derivanti dall'aumentata produttività, però, diventa più difficile mantenere la stabilità del processo. Di conseguenza, non sempre le rese produttive teoriche possono essere raggiunte. Inoltre, si deve considerare che non solo la produzione di biogas, ma anche la relativa trasformazione in energia elettrica e la cessione alla rete elettrica nazionale possono subire interruzioni per guasti o manutenzioni ordinarie e straordinarie. È per questo che monitoraggi prolungati sono importante per tutti coloro che intendono affrontare un investimento nel settore delle agro energie.

Il primo impianto : l'impianto di digestione anaerobica è costituito da due digestori verticali miscelati e riscaldati in regime di mesofilia del volume utile di 1370 m<sup>3</sup> cadauno, che lavorano in serie. Al di sotto di ogni cupola gasometrica è presente un sistema di desolforazione biologica che permette di abbattere il contenuto di idrogeno solforato. Il biogas trattato (desolforato e deumidificato) viene utilizzato in due cogeneratori (180 kW in totale all'avvio dell'impianto nel 2007, che sono diventati 215 kW da giugno 2008), che producono energia elettrica per coprire i fabbisogni aziendali e immettere in rete le eccedenze.

Il secondo impianto di digestione anaerobica : viene alimentato con liquami di bovini da carne, silomais e silosorgo, scarti della lavorazione di frutta e verdura, polpe di barbabietola e sanse.

L'impianto è costituito da:

- \_ una prevasca in calcestruzzo per lo stoccaggio dei liquami destinati ai digestori;
- \_ una tramoggia di carico per le biomasse;
- \_ un digestore primario orizzontale di circa 1.000 metri cubi di volume;
- \_ 2 digestori circolari verticali miscelati e riscaldati, del volume netto di circa 2.400 m<sup>3</sup> ciascuno. Sulla sommità sono installati 2 gasometri per lo stoccaggio del biogas.

Nel digestore primario avvengono prevalentemente le prime fasi del processo (idrolitica e acidogena/acetogena), mentre nei due digestori secondari la produzione di metano. Il passaggio del digestato da una vasca alla successiva è comandato da una centralina idraulica dotata di una pompa a lobi. Il biogas prodotto è sottoposto a trattamento di desolforazione biologica e deumidificazione e poi utilizzato per alimentare un cogeneratore della potenza elettrica nominale di 845 kW.

## RISULTATI

- L'impianto a soli liquami : peso vivo mediamente presente nell'allevamento, come media di tutto il periodo, è risultato essere pari a 1.136 tonnellate. Il processo di digestione ha prodotto un biogas caratterizzato da una concentrazione media di metano pari al 67% (59-72%), mentre la concentrazione di idrogeno solforato è risultata di circa 1.992 ppm (parti per milione). A fronte di una produzione lorda di energia elettrica totale, nel periodo monitorato, di 1.043 MWh (migliaia di kWh), gli autoconsumi sono stati pari al 20,8%.
- L'impianto a codigestione : il periodo di monitoraggio è stato caratterizzato da un carico medio di 60,8 tonnellate/giorno, con il silo-sorgo come matrice prevalente (37% del carico). Complessivamente sono state caricate 22.196 tonnellate di matrici tal quali.

Per quanto concerne la qualità del gas prodotto, la concentrazione del metano è risultata mediamente pari a 53,1% (51,8-55,6%) e quella di idrogeno solforato avviato al cogeneratore a 38 ppm (13,6-59,9 ppm). Gli autoconsumi elettrici totali sono risultati pari al 7,2%.

Concludendo, quindi, le matrici che possono essere utilizzate sono rappresentate sia da effluenti zootecnici tal quali, sia in miscela con colture energetiche e/o sottoprodotti agroindustriali.

In entrambi i casi, però, una corretta progettazione degli impianti che consideri le peculiarità delle matrici utilizzate è indispensabile per un buon funzionamento. Nel caso degli impianti alimentati prevalentemente

a colture energetiche, la costanza del prodotto permette di costruire impianti più affidabili, anche se più complessi. L'aggiunta di sottoprodotti agroindustriali pone il problema della costanza del reperimento delle matrici e della loro variabilità, il cui impatto può essere attenuato se le matrici sono insilabili ovvero se la quota di carico prevalente rimane la coltura energetica.

Nel caso, invece, degli effluenti zootecnici la variabilità che caratterizza queste matrici impone al progettista in primo luogo, e al gestore poi, di prevedere tutti gli accorgimenti necessari a limitare gli effetti della variazione di carico sulla produzione. Nei casi presi in esame le rese di trasformazione della sostanza organica caricata sono risultate molto vicine ai valori riscontrabili in letteratura.

Anche partendo da soli effluenti zootecnici è possibile ottenere ottime rese in metano.

Considerando

la dimensione dell'impianto di cogenerazione e i relativi rendimenti elettrici, la resa in energia elettrica ottenuta è risultata maggiore nell'impianto alimentato con liquami bovini e biomasse.

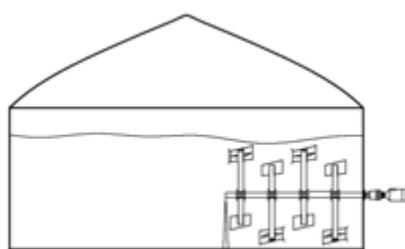
### Alternative costruttive

Le possibili soluzioni dal punto di vista del digestore (cuore dell'impianto).

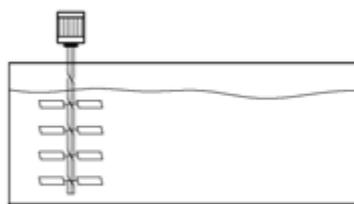
1. **Soluzione Plug Flow** un impianto non completamente miscelato, viene usato di solito come impianto primario. Nello schema si vede lo stoccaggio temporaneo dell'alimentazione (qui solida) e tale impianto dovrebbe essere in grado di gestire un effluente con notevole contenuto di solido. Alimento direttamente con un solido con 30% di sostanza secca, e tale impianto in cui il materiale avanza con un pistone e quindi non vi può essere corto circuito : tutto il prodotto ha un tempo di permanenza garantito in teoria, però nella pratica tale situazione non è garantita perché per far funzionare il tutto si fanno riciccoli. E' un impianto complesso come gestione perché il digestore stesso richiede una carpenteria molto robusta, ma consente anche di aumentare il carico spaziale e quindi posso arrivare anche a 8-10 kg di solidi volatili.
2. **Impianti completamente miscelati** che sono gli impianti più diffusi. Il digestore è completamente miscelato (digestore è un pentolone che deve essere molto **ben coibentato**, sia per potere essere mantenuta la temperatura desiderata senza sprecare eccessivo calore, sia per garantire la stessa temperatura nei diversi punti anche nei pressi delle temperature per evitare shock ai microrganismi che possono portare a una riduzione dell'efficienze). Utilizzare quindi il calore del cogeneratore.

Importante è anche il meccanismo per la miscelazione mixer (miscelatori sono importanti perché è qualcosa che si muove all'interno di un contenitore chiuso e quindi se uno di questi strumenti ha un problema e si brucia il motore per esempio non è facile intervenire, in quanto devo estrarlo, aprire il telo gassometrico di copertura oppure con pozzi predisposti con un più agevole allontanamento) :

1. **Miscelatore verticale** con una miscelazione di fondo e una miscelazione con un paragalleggiante per cui segue il livello. Co motorizzazione esterna.
2. **Miscelatore orizzontale** con un asse orizzontale e motorizzazione esterna.

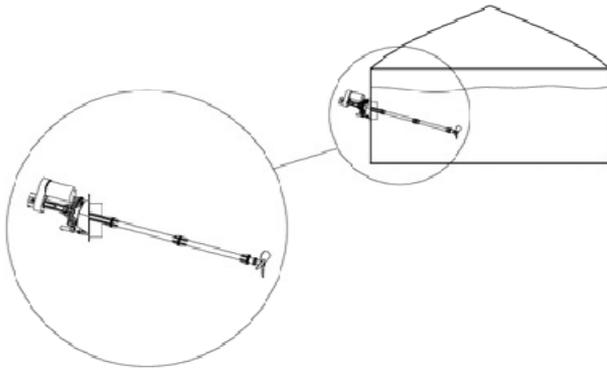


a) miscelatore ad asse orizzontale

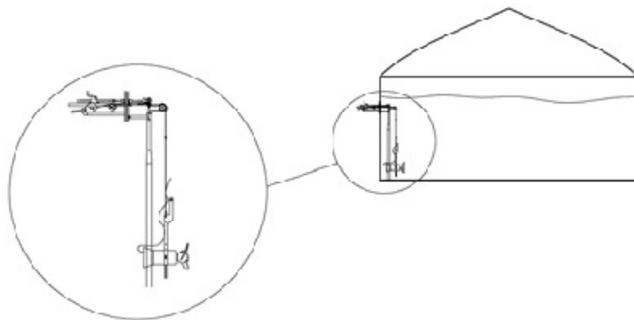


b) miscelatore ad asse verticale

3. **Miscelatore inclinato** con motorizzazione interna. Con tale miscelatore può anche avere qualche aggiustamento per variarne la direzione per magari eliminare il problema di galleggiamenti delle croste.



4. **Mixer sommergibile** con motorizzazione elettrica o aerodinamica interna, di solito sostenuto da un palo e quindi posso variarne l'altezza.



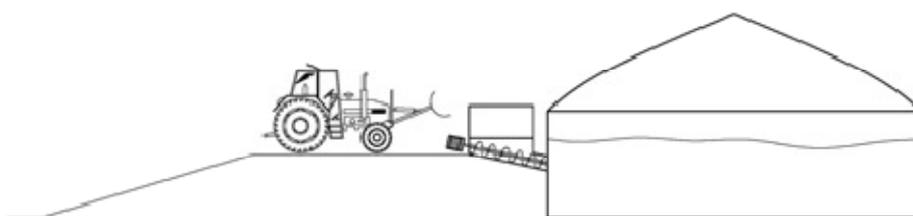
Ovvio che la **motorizzazione**, che è quella più suscettibile a problemi, è all'esterno. Deve essere quindi completamente affidabile, perché se la motorizzazione da problemi devo intervenire : vuotare il digestore e intervenire per aggiustarlo. Se ho problemi in queste parti o sul cuscinetto di appoggio interno, quindi il miscelatore è un'attrezzatura scelta con grande attenzione in funzione del tipo di massa che voglio utilizzare e dell'esperienza nella gestione.

Altro aspetto importante a livello di progettazione è l'alimentazione.

L'alimentazione condiziona l'impianto : avviene 24 ore al giorno (quindi più frequente è l'alimentazione e meglio è). Deve quindi andare sempre, se no non produce.

Impianto può essere fuori terra o parzialmente interrato (una rampa, un contenitore, la pala caricatrice che carica il contenitore il quale spinge dentro la parte solida della biomassa, così la parte solida e liquida vengono alimentate separatamente tramite due diverse vie completamente indipendenti). Le coclee sono sempre un pensiero, è un'attrezzatura che ruota che ha bisogno di manutenzione e che si consuma nel tempo, quindi si è pensato invece di avere il caricamento della biomassa a quota zero sollevata con coclea, avere una rampa e così ho solo una coclea che immette all'interno.

Cassone di alimentazione sopraelevato



Diverse tipologie di cassoni di deposito del materiale :

Cassone che deve essere indispensabile (qualcuno ancora non lo fa ma fare economia sulle celle di carico e controllo del peso è sbagliato perché **l'alimentazione è fondamentale e va controllata**). Oggi **l'autorizzazione unica richiede il monitoraggio dell'impianto!**

Sistemi di trasporto :

1. **Con nastro di fondo** quindi con un trasporto di fondo con catena o con nastro trasportatore.
2. **A spinta** cioè parete mobile che spinge il tutto sulla coclea che alimenta.
3. **Cassone con trituratori** che miscelano il tutto e alimentano il sistema della coclea per alimentare. (Alimentazione separata di solida e liquida)
4. Una vasca importante (in grado di ospitare l'alimentazione di 2-3 gg come volume) dove va a finire la biomassa liquida e solida; all'interno di tale vasca ho una serie di miscelatori, ovvio che il miscelatore deve essere in grado di miscelare un prodotto che arriva al 12-13% di solido totale, sostanza secca e quindi avere un 30-40 W per m<sup>3</sup> installati. Tale vasca può essere anche pre-riscaldata.

Il meccanismo di alimentazione prevede che la biomassa solida vada in questa vasca : per esempio 40-45 t al giorno di silo mais, però partendo da un 35% per portarlo al 12% significa moltiplicare per 3 → avere grande quantità di liquido per riuscire a miscelare e riscaldare il tutto e attraverso tale pompa, con miscelatore di sicurezza e un tritatore per aumentare la superficie di contatto, alimento). Visto che non avrò quasi mai tutto questo liquido, devo ricircolare dall'impianto una portata elevata di materiale. E' una soluzione abbastanza diffusa in impianti inseriti in aziende agricole, in quanta vista con favore dagli agricoltori perché non li sconvolge ("sbatto tutto dentro e non ho più problemi"), però sarebbe **da evitare** : spreca energia (miscelare è un'attività energivora), ricircolare prodotto in queste quantità significa sprecare biogas, problemi ambientali come diffusione di odori all'intorno, avere anche sorpresina se abbiamo un fumatore che fuma lì vicino. Inoltre il peso è regolato dalla quantità di mais, c'è un flussometro per misurare la portata però devo registrare ciò che butto dentro.

5. Soluzione dove abbiamo un contenitore in cui mettere dentro vari prodotti, li misceliamo e si ottiene una broda; qui su celle di carico alimento sia la frazione liquida sia la biomassa vegetale solida, si omogeneizza il tutto, riscaldato, viene pesato alimento per alimento (mi serve anche qui un ricircolo se non ho abbastanza liquidi però in volumi contenuti). E' un po' macchinosa perché ha una serie di attrezzature.
6. Soluzione che prevede una alimentazione separata del solido e liquido, ma ho una veicolazione comune (si utilizza il liquido per veicolare il solido); all'interno del digestore quindi non mando direttamente il solido, perché si pensa che immettere direttamente il solido nel digestore crea più facile la formazione di crostoni anche se non sempre è vero (se tutto è condotto in modo attento). Alimento la fase liquida, utilizzo il liquido, con una macchina particolare (è un tritatore dosatore) aggiungo il solido che si miscela col liquido e pompato all'interno del digestore con il liquido. Quando non ho più biomassa liquida la funzione di veicolazione è assolta dal ricircolo.

La **scelta** delle diverse soluzioni come va fatta, quali sono i criteri di scelta?

Dipende dal tipo di biomassa che pensiamo di utilizzare (se biomassa è prevalentemente agricola allora il prodotto è costante; se biomassa è prevalentemente sottoprodotti che ritiro direttamente nelle condizioni in cui è stato prodotto all'origine allora ho patate piene di terra da togliere; ecc) per operare le scelte corrette.

Possibili pre-trattamenti per ottimizzare la produzione, cioè fare sì che la maggior quota di solidi volatili possano essere utilizzati e si trasformi in biogas.

Quali sono i possibili processi :

- ▶ **FISICI** : meccanici cioè triturazione; termici cioè shock termici e riscaldamento ad alta e bassa pressione; elettrici cioè processi elettrolitici e di passaggio all'interno di condotte dove si creano correnti indotte anche a basso voltaggio.
- ▶ **CHIMICI** : attacchi acido-base (attacchi di tipo chimico), forte ossidazione
- ▶ **BIOLOGICI** : aggiunta di enzimi per rendere disponibili anche le cellulose ecc e

Scelta importante per potere meglio utilizzare tutta una serie di sottoprodotti (più prodotti nobili usiamo e meglio è).

Altro aspetto importante è il sistema di riscaldamento, importante nella messa a punto e progettazione e gestione dell'impianto. Ho due soluzioni :

1. **Soluzione esterna** : ho uno scambiatore all'esterno con ricircolo, quindi ho una pompa che preleva il digestando all'interno e lo fa passare in uno scambiatore esterno, lo riscalda e lo rimetto dentro. Soluzione tradizionale in tutti i digestori civili, perché se ho uno scambiatore all'interno è diverso
2. **Soluzione interna** : è una serpentina all'interno che fa tutta una serie di giri (di solito 2-3 giri di tubo è sufficiente se sono in acciaio). Ovvio che se si rompe o si incrosta devo vuotare il tutto ed estrarre e sistemare. Lo scambiatore può essere una serpentina in plastica rinforzata, in acciaio oppure integrato nel miscelatore.

Negli impianti la soluzione più diffusa è con scambiatore interno, e in genere i tubi in acciaio.

Non ci sono grossi inconvenienti.

Nelle soluzioni agricole non si usa molto quello esterno perché trattando biomasse molto solide il pericolo è che ci possa essere intasamento nella ripresa del digestando.

Altra cosa importante è poter **controllare** cosa succede all'interno : fare quindi degli oblò per potere osservare che con l'esperienza si capisce subito visivamente se va tutto bene. Oblò di controllo tramite visione diretta oppure visione con telecamere.

Altro aspetto importante è il volume del gasometro, e ci sono diverse tipologie ma quello più diffuso è quello flessibile. Quello flessibile può poi essere in **ricovero indipendente, monomembrana** o per impianti più seri a **due membrane** (una di protezione esterna e quella vera e propria gasometrica interna), o gasometri a **tre membrane** quando c'è un cuscino esterno di protezione e una di protezione interna (avere due membrane che delimitano il cuscino di pressurizzazione importante per la sicurezza, così è impossibile che dell'aria vada a finire nel biogas) così mette a tacere osservazioni dei vigili del fuoco.

Il volume del gasometro è importante per due motivi :

- 1) Per far fronte alle manutenzioni del motore senza buttare via gas (importante non buttare via gas, sia per non sprecare ma anche dal punto di vista ambientale e non diffondere odori nell'ambiente)
- 2) Per la desolfurazione, cioè avere un tempo di permanenza del gas sufficiente per consentire il contatto coi batteri desolforanti.

I requisiti di buona realizzazione :

- Sufficiente coibentazione del digestore!
- Sistema di riscaldamento idoneo a fornire il calore di termostatazione (35-40 gradi)
- Oblò di controllo
- Mixer efficace
- Sistema di alimentazione corretto in funzione di quello che vogliamo fare
- Disponibilità di sufficiente stoccaggio biogas

Tutto questo però per avere il risultato finale è solo un pre-requisito perché la gestione deve essere realizzata in modo molto attento, è essenziale garantire condizioni di efficienza.

Realizzare un impianto di biogas significa un allevamento di microrganismi con tutte le loro esigenze in termini ambientali ed alimentari (la formulazione della razione, le modalità di somministrazione, il controllo di eventuali prodotti nocivi e delle condizioni ambientali sono essenziali).

La gestione deve essere quindi professionale e non casuale!

Mettendo a confronto diversi impianti, ma il consumo interno (autoconsumo) elettrico è diverso tra i diversi impianti, in cui il consumo è per il 69% negli agitatori oppure è per l'11% ecc → in base alla tipologia usata, ma soprattutto è il gestore che deve essere in grado di ottimizzare la posizione, la durata, la temporizzazione.

E' importante quindi anche :

- Evitare la presenza di sostanze inibitrici (ammoniaca, acido propionico, ioni di nitrito e nitrato, solfuri, solventi derivanti dal petrolio, cianuri, azoto idrati, salinità eccessiva (> 30 g/l), metalli pesanti, ecc)
- Controllare i parametri analitici nel digestore (pH, NH<sub>3</sub>) e nel biogas (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>)
- Utilizzare correttamente il biogas (trattamento)

## Il biogas

Il biogas è il risultato della digestione anaerobica operata dalla flora batterica presente nella sostanza organica originaria. Tale processo produce un gas composto per il 65-70% da metano, per il 30-35% da anidride carbonica e altri gas.

Normalmente per la realizzazione del processo si utilizzano reflui zootecnici, residui dell'industria agroalimentare, colture acquatiche, nonché rifiuti organici urbani immagazzinati in discariche controllate. Nella maggior parte dei casi, quindi, le materie prime del biogas sono rese disponibili attraverso operazioni di recupero di scarti organici prodotti da varie attività antropiche.

La digestione anaerobica è condotta in reattori opportunamente concepiti per evitare il contatto tra la massa liquida in essi contenuta e l'ossigeno atmosferico. All'inizio del processo i batteri fermentativi (avviene una **fermentazione** ad opera dei **batteri metanogeni** per produrre biogas) assimilano le sostanze organiche immesse nel reattore che vengono così degradate in composti organici più semplici (**fase idrolitica**). Questi vengono successivamente trasformati da batteri acidogeni in acidi organici a basso peso molecolare come l'acido acetico (**fase acidogenica**). Nella fase finale tali acidi verranno convertiti in metano e anidride carbonica dall'attività di un certo numero di metano-batteri (**fase di metanizzazione**).

La produzione di biogas avviene, dunque, tramite un processo in serie, dove i microrganismi a valle utilizzano i prodotti dei microrganismi a monte. Per ottimizzare l'attività dei microrganismi è necessario creare, all'interno del digestore, condizioni ambientali non dannose per nessuna delle specie batteriche in esso presenti.

Il biogas così prodotto viene raccolto, essiccato, compresso ed immagazzinato per poter essere impiegato come fonte di energia termica (combustibile per caldaie) o elettrica (in motori a combustione interna).

Vi è anche il recupero di biogas dalle discariche di rifiuti urbani.

#### Trattamento biogas :

- 1. Essiccazione.** Si fa in due step : prima in modo naturale sfruttando il terreno e portare la linea del biogas sottoterra; facendogli fare un certo percorso in modo che il biogas da 38 gradi, a contatto col terreno a -1 grado costante, si comincia a condensare ed essiccare in parte. Poi trattamento di rifinitura con un gruppo frigorifero. Esperienza dice di fare attenzione nel realizzare tali tubazioni interrato (l'essiccazione è gratuita) però attenzione che le tubazioni siano posizionate su una livelletta costante, se no se fa avvallamento sottoterra il motore non funziona perché non arriva gas (con l'avvallamento la condensa si ferma e si chiude anche parzialmente la sezione di passaggio del gas). Molti allora dicono che il biogas è meglio fuori e non interrato. Nella condensa si concentrano poi  $\text{NH}_3$  e  $\text{H}_2\text{S}$ , polveri ed impurità.
- 2. Desolforazione (pulizia del gas).** Riferita all'idrogeno solforato che se si ossida diventa  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e il motore non va molto bene a girare con acido solforico all'interno. Ci sono diversi metodi : **biologico** (la più utilizzata perché è quella meno costosa sia insufflando aria attorno al 5% del volume di biogas prodotto nello stesso gasometro, sia in una torre di desolforazione specifica : soluzione buona ma molto costosa); intervenire con trattamento **chimico** sempre in sicurezza (con addizione di cloruro ferrico  $\text{FeCl}_3$  o cloruro ferroso  $\text{FeCl}_2$  per poter addizionarlo nel caso che l' $\text{H}_2\text{S}$  mi scappi per proteggere il motore).
- 3. Filtrazione finale su carboni attivi.**

Cogenerazione (campo dei motori) : quali motori abbiamo a disposizione, quali sono i rendimenti, ecc.

- ▶ **Motori a gas** : i più diffusi, rendimento dipende dalle potenze e diverse firme (dal 33% per le piccole potenze, fino al 40-42% per i motori a ciclo otto)
- ▶ **Motori a diesel-gas** : motori che utilizzano, oltre al biogas, una piccola iniezione di gasolio aggiuntiva così il gasolio funziona come una candela diffusa e facilita l'accensione del biogas. E' un diesel e quindi ha rendimenti molto elevati e il loro interesse è legato a ciò (**rendimento** è importante perché vuol dire una **maggiore quantità a costo zero**). Ben vengano tali motori quindi, a patto che non consumino più del 5% di gasolio intermini di energia introdotta, se no diventano centrali ibride e non va bene (fino al 5% ok); col 5% di gasolio è facile che si inchiodino gli iniettori e alcuni energicoltori sono diventati pazzi per le manutenzioni continue e spesso in

ritardo e quindi fare attenzione a tale soluzione per tutelarci affinché vi siano garanzie di pronta assistenza e costi forfettizzati dell'assistenza. Rendimenti del 40% circa.

- **Turbine a gas** : interessanti, però il suo rendimento è limitato rispetto ai motori a combustione (ci vorrebbe un bonus tecnologico che premia le innovazioni). Rendimento circa 30%.

**Essenziale è l'energia termica!**

Problematiche per lo sviluppo settore :

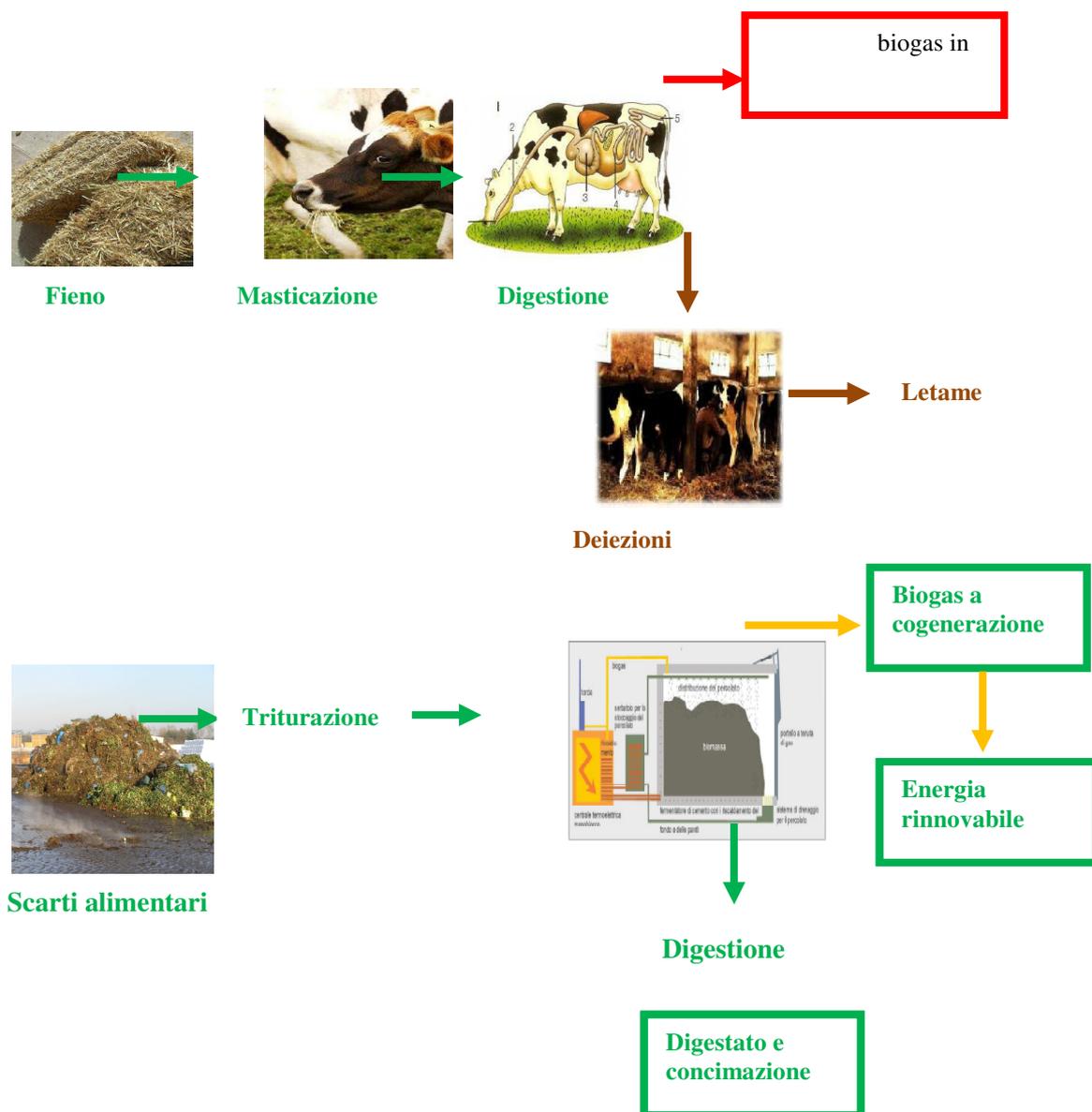
- 1. Disponibilità SAU** (Superficie Agricola Utilizzabile) se parliamo di biogas agricolo. A volte alcuni agricoltori non dispongono di una superficie agricola sufficiente per essere considerati veri agricoltori, cioè la loro attività di produzione di energia sia connessa all'attività agricola (perché accada deve esserci più del 50% di biomassa prodotta dall'azienda agricola). E' di estrema importanza verificare tale condizione (tocca alla finanza tali controlli attraverso funzionari) perché gli agricoltori sono pronti ad imbrogliare per gli enormi interessi in gioco : perché se è attività connessa significa pagare zero di tasse perché paga sul reddito agrario già anche che non produce energia. La destinazione energetica della SAU richiede grandi superfici : 3,5-5 kW/ha di potenza elettrica.
- 2. Distanza SAU – impianti** deve essere limitata. Limite dei 70 km per l'evidente impatto da trasporto.
- 3. Destinazione alimentare biomassa** (aspetto etico). Competizione per questo aspetto.
- 4. Uso di sottoprodotti** che è la vera risorsa ambientale.

Importante per la costruzione di un impianto a biogas è che vi sia un'integrazione nella scelta della diversa componentistica, in funzione delle specifiche e diversificate situazioni aziendali e per le particolari esigenze dell'impianto che ogni azienda realizza.

Importante anche una gestione professionale, per migliorare il rendimento dell'impianto, particolarmente attenta (allo stato attuale vi sono ditte specializzate per seguire gli impianti), grazie al controllo dei vari parametri analitici che metta in atto le azioni per ottimizzare il processo.

Importante infine è sviluppare anche delle conoscenze diffuse e un servizio di assistenza in modo che esista un supporto per gli energicoltori nella loro attività.

Un impianto a biogas si può paragonare al processo di digestione di una mucca adulta (è un processo naturale) : vediamo i due schemi rappresentativi del digestore naturale (stomaco mucca) e digestore artificiale (nostro impianto).



## Il reddito per gli agricoltori

Le innovazioni tecniche debbono trovare una convalida economica.

Le valutazioni economiche si devono avvalere di dati raccolti in aziende : sono state rilevare le quantità di biomassa impiegate, l'energia prodotta e quella venduta o utilizzata dall'azienda.

Il calcolo del costo annuo di esercizio si basa sui costi di manutenzione, assicurazioni, analisi e controlli tecnici, il lavoro familiare, gli ammortamenti, gli interessi sui capitali investiti. E la biomassa è stata valutata al suo costo di produzione.

L'analisi finanziaria ( analisi dei costi e benefici che si hanno nell'arco temporale nel quale l'investimento iniziale è in grado di funzionare) per dare un giudizio sugli investimenti che debbono essere realizzati in presenza o in assenza di contributi pubblici; in secondo luogo considerare le linee-guida dell'economia agraria consolidata per evidenziare il reddito netto dell'imprenditore agricolo che dedica una parte della sua superficie aziendale ad una coltura finalizzata alla produzione di energia.

I risultati analizzati danno esiti positivi per la remunerazione dell'investimento, considerando anche che l'energia prodotta, che non viene auto consumata, può essere venduta a un certo costo per ogni kW prodotto.

#### **1.14.    NORMATIVA BIOMASSA**

##### **Programmi / direttive dell'UE**

- Riduzione delle emissioni di gas serra
- Energia elettrica rinnovabile
- Combustibili per trasporto
- Prestazioni energetiche degli edifici → applicazione delle fonti rinnovabili : solare, biomasse
- Co-generazione di energia elettrica e calore → valutazione del contributo delle fonti rinnovabili

##### **Politica agricola e comunitaria**

Premio alle coltivazioni energetiche :

- Premio di 45 € per ettaro per una superficie massima di 1,5 milioni di ettari.

-Tutte le coltivazioni ammissibili.

-È richiesto il contratto di utilizzo se questo non è all'interno dell'azienda agricola.

## **I Certificati Verdi**

Il D.Lgs. 16/3/1999 ha introdotto questo strumento **di incentivazione dell'elettricità prodotta da fonti rinnovabili**. Si basa sull'obbligo, a carico dei produttori ed importatori di energia elettrica prodotta da fonte rinnovabile, di immettere nel sistema elettrico nazionale una quota minima di elettricità prodotta da impianti alimentati a fonti rinnovabili. La quota percentuale è calcolata sulla base della produzione e delle importazioni da fonti non rinnovabili nazionali dell'anno precedente.

I soggetti all'obbligo possono adempiervi immettendo in rete elettricità prodotta da fonti rinnovabili oppure acquistando da altri produttori titoli comprovanti la produzione della quota. I suddetti titoli sono chiamati **Certificati Verdi (CV)** e spettano all'elettricità prodotta dagli impianti alimentati da fonte rinnovabile, per un periodo che inizialmente era fissato in otto anni e che poi nel 2006 con un decreto legislativo è stato elevato a 15 anni.

I Certificati Verdi vengono emessi dal **GSE (Gestore Servizi Energia)** su richiesta, previa qualificazione dell'impianto, cioè previo riconoscimento all'impianto del possesso dei requisiti stabiliti dalla normativa.

Attestano la produzione di energia da fonti rinnovabili (o assimilate). Il mercato dei Certificati Verdi consente dunque ai produttori di energia elettrica che non raggiungono la quota minima di energia prodotta da fonti rinnovabili di sopperire a tale mancanza acquistando i CV da titolari di impianti a fonti rinnovabili, che dunque ne traggono vantaggio economico.

In pratica i Certificati Verdi sono lo strumento con il quale i soggetti sottoposti all'obbligo della quota "verde" devono dimostrare di avervi adempiuto e quindi costituiscono l'incentivo alla produzione da fonte rinnovabile. Si crea così un mercato in cui la domanda è data dai produttori ed importatori soggetti all'obbligo e l'offerta è costituita dai produttori di elettricità con impianti aventi diritto ai CV. Le transazioni possono avvenire attraverso una piattaforma di negoziazione costituita presso il Gestore del Mercato Elettrico (**GME**).

Il GSE, titolare dei CV, li immette sul mercato esclusivamente attraverso la piattaforma del GME.

I costi dell'incentivazione sono a carico dei produttori ed importatori da fonti convenzionali, che debbono obbligatoriamente acquistare Certificati Verdi oppure realizzare investimenti per produrre elettricità da fonti rinnovabili. Il valore dei CV si forma sul mercato.

I Certificati Verdi sono titoli emessi dal Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale (GRTN), che certificano la produzione di energia da fonti rinnovabili. Ogni Certificato Verde attesta la produzione di 100 kWh, nell'arco di emissione di un anno. Vigente l'obbligo per i produttori ed importatori di energia di immettere annualmente una quota di energia prodotta da fonti energetiche rinnovabili di quanto prodotto e/o importato da fonti convenzionali da fonti convenzionali nell'anno precedente.

***I Certificati Verdi danno un valore unico al kWh verde prodotto, a prescindere dalla fonte utilizzata.***

### **I Certificati Bianchi.**

Emissione da parte dell'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas (AEEG) di titoli di efficienza energetica (TEE) a fronte dei risparmi energetici conseguiti, verificati e certificati dall'Autorità.

***I Certificati Bianchi rappresentano delle unità di energia primaria risparmiata, anziché prodotte.***

Le caratteristiche sono : dimensione pari a 1 tep di energia risparmiata; negoziabilità con contratti bilaterali o nel mercato organizzato da GME; validità per 5 anni; accumulabilità e utilizzabilità nell'arco temporale di validità.

I Titoli di Efficienza Energetica sono emessi dal GME a favore dei distributori di energia elettrica e accreditatesi presso l' AEEG, al fine di certificare la riduzione dei consumi conseguita attraverso interventi e progetti di incremento di efficienza energetica.

Sono schede tecniche per fare i calcoli di **quante sono le tonnellate equivalenti di petrolio risparmiato** in un impianto cogenerativo e gode di una qualifica di garanzia che è stata usata minore materia prima.

### **I renewable energy certificates system (RECS).**

Riconoscimento e sostegno economico del valore ambientale dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili.

Il GRTN insieme ad altri operatori, produttori e distributori, italiani ed europei, partecipa al sistema RECS.

Il sistema si basa sull'emissione di certificati, denominati RECS, che attestano la produzione di energia elettrica da fonti energetiche rinnovabili per una quota minima pari ad 1 MWh, nell'arco dell'anno di emissione. Rispetto ai CV possono essere emessi per :

- ✓ impianti entrati in esercizio prima del 1999;
- ✓ impianti che non raggiungono produzioni annue pari o superiori a 100 MWh, necessari per i CV;
- ✓ impianti che hanno eccedenze di produzione, inferiori a 100 MWh, non certificabili.

### **Energie considerate per godere dei CV**

Il D.Lgs 29/12/2003, recependo la definizione dell'art. 2 della Direttiva 2001/77/CE, include tra le fonti rinnovabili : *eolica, solare, geotermica, del moto ondoso, maremotrice, idraulica, biomasse, gas di discarica, gas residuali dai processi di depurazione e biogas.*

Con questo decreto scompaiono quindi i *rifiuti inorganici* indicati nel precedente decreto del 1999. Tuttavia alcuni rifiuti, anche non biodegradabili, erano ammessi a beneficiare del regime riservato alle fonti energetiche rinnovabili. I rifiuti ammessi erano quelli non pericolosi.

La legge finanziaria del 2007 ha modificato poi escludendo tutti i rifiuti non biodegradabili dal beneficio degli incentivi riservati alle fonti rinnovabili. I finanziamenti e gli incentivi pubblici di competenza statale finalizzati alla promozione delle fonti rinnovabili per la produzione di energia elettrica sono concedibili esclusivamente per la produzione di energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili.

Per quanto riguarda i rifiuti possono godere dei Certificati Verdi solo quelli totalmente biodegradabili che sono da includere tra le biomasse. Occorre tenere presente però che il termine biomassa ha un'estensione diversa a seconda che lo si usi dal punto di vista delle fonti rinnovabili incentivabili con i CV ovvero dal punto di vista della disciplina dei combustibili.

Rifiuti che siano solo parzialmente biodegradabili possono godere dei Certificati Verdi solo limitatamente alla quota di energia elettrica prodotta dalla frazione biodegradabile.

Nella procedura di qualificazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabile predisposta dal GSE è indicato un metodo per la determinazione della quantità di energia prodotta imputabile alla frazione biodegradabile dei rifiuti che prevede la predisposizione di standard.

La legge del 23/8/2004 ha introdotto il diritto all'emissione dei Certificati Verdi anche per l'energia elettrica prodotta da celle a combustibile, quella prodotta con l'utilizzo di idrogeno (vettore energetico prodotto però a partire da altri fonti energetiche), nonché l'energia prodotta da impianti di cogenerazione abbinati al teleriscaldamento. Sono così stata individuate le modalità di rilascio dei CV alle suddette categorie di impianti.

### **2.14.1 Norme per la produzione di biogas**

Da alcuni anni è avviato lo sviluppo di sistemi di produzione di energia elettrica basati sullo sfruttamento di fonti energetiche rinnovabili, e il biogas rappresenta una di queste.

Grazie alle normative in materia di autoproduzione, al riconoscimento del valore ambientale dell'energia elettrica da fonti rinnovabili e ad una tecnologia ormai collaudata, oggi è anche possibile produrre biogas per la cogenerazione di calore ed elettricità a condizioni vantaggiose.

**La digestione anaerobica è un processo biologico complesso, per mezzo del quale, in assenza di ossigeno, la sostanza organica viene trasformata in biogas (o gas biologico), costituito prevalentemente da metano e anidride carbonica.**

La produzione di biogas da biomasse esercita, in questa fase di crisi del settore primario, una forte attrazione su aziende agricole alla ricerca di forme diversificate di reddito, soprattutto dopo l'approvazione definitiva da parte del Parlamento del disegno di legge che riconosce la remunerazione più elevata all'energia elettrica che ne deriva (tariffa omnicomprendente di 0,28 euro/ kWh per impianti di potenza non superiore ad 1MW).

In realtà manca ancora una disciplina specifica che regoli il trasporto di biomasse agricole e agro-industriali, la loro digestione anaerobica e la destinazione finale del digestato.

L'emanazione del "Testo unico

ambientale"(decreto legislativo n.152/2006 parzialmente corretto con il successivo decreto legislativo

n. 4/2008), costituisce un importante passo avanti, anche se ciò non è servito a fare completa chiarezza e a colmare alcune lacune.

- In merito all'autorizzazione alle emissioni in atmosfera si riscontrano posizioni completamente diverse: secondo alcuni le apparecchiature di produzione di energia con trasformazione del biogas, inserite in un'azienda agricola, non hanno autonomia funzionale e, pertanto, non possono essere considerate impianto così come definito nell'articolo 268 del decreto legislativo 152/2006 ne consegue che tali apparecchiature (generatori di calore e cogeneratori) non possono essere esonerate dall'autorizzazione alle emissioni in atmosfera ai sensi dell'articolo

- Altra interpretazione di segno opposto, secondo la quale l'insieme delle apparecchiature per la produzione e la conversione energetica di biogas dai liquami dell'allevamento è dotato di "autonomia funzionale" ed è destinato ad una specifica attività (cogenerazione di energia elettrica e termica); pertanto si può considerare "impianto" a tutti gli effetti

La parte seconda del decreto n. 4/2008, non prevede la cosiddetta Via (Valutazione di impatto ambientale) per gli impianti di biogas che non trattano rifiuti, di potenza inferiore a 50 MW termici. Molte autorità

Competenti per dimostrare che un impianto per la produzione di energia deve essere sottoposto a procedura di verifica (*screening*) ed eventualmente alla Via, sostengono non solo che tali impianti sono di recupero rifiuti, ma anche che, in quanto tali, sono equiparabili ad impianti di smaltimento di rifiuti.

Non essendo, infatti, chiarita la natura agricola delle attività di produzione di energia (e tra queste la digestione anaerobica), dove si stabilisce che «*non rientrano nel campo di applicazione della disciplina rifiuti... le materie fecali ed altre sostanze naturali utilizzate nell'attività agricola*», non viene preso in considerazione. Si tratta, per le autorità competenti, di impianti “industriali” per la produzione di energia, e non di attività agricole, soggette quindi alla disciplina rifiuti.

L'articolo 185 del decreto n. 4/2008, e gli articoli 1 di altri due decreti legislativi: il n.228/2001 e il n.99/2004. Si afferma in questi ultimi che attività come la coltivazione del fondo o l'allevamento degli animali, dirette alla cura e allo sviluppo di un ciclo biologico, sono “attività agricola” e chi le esercita è imprenditore agricolo. La digestione anaerobica delle materie fecali, dei prodotti vegetali e loro residui è parte del ciclo biologico di cui sopra e, pertanto, se esercitata da un imprenditore agricolo, è “attività agricola essa stessa”.

La digestione anaerobica, infatti, oltre a produrre biogas, ha la proprietà di stabilizzare, eliminando gli odori sgradevoli, la sostanza organica contenuta nelle materie fecali e di migliorare le potenzialità fertilizzanti.

Il residuo della digestione anaerobica, il cosiddetto digestato, va quindi a chiudere il ciclo biologico aziendale se ritorna sui terreni agricoli ai quali cede, con più efficienza delle materie fecali tal quali, i nutrienti alle colture che sono base dell'alimentazione degli animali allevati. Per questa ragione anche l'uso fertilizzante del digestato è “attività agricola”. Non solo, ma la digestione anaerobica delle materie è “attività agricola” anche nel caso in cui l'imprenditore agricolo che la gestisce sia una società di persone o cooperativa

o una società di capitali, purché siano rispettati dei requisiti.

L'assoggettamento alla disciplina rifiuti o ad altre discipline dipende dalla classificazione che ha avuto il materiale in entrata all'impianto e dalla natura professionale del gestore.

Se le materie fecali e le sostanze naturali non pericolose sono conferite ad un **impianto di biogas gestito da un imprenditore agricolo**, esse si sottraggono, quindi, alla “disciplina rifiuti”, anche una volta trasformate in digestato. Questo va ad un utilizzo, quello agronomico, governato dal decreto del 7 aprile 2006 sull'utilizzazione agronomica degli effluenti. Se sono invece conferite ad un impianto gestito da un **imprenditore non agricolo**, l'autorizzazione non può che essere rilasciata per un impianto di trattamento rifiuti. L'utilizzazione agronomica del materiale digerito si configura come operazione di recupero, così come prevista dal decreto n. 152/2006, e può avvenire nel rispetto delle disposizioni sull'utilizzazione agronomica degli effluenti zootecnici e dei fertilizzanti commerciali.

Se si tratta di residui delle lavorazioni vegetali provenienti da impianti agroindustriali e il conferimento avviene a impianto di biogas aziendale o interaziendale gestito da imprenditore agricolo, l'autorizzazione non può che essere rilasciata, anche in questo caso, per un impianto di trattamento rifiuti e l'utilizzazione agronomica del materiale digerito si configura come operazione di recupero.

Tuttavia, se i requisiti dell'articolo 183 del citato decreto relativi alla qualifica di “Sottoprodotti” sono rispettati, anche questo tipo di biomasse destinate alla produzione di biogas e il relativo digestato si sottraggono alla disciplina dei rifiuti, per essere normati dal decreto dell'aprile 2006

Il disegno di legge che riconosce agli impianti di taglia non superiore ad 1 MW la tanto attesa tariffa onnicomprensiva di 0,28 euro/ kWh all'energia elettrica da biomassa (agricola e non solo), compresi quelli che ricevono o hanno ricevuto finanziamenti (in conto interesse o in conto capitale) per importi sino al 40% del costo complessivo porterà certamente ad uno sviluppo esponenziale del numero degli impianti.

Impianti a biogas devono sottostare al **D.Lgs 387** che si applica a tutti gli impianti che producono energia elettrica da fonte rinnovabile, qualunque essa sia (sotto le fonti rinnovabili ci sono le biomasse).

In Emilia – Romagna vi è un'elevata presenza di allevamenti.

Il processo autorizzativo è descritto, quindi, a livello nazionale dal D.Lgs 387.

La Regione Emilia Romagna ha pubblicato una delibera che si pone come obiettivo quello di snellire e omogeneizzare l'iter burocratico per incentivare la produzione di energia da biogas.

Per la prima volta tale delibera descrive in dettaglio le tipologie di materie prime utilizzabili nel processo di produzione del biogas, differenziandole a seconda del soggetto titolare dell'impianto (imprenditore agricolo o non). Inoltre fissa le modalità con cui individuare le differenze tra rifiuti e sottoprodotti. Secondo tale delibera gli iter procedurali sono definiti in relazione alle taglie di impianto, e si individuano tre soglie di potenza :

1. Minore di 250 kW elettrici (non è prevista alcuna autorizzazione alla costruzione e gestione dell'impianto, vi è solamente la Denuncia di Inizio Attività – DIA – del testo unico in materia di edilizia nel rispetto delle disposizioni urbanistiche locali)
2. Compresa tra 250 kW elettrici e 1 MW elettrico (sono previste procedure autorizzative semplificate per impianti di potenza minore di 1 MW elettrico e 3 MW termici che producono energia da biogas ottenuto da biomasse non classificate come rifiuto. Tali impianti non devono richiedere l'autorizzazione alle emissioni in atmosfera, ma devono comunque rispettare i limiti di emissione previsti per gli impianti di combustione. In ogni caso il soggetto titolare deve presentare tutta la documentazione allo Sportello Unico del comune dove deve essere allegata una relazione tecnica che illustri nel dettaglio la gestione e la destinazione finale del digestato, per il quale la delibera fornisce inoltre utili linee guida per l'uso agronomico sulla base delle biomasse in ingresso e della vulnerabilità del terreno)
3. Maggiore di 1 MW elettrico (impianti di grossa taglia, non presenti in Emilia Romagna, Per tali tipologie di impianto le procedure divengono più complesse per la molteplicità delle autorizzazioni concorrenti : Screening, Valutazione di Impatto Ambientale – VIA -, Autorizzazione Integrata Ambientale – AIA -, Valutazione di Incidenza, ecc in capo ad autorità competenti diverse)

Il 387 tratta, quindi, gli impianti a biomassa sia di origine agricola, sia essa un prodotto, sia essa un rifiuto.

All'Art.12 dice che si vuole incentivare le fonti rinnovabili per cui è necessario ricondursi ad un unico procedimento tutte le pratiche/autorizzazioni che sono richieste per arrivare alla costruzione e gestione dell'impianto.

L' **Autorizzazione Unica** completa, contenuta nel D.Lgs 387, è prevista nei casi :

1. Per gli impianti di potenza nominale inferiore o uguale a 3 MW termici o 1 MW elettrico che prevedano l'utilizzo di materiali organici classificati come rifiuti nel D.Lgs 152 (se trattiamo rifiuti dobbiamo rispettare tutto quanto dettato dalla parte IV del Testo Unico Ambientale).
2. Per impianti di potenza nominale superiore a 3 MW termici e 1 MW elettrico, indipendentemente dai materiali organici trattati

Questa procedura consiste in una autorizzazione unica da parte delle provincie, nel rispetto delle normative vigenti in materia di tutela dell'ambiente, del paesaggio e del patrimonio storico artistico che costituisce, ove occorre, anche variante allo strumento urbanistico. L'istituto della conferenza dei servizi è convocata entro 30 giorni dal ricevimento della domanda di autorizzazione e rilasciata a seguito di un procedimento unico al quale partecipano tutte le amministrazioni interessate; il termine massimo della procedura non deve essere superiore a 180 giorni.

Altro aspetto importante da considerare è l'aspetto emissioni in atmosfera : l'Autorizzazione alle emissioni in atmosfera è molto importante perché si prevede la presentazione della pratica a partire dal progetto di impianto (non si ottiene un'autorizzazione a impianto fatto). Presentare un progetto, seguire l'iter della conferenza di servizio, arrivare ad avere il progetto di costruzione e gestione dell'impianto ai fini dell'impatto in termini di emissioni in atmosfera.

Un altro aspetto da tenere conto per la digestione anaerobica sono le attività in **AIA** (Autorizzazione Integrata Ambientale) interessate dall'inserimento di un impianto di digestione anaerobica :

- per gli impianti di combustione sono in AIA gli impianti > 50 MW;
- per gli allevamenti zootecnici le soglie sono 750 posti scrofa, 2.000 posti suini e 40.000 posti pollame e quindi se si intende inserire un impianto di digestione anaerobica in un allevamento agricolo suino in AIA bisogna tenerne conto e chiedersi se la modifica che vado a fare è sostanziale.

Importante è anche, ai fini dell'Autorizzazione Integrata Ambientale, considerare che la modifica sostanziale è quella modifica che comporta delle variazioni delle caratteristiche in termini di potenziamento dell'impianto tale per cui ho degli effetti negativi e significativi sull'ambiente, quindi viene da dire che un impianto di digestione anaerobica non peggiora l'impatto ambientale anzi lo migliora perché riduce le emissioni. Per le autorizzazioni alle emissioni (anche con il decreto uscito quest'estate) sono ribadite alcune esclusioni :

- Sono escluse dalle autorizzazioni alle emissioni gli allevamento zootecnici con meno di certe soglie di animali;
- Gli impianti di combustione a biomassa con potenza termica nominale inferiore a 1 MW;
- Gli impianti di combustione con potenza termica fino a 3 MW termici o 1MW elettrico quando alimentati da biogas proveniente non da rifiuti

Non avere gli obblighi a tali autorizzazioni ai fini di poter seguire la strada semplificata è importantissimo.

Altro concetto nuovo (uscito nel decreto di quest'estate, il D.Lgs 128) :

Stabilimento è quel complesso unitario e stabile dove si svolge un ciclo produttivo in cui sono presenti uno o più impianti o sono effettuate una o più attività.

Impianto è una parte dello stabilimento.

Ora l'autorizzazione alle emissioni è rilasciata allo stabilimento, non all'impianto.

Inserimento di un impianto di digestione anaerobica è una modifica, poi capire se è sostanziale o meno a secondo della normativa.

Per la normativa emissioni una modifica dello stabilimento è l'installazione o la modifica di un impianto o di un'attività presso uno stabilimento che comporti una variazione di quanto indicato nella autorizzazione alle emissioni. Qualunque cosa si faccia va comunicato alle autorità competenti!

La modifica sostanziale, per la normativa emissioni, è una modifica che comporta un aumento o variazione qualitativa delle emissioni o che altera le condizioni. La Regione Emilia Romagna uscirà a breve con una delibera dove dice che l'inserimento di un impianto di digestione anaerobica in una realtà in AIA è da ritenersi una modifica ma non sostanziale.

Occorre analizzare l'attività entro cui tale impianto si va a inserire per capire tutte le ripercussioni.

### Semplificazione

Nella finanziaria 2007 è stato stabilito che per impianti soglia fino a certe potenze la costruzione è possibile mediante semplice denuncia di inizio attività (per il biogas la soglia è 250 kW) ed è lasciata la possibilità di stabilire soglie più alte : infatti l'anno scorso in estate si è detto che l'installazione e l'esercizio di impianti di piccola cogenerazione può essere realizzato secondo solo la denuncia di inizio attività fino a 1 MW elettrico. Va però approfondito il concetto di cogenerazione.

Chi fa testo da riferimento è l'Autorità per l'energia elettrica e per il gas (AEEG).

La definizione di base di cogenerazione : è *la produzione combinata di energia elettrica combinata al calore alle condizioni definite dall'Autorità dell'energia elettrica che garantiscano un significativo risparmio di energia rispetto alle produzioni separate.*

La delibera 42 dice che cogenerazione significa anche recupero di calore vero, e in tale delibera dell' AEEG sono dati dei coefficienti da rispettare (indice di risparmio energetico per es) e vale fino al 31/12/2010.

Conclusione : *una norma nazionale e linee guida del 387 che dicono che l'impianto di cogenerazione fino a 1MW elettrico può fare solo la denuncia di inizio attività, nella pratica questo è tutto da verificare cioè deve essere cogenerazione vera ai sensi della normativa. Il GSE intende cogenerazione se c'è un vero recupero di calore per usi civili al di fuori dell'impianto di produzione.*

Novità del decreto di quest'estate nella legge finanziaria è comparsa una nuova sigla : non più VIA (denuncia inizio attività), ma **SCIA** (Segnalazione Certificata di Inizio Attività) per gli impianti che possono seguire tale strada semplificata. Devo poi allegare tutta una serie di autodichiarazioni. A differenza di prima è che con la VIA dovevo aspettare 30 giorni prima di iniziare l'attività, con la SCIA posso iniziare il giorno stesso in cui presento la pratica; poi l'Autorità competente entro 60 gg, se accerta delle carenze, può fermare tutto o dare dei tempi di adeguamento. Trascorsi tali 60 gg più i tempi di adeguamento se concessi, il fermo può avvenire solo in caso di accertato danno grave alla salute e all'ambiente e per il territorio e paesaggio. Quindi è dato ancora più peso al professionista che firma le pratiche presentate.

Sono inoltre uscite le linee guida di applicazione del 387 per chiarire tutti gli aspetti per la localizzazione degli impianti alimentati da fonte rinnovabile (stabilire però soprattutto le zone non idonee alla localizzazione dei parchi eolici, ecc). Gli impianti a fonte rinnovabile e le infrastrutture correlate sono considerati di pubblica utilità, quindi per la localizzazione degli impianti si può dar luogo ad attività d'esproprio.

Importanti sono che anche le opere di connessione alla rete elettrica (allaccio all'Enel sempre più semplice).

Viene ribadito il concetto della **possibilità di seguire la procedura semplificata per le taglie fino a 250 kW e fino a 1 MW per gli impianti operanti in assetto cogenerativo.**

Nelle linee guida è espressamente scritto il principio che : qualora sia necessario per l'impianto in oggetto acquisire autorizzazioni ambientali, paesaggistiche, di tutela del patrimonio queste devono essere acquisite e allegate alla denuncia di inizio attività. E' importante capire di quali autorizzazioni ho bisogno perché se poi ho bisogno dell'autorizzazione alle emissioni conviene scegliere la procedura unica ai sensi del 387.

Da un lato l'autorità competente se siamo nella soglia di SCIA non può imporre il procedimento unico, viceversa all'utente è lasciata la facoltà di scegliere e quindi può fare lo stesso il procedimento unico anche se potrebbe fare la strada della SCIA. Nei casi più semplice come l'allevamento bovino di grossa taglia che si costruisce l'impianto per trattare i propri effluenti zootecnici con matrici proprie dedicate sceglie la strada del SCIA perché non ha bisogno di autorizzazioni alle emissioni perché sotto la taglia del MW, l'allaccio alla rete è comodo, ecc e quindi la SCIA è comoda evitando un procedimento lungo, costoso.

Una cosa importante :

Non dobbiamo avere biomasse classificabili come rifiuti in ingresso (se ritiriamo scarti industriali seguire la strada del sottoprodotto) e si deve fare un uso agronomico del digestato, perché si deve dimostrare la chiusura del cerchio. Digestato che ne risulta è materiale che uso per coltivare il terreno, fertilizzandolo, terreno che mi da i foraggi e insilati di mais con cui alimento il bestiame e il digestore (fino a ieri liquame era rifiuto). Anche gli sfalci del verde urbano possono diventare sottoprodotti (la classificazione come sottoprodotto non è facile) e possono esserlo se destinati alla produzione di calore, biogas o energia. Per gli scarti del verde pubblico, però, non è facile considerarli sottoprodotto! smaltimento illecito di rifiuti si va incontro. Per il digestato, è in fase avanzata di stesura la modifica del decreto 7/4/2004 che regola l'uso agronomico degli effluenti zootecnici in modo che il digestato ha dei propri criteri di utilizzo. Se non adiamo nell'uso agronomico è un impianto di trattamento rifiuti → produzione fertilizzanti o discarica.

Il passaggio da frazione solida (digestato) a fertilizzante è possibile, ma bisogna verificare il possesso dei requisiti previsti per l'ammendante compostato; se si parte da deiezioni zootecniche la frazione solida derivante da soli liquami bovini ci potrebbe essere la strada dei concimi organici.

Con tali impianti il beneficio per l'ambiente complessivo è immenso per le emissioni, produco energia elettrica a costo zero, valorizzo degli scarti .

**E' quindi una filiera veramente sostenibile! Filiera biogas è importante!**

Le altre filiere hanno problemi di reperimento della biomassa (300-400 ettari di pioppo rischiano si di affamare il mondo!).

Gli incentivi concessi a tali impianti sono orientati sia alla spinta verso la produzione di energia da fonti rinnovabili, sia alla valorizzazione delle risorse locali. In tal modo si applica, parallelamente, una efficace diversificazione delle fonti energetiche e delle attività agricole

#### **2.14.2. Sistemi di incentivazione**

L'incentivo riguarda l'energia elettrica prodotta da impianti alimentati da biomasse e biogas di origine:

- o Agricola
- o Forestale
- o Zootecnica

ottenute nell'ambito di intese di filiera o contratti quadro o provenienti da filiere corte, ossia prodotte entro un raggio di 70 km dall'impianto che le utilizza.

Sono ammessi agli incentivi anche ai cosiddetti impianti ibridi, che utilizzano cioè sia biomassa sia altri tipi di combustibili; l'incentivo verrà erogato solamente per la quota parte di energia prodotta da biomassa.

Sono previsti differenti regimi di incentivo, a seconda della potenza elettrica dell'impianto :

### **Impianti con potenza < 1 MWe**

È possibile scegliere il regime di incentivazione tra:

- ▶ Conto energia  
entità 0,3 euro/kWh prodotto  
durata 15 anni
- ▶ Certificati Verdi

### **Impianti con potenza > 1 MWe**

- ▶ Certificati Verdi
- ▶ Tariffa unica omnicomprensiva

### **1 Certifica Verde corrisponde a 1 MWh elettrico!**

Gli incentivi riportati potranno essere aggiornati ogni 3 anni con decreto del Ministro dello sviluppo economico di concerto con il Ministro delle politiche agricole alimentari e forestali.

È ammessa la cumulabilità con altri incentivi pubblici di natura nazionale, regionale, locale o comunitaria in conto capitale o in conto interessi, purché non eccedenti il 40 % del costo totale dell'investimento.

Con successivo decreto del Ministro delle politiche agricole alimentari e forestali di concerto con il Ministro dello sviluppo economico, verranno individuate le modalità con le quali i produttori e distributori di biomassa e biogas sono tenuti a garantire la tracciabilità e rintracciabilità della filiera, pena l'esclusione dal sistema di incentivi.

In caso di sostituzione, in data successiva all'autorizzazione, del combustibile ammesso ai presenti incentivi con altre biomasse di origine agricola, è possibile comunque beneficiare delle diverse e specifiche forme di incentivazione eventualmente previste per tali combustibili.

Per quanto riguarda gli incentivi per gli impianti, sono previsti due principali meccanismi alternativi a seconda della potenza nominale media annua caratteristica dell'impianto :

- 1) Per gli impianti con una produzione annua superiore a 1 MW (legge finanziaria 2008) è previsto il rilascio dei cosiddetti **Certificati Verdi**. Un impianto qualificato a fonti rinnovabili riceve un numero di certificati verdi proporzionale alla produzione di MW annui, secondo coefficienti moltiplicativi variabili in base alla fonte rinnovabile utilizzata. La vendita di certificati verdi da luogo, annualmente, ad introiti in denaro.

Tali certificati sono emessi dal GSE (Gestore Servizi Elettrici) ed hanno una durata di 15 anni. Il mercato dei certificati verdi consiste nella compra/vendita e contrattazione di crediti tra chi produce energia da fonti rinnovabili ed il GSE.

I CV possono essere richiesti : a consuntivo (in base all'energia netta effettivamente prodotta dall'impianto nell'anno precedente rispetto a quello di emissione); a preventivo (in base alla producibilità netta attesa dell'impianto).

Tale tariffa si distingue in :

- Il coefficiente di tali certificati per l'energia elettrica prodotta da impianti alimentati da rifiuti biodegradabili e biomasse diverse da quelle agricole da filiera equivale a 1,3;
- Per gli impianti a biomasse e biogas prodotti da attività agricola, allevamento, forestale da filiera corta entrati in esercizio al 31 dicembre 2007 e di potenza nominale media annua superiore a 1 MW, il coefficiente di conversione è pari a 1,8. Sopra il MW, quindi, fare biogas da rifiuti o da biomasse agricoli e agroindustriali è diverso perché il coefficiente di moltiplicazione del certificato verde di incentivazione è 1,8 (altrimenti è 1,3). Per godere di questa maggior incentivazione si deve dimostrare, però, di produrre biogas da biomasse agricole da filiera corta (il limite sono 70 km dal confine del comune).

2) Per gli impianti di taglia inferiore a 1 MW entrati in esercizio dopo il 31/12/2007 e su richiesta del produttore, la produzione di energia elettrica può essere remunerata da una **Tariffa Fissa Omnicomprensiva** che prevede un unico prezzo fisso che comprende sia la parte incentivante sia il ricavo della vendita dell'energia. Si tratta di un incentivo monetario (non cumulabile ai certificati verdi) che viene concesso per l'energia elettrica netta immessa in rete, grazie alla stipula di convenzioni tra produttori e GSE. Viene erogata per un periodo di 15 anni.

Tale tariffa si distingue in :

- 0,28 euro/kWh per gli impianti di taglia non superiore a 1 MW elettrico alimentati a biogas e biomasse, prescindendo dalla vicinanza tra luogo di produzione e impianto;
- 0,18 euro/kWh per gli impianti di taglia non superiore a 1 MW elettrico alimentati da biocombustibili liquidi, gas di discarica e gas residuati da processi di depurazione.

# Capitolo 3 - Casi studio

## 3.1 COGENERAZIONE

Definizione : **produzione combinata in un unico processo di energia elettrica, meccanica e di calore.**

La produzione però meccanica, elettrica e calore non si realizza nella pratica in Italia, ma è solo produzione di elettricità e calore (l'energia meccanica sarebbe l'equivalente dell'energia elettrica come qualità, ma nessuno riesce a misurarla tale energia). Quindi abbiamo elettricità e calore in un unico processo con un unico motore primo che ha alla base l'utilizzo di un combustibile.

La maggioranza di impianti cogenerativi usano combustibile fossile (in primis metano, poi GPL e derivati petrolio), però qualsiasi combustibile può essere utilizzato per la cogenerazione.

Per l'elettricità, la qualità energetica ed economica cambia e dipende da :

- Elettricità auto consumata (si usa l'elettricità all'interno della struttura dove la produce), è la più redditizia
- Elettricità immessa (elettricità che ha la proprietà di essere trasportata, ed è immessa in rete cioè mandata altrove nelle dorsali di M/A/B tensione)
- Il livello di tensione a cui è prodotta (in Italia ci sono 3 livelli di tensione A/M/B e a seconda del livello a cui si produce tale energia ha un costo diverso, la più valorizzata è in bassa tensione)

Per il calore, esso ha tante facce e si differenzia per i livelli di temperatura, cambia in base a :

- Livello di temperatura
- Forma fisica (acqua calda o vapore surriscaldato)
- Uso che se ne fa (calore per uso industriale o civile)

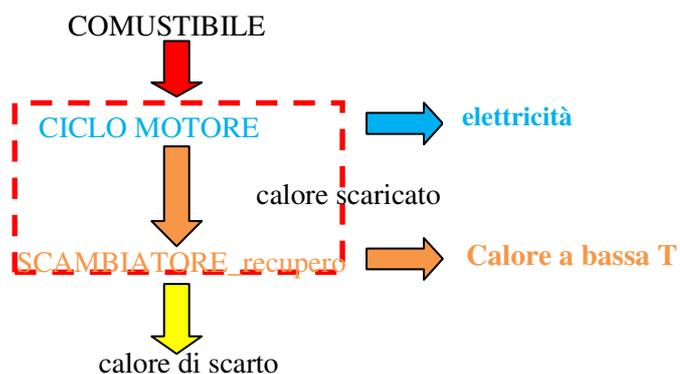
Produzione di freddo dal calore che può essere usato per produrre freddo, non usato tal quale, nei gruppi frigoriferi ad assorbimento (tecnologia per aumentare l'offerta di un sistema cogenerativo e prende il nome di **trigenerazione**).

Altro aspetto importante da considerare è lo scarto : tutti i processi termodinamici arrivano a un livello di temperatura di calore per cui ho del calore di scarto (**perdita termodinamica** è sempre presente).

Una distinzione di impianto è :

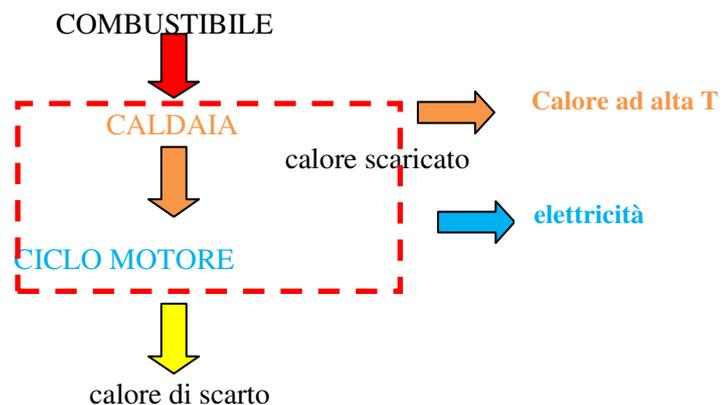
- 1) Cogenerazione Topping : un motore primo che ha un processo di combustione dedicato principalmente a produrre elettricità e che poi ha uno scarto di calore che è sui 100 gradi; recuperare tale scarto per produrre calore fa diventare il sistema motore un sistema cogenerativo.

Il sistema è detto topping perché la parte principale di maggiore qualità del processo di combustione è dedicata alla produzione di elettricità e lo scarto di calore attraverso uno scambiatore ci permette di recuperare calore a bassa temperatura



- 2) Cogenerazione Bottoming : prevede invece un primo utilizzo del calore ad alta temperatura per un processo industriale come l'altoforno.

Richiede calore ad alta temperatura e i fumi, cioè i prodotti di combustione che non sono più idonei per un processo, possono essere riutilizzati per produrre in un motore primo una parte di elettricità



Un impianto cogenerativo è un sistema che come un motore che produce energia meccanica trasmessa alle ruote, quando in inverno abbiamo freddo l'aria presa dall'esterno è fatta passare sul motore e si scalda; lo scarto del calore sono i fumi caldi che escono dal tubo di scappamento.

Si può quindi pensare a una **cogenerazione di tipo civile, cioè il teleriscaldamento (taglia medio-piccola)**;

E' sempre un sistema che utilizza un combustibile per avere un sottoprodotto da utilizzare.

La prima è una tipologia di impianto che utilizza un MCI, turbine a gas e predilige la produzione di elettricità e produce calore a bassa temperatura; la seconda ha rendimenti e prestazioni elettriche molto basse, ma parte dall'idea di recuperare quello che altrimenti andrebbe perso.

Le prestazioni termiche ed elettriche sono collegate alla tipologia di impianto.

### **Teleriscaldamento**

Per cogenerazione futura si pensa più che altro agli impianti piccoli, cioè sotto al MW elettrico (micro-generazione).

Generazione distribuita : insieme di impianti di generazione di potenza nominale < 10 MVA.

Impianto piccola/micro generazione : impianto per la produzione di energia elettrica, anche cogenerativo, con capacità di generazione non superiore a 1 MW elettrico (micro – cogenerazione sotto i 50 kW elettrici).

I grandi impianti sono già stati fatti (quelli abitativi avrebbero caldaie da 30 kW elettrici), si vuole quindi arrivare al dettaglio di una singola abitazione.

Sostituire la caldaia con un cogeneratore (ora con la caldaia dipendiamo dalla rete elettrica nazionale) e usare il gas come combustibile per alimentare un cogeneratore che produce energia elettrica che ci serve e calore necessario, e magari anche vendere l'elettricità anche se vale poco (al massimo tenere quindi l'elettricità in casa per usarla in una pompa di calore che aumenta la produzione termica sottraendo parte di quella elettrica; poi visto che è utile anche per fare freddo usarla per un frigo ad assorbimento e usando calore con temperatura > 90 gradi esce freddo). Anche con un frigorifero a compressore come gli split alimentato con energia elettrica prodotta dal proprio cogeneratore e non prelevarla più dalla rete.

Attorno a un cogeneratore (è semplice, è un motore a combustione interna) si può costruire un sistema per fare in modo che ci sia tra richiesta e produzione un matching (produzione e fabbisogno si sposino). Usare energia elettrica quando non ci serve e ci serve calore invece, e viceversa.

#### Svantaggi teleriscaldamento

Problema è di iter autorizzativi : un impianto così piccolo non dovrebbe sottostare alle stesse regole di un impianto di centinaia di MW (dal 2004); aspetto economico è il costo della tecnologia; poi conciliare la domanda elettrica, termica, frigorifera di dove si va a installare il sistema con la tipologia di impianto; impatto sul sistema elettrico anche; aspetto ambientale perché si sostituisce la caldaia ma è sempre un sistema di combustione.

#### Vantaggi teleriscaldamento

Qualità di approvvigionamento elettrico (avere tanti impianti di cogenerazione sul territorio è una alternativa alla grossa centrale che ha bisogno di grosse infrastrutture, le grosse centrali se hanno dei problemi con una grossa infrastruttura manca istantaneamente la produzione di energia elettrica e rischio black out!); capillarizzazione della produzione di elettricità; sfruttamento di siti rinnovabili (combustibile come biomassa a filiera corta a non più di 70 km significa piccoli impianti e la tecnologia è costosa e ha bisogno di sfruttare il calore anche).

Si pensa anche di **trasportare il calore a distanza** perché le aziende agricole producono calore ma per autoconsumo o scaldare le stalle e basta, e il modo più semplice per trasportare calore è con olio diatermico a 200-300 gradi con autobotti.

**La cogenerazione CAR** cioè Cogenerazione ad Alto Rendimento.

Dal 2002 la normativa è cambiata a seguito della liberalizzazione del mercato elettrico (prima c'erano i CIP 6) attraverso la legge 42/02 che è in vigore fino al 31/12/2010. Perché nel 2007 col decreto 20/2007 lo stato italiano ha recepito la direttiva europea e ne ha posticipato l'entrata in vigore al 1/1/2011.

La normativa a un impianto per essere CAR chiede :

- 1) Risparmio di combustibile (ci sono degli indici)
- 2) Soddisfare una richiesta di calore utile (calore utile cioè un impianto cogenerativo deve nascere soprattutto a favore di un servizio termico significativo, perché in passato era opposto col CIP 6 che con impianti a fronte di un piccolissimo fabbisogno termico ci si costruiva attorno una mega centrale e poi si faceva un po' di acqua calda e gran elettricità. Oggi invece l'impianto deve essere in primis termico e se avanza qualcosa elettrico).

I criteri che caratterizzano la cogenerazione ad alto rendimento :

- ▶ nel caso si tratta di unità di piccola cogenerazione (capacità installata inferiore a 1 MWe) e di micro-cogenerazione (capacità massima inferiore ai 50 kWe) è sufficiente che tali sistemi forniscano un risparmio di energia primaria rispetto alla produzione separata;
- ▶ negli altri casi è necessario che il sistema cogenerativo garantisca un risparmio di energia primaria pari almeno al 10% rispetto ai valori di riferimento per la produzione separata di elettricità e calore

Benefici di avere CAR :

La priorità di **dispacciamento**, cioè un impianto cogenerativo può immettersi in rete senza sottostare ai meccanismi di borse (per produrre energia elettrica c'è un mercato dell'energia elettrica, non è in tempo reale ma per il giorno dopo : se l'offerta non è buona non si produce quel giorno. Non sono soldi ma un vantaggio di poter vendere e di lavorare); defiscalizzazione da acquisto del combustibile (il combustibile per un impianto non paga la cisa sul gas del riscaldamento, quindi risparmiando su questa tassa abbiamo il costo che è la metà); scambio sul posto che consente di usare la rete elettrica come un serbatoio di accumulo di elettricità (è un sistema incentivante), cioè quando l'energia elettrica non serve per l'autoconsumo la immettiamo in rete e la preleviamo solo quando serve (però solo per impianti fino a 200 kW); titoli di efficienza energetica TEE (certificati bianchi) perché alla cogenerazione è riconosciuto un risparmio energetico negli usi finali di energia termica ed elettrica.

Con il termine **cogenerazione, come abbiamo visto**, si intende *la produzione congiunta e in contemporanea di energia elettrica e calore partendo dalla stessa fonte.*

Utilizzando un unico combustibile per produrre due energie differenti riesce a garantire un processo più efficiente per la produzione dell'energia ed un consumo più razionale della fonte, ottenendo un consistente **risparmio energetico**.

La cogenerazione dunque offre un indubbio vantaggio dal punto di vista economico consentendo di ottenere un risparmio che può andare dal 20 al 40%. Un **impianto di cogenerazione** inoltre consente di aumentare la **sicurezza della fornitura** elettrica prevenendo eventuali interruzioni o cali di tensione. La cogenerazione è, dunque, una tecnologia che consente di incrementare **l'efficienza energetica** complessiva di un sistema di conversione di energia.

Gran parte dell'energia elettrica generata in Italia e nel mondo proviene da impianti con motori termici, nei quali calore ad alta temperatura viene prima convertito in energia meccanica e quindi in energia elettrica per mezzo di generatori elettrici. Il calore proviene, nel caso delle centrali nucleari da reazioni di fissione (impianti termonucleari) e nel caso delle centrali termoelettriche dalla combustione del combustibile immesso (carbone, gas naturale, frazioni del petrolio, biomasse etc). La conversione da calore ad energia meccanica, che è la trasformazione più complessa, avviene sfruttando un ciclo termodinamico. Esistono parecchi cicli termodinamici.

Non tutto il calore fornito può essere trasformato in lavoro; il limite massimo teorico della quota di calore effettivamente convertibile in lavoro è fissato dal rendimento. Il **coefficiente di rendimento** è caratteristico per ogni tipo di motore e *rappresenta il rapporto tra la resa energetica che ne deriva ed il combustibile introdotto.*

I grandi motori termoelettrici hanno un'efficienza elevata e il coefficiente di rendimento è discretamente alto ( può raggiungere un 55%). Ma il medesimo motore quando produce in cogenerazione presenta coefficienti che raggiungono l'85%, perché il potere calorifero del combustibile è utilizzato al meglio (**si recupera**, infatti, il **calore** derivante dalla produzione di elettricità e quindi non viene scartato come negli impianti a produzione separata). Naturalmente gli investimenti per adattare i motori sono notevoli.

Nella piccola/media cogenerazione l'energia termica è un prodotto secondario, mentre la micro-cogenerazione è diretta principalmente alla produzione di calore e secondariamente di energia elettrica.

L'impianto viene alimentato con un certo quantitativo combustibile a cui corrisponde una energia chimica  $E_c$  (è l'energia che si libera durante il processo di combustione).

L'impianto, attraverso una serie di trasformazioni, fornisce l'energia elettrica  $E_{el}$ .

Il rendimento globale di conversione dell'impianto ( $\eta_g$ ) misura quanta dell'energia fornita dal combustibile è effettivamente trasformata in energia elettrica:

$$\eta_g = E_{el} / E_c$$

Un valore indicativo di  $\eta_g$  è 0.35: ciò significa che solo il 35% dell'energia introdotta nell' impianto motore termico è effettivamente convertito in energia elettrica; mentre il restante 65% dell'energia viene di fatto perduta. La maggior parte di questa quota di energia non sfruttata viene persa sotto forma del calore  $Q_2$  scaricato dal ciclo termodinamico. Il calore  $Q_2$  ceduto dall'impianto vale circa il 55% dell'energia introdotta, mentre il restante 10% rappresenta altre perdite di vario genere ( $EP$ ).

E' da sottolineare l'importanza di questa quota di calore che è scaricato nell'ambiente da parte di una centrale.

La cogenerazione nasce, dunque, dal tentativo di **recuperare in maniera utile tutto o parte di questo calore  $Q_2$**  che deve **necessariamente** essere **scaricato da un impianto con motore termico**. Tale calore in certi casi può essere utilizzato utilmente nell'industria, ad esempio sotto forma di vapore, oppure può essere destinato ad usi civili, come per il riscaldamento degli edifici. Qualora l'impianto abbia tali caratteristiche si parla di **produzione combinata di energia elettrica e calore** (o, semplicemente, produzione combinata). Gli impianti di produzione combinata, dunque, convertono energia primaria, di una qualsiasi fonte (solitamente l'energia primaria è quella di un combustibile), in energia elettrica ed in energia termica (calore), prodotte congiuntamente ed entrambe considerate utili. La produzione combinata di energia elettrica e calore in uno stesso impianto prende quindi il nome di cogenerazione ed è spesso indicata con l'acronimo inglese **CHP** (Combined Heat and Power).

In generale un sistema cogenerativo è costituito da un impianto motore primo, da un generatore elettrico che, mosso dall'impianto motore, è in grado di produrre elettricità, e da recuperatori di calore (scambiatori).

**Gli impianti di cogenerazione** sono formati da *un motore primario, un generatore, un sistema che consente il recupero termico* e delle interconnessioni elettriche.

Il *motore primario* ha la funzione di convertire il combustibile in energia meccanica; il *generatore* converte quest'ultima in energia elettrica; il *sistema di recupero termico* raccoglie e converte l'energia, negli scarichi del motore primario, in energia termica utilizzabile per il riscaldamento.

Per quanto riguarda i **motori primi**, le tecnologie di base ad oggi maggiormente impiegate sono:

- impianti turbogas (utilizzati con recupero di calore direttamente dai gas di scarico);
- impianti a vapore (possono essere a contropressione, se il calore è recuperato dal vapore scaricato dalla turbina, o a spillamento, se il calore è ottenuto da vapore estratto in uno stadio intermedio della turbina);
- motori alternativi a combustione interna (ciclo Diesel o ciclo Otto; in entrambi i casi il calore viene principalmente dai gas di scarico e dal liquido di raffreddamento del corpo motore).

Alle precedenti è possibile tuttavia aggiungere alcune tecnologie innovative, o comunque oggi ancora non pienamente affermate a livello commerciale, quali:

- Microturbine;
- Motori Stirling;
- Celle a combustibile.

Per recuperare il calore in uscita dall'impianto, altrimenti perduto, si utilizzano *diversi scambiatori di calore*: un primo scambiatore che permette il raffreddamento dell'olio lubrificante che è disponibile a bassa temperatura (non oltre gli 80 °C); un altro scambiatore per il raffreddamento dell'acqua destinata a refrigerare il motore stesso; ed infine un ultimo scambiatore posto allo scarico del motore che permette di innalzare di molto la temperatura del fluido di scambio termico, generalmente acqua, che può arrivare allo stato di vapore surriscaldato.

A parte il costo degli scambiatori, questo non costituisce una complicazione eccessiva di impianto perché tali motori hanno bisogno per funzionare comunque di un sistema di raffreddamento altrimenti si rischia il surriscaldamento del motore stesso.

La **cogenerazione** consente di raggiungere un livello di efficienza di utilizzo del combustibile oltre l'80%, riuscendo anche a **contenere** notevolmente **le emissioni di gas serra** rispetto alla produzione separata di elettricità e calore.

La **normativa** vigente in Italia stabilisce che un impianto di produzione combinata può essere considerato impianto di cogenerazione soltanto se soddisfa determinati criteri stabiliti dall' Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas (**AEEG**), introdotti al fine di garantire che la produzione combinata di energia elettrica e calore porti ad un **effettivo risparmio di energia primaria** e che non sia troppo sbilanciata verso la produzione di sola energia elettrica.

Per un impianto cogenerativo è possibile definire una serie di **indici prestazionali** che danno informazioni oggettive circa la qualità dell'impianto e la sua capacità di sfruttamento dell'energia primaria introdotta (combustibile) :

Il *rendimento elettrico di cogenerazione*  $\eta_{el}$  indica quanta dell'energia del combustibile è effettivamente convertita in energia elettrica:

$$\eta_{el} = E_{el} / E_c$$

Il *rendimento termico di cogenerazione*  $\eta_t$  indica quanta dell'energia del combustibile è convertita in energia termica utile:

$$\eta_t = Q_r / E_c$$

L' *Energy Utilization Factor (EUF)* indica quanta dell'energia del combustibile, è effettivamente sfruttata in forma elettrica o termica :

$$EUF = E_{el} + Q_r / E_c = \eta_{el} + \eta_t$$

E' possibile infine definire il *rapporto di cogenerazione y* come il rapporto tra l'energia elettrica e l'energia termica utile messa a disposizione dall'impianto

$$y = E_{el} / Q_r$$

La cogenerazione può dunque notevolmente incrementare **l'efficienza nell'utilizzo dei combustibili fossili** consentendo da un lato di ridurre i costi della bolletta energetica, e dall'altro di determinare **minori emissioni di sostanze inquinanti e di gas ad effetto serra**.

Non va dimenticato infatti che ridurre l'utilizzo di combustibili fossili è un obiettivo prioritario per lo sviluppo sostenibile. Il processo di combustione che si realizza nelle centrali termoelettriche e nelle caldaie determina sempre emissioni di sostanze inquinanti gassose (ossidi di azoto, ossidi di zolfo, monossido di carbonio, idrocarburi etc.) e non gassosi (particolato). Tra le altre emissioni di un combustibile fossile (come carbone, derivati del petrolio, gas naturale etc.) vi è anche il rilascio di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) che contribuisce in maniera determinante all'effetto serra. Riduzioni nell'utilizzo di combustibili fossili possono essere ottenute da un lato ricorrendo a sistemi capaci di sfruttare fonti rinnovabili di energia, dall'altro incrementando l'efficienza dei sistemi di utilizzazione e di generazione dell'energia. Tra questi interventi si inserisce certamente anche il ricorso alla cogenerazione.

Il Parlamento Europeo ha riconosciuto la cogenerazione come una tecnologia tra quelle necessarie per soddisfare il raggiungimento degli obiettivi del **Protocollo di Kyoto** e ha pertanto incluso tra le proprie priorità la **diffusione progressiva della produzione combinata** di energia elettrica e calore.

Gli impianti di cogenerazione sorgono di solito **in prossimità di utilizzatori termici**, in quanto, a causa delle elevate perdite di trasmissione, non risulta tecnicamente semplice né economicamente conveniente trasmettere il calore a grandi distanze.

In genere se il calore è prodotto a temperatura relativamente bassa, questo viene utilizzato in ambito civile, come per il riscaldamento di ambienti o il teleriscaldamento urbano; in questo caso il fluido termovettore è quasi sempre acqua, a temperature comprese tra 80 e 120°C. Se il calore prodotto è a temperatura elevata, il fluido, che può essere in questo caso vapore in pressione, viene utilizzato nei processi produttivi.

Rispetto alle centrali elettriche, la cogenerazione ha **natura distribuita** e si realizza mediante piccoli impianti. In breve si tratta di **mini-impianti** in grado di generare calore ed elettricità per grandi strutture (es. ospedali, alberghi ecc.) o piccoli centri urbani. La combustione nelle piccole centrali a cogenerazione raggiunge risparmi fino al 40% nell'utilizzo delle fonti primarie di energia.

Le grandi centrali termoelettriche utilizzano il carbone o il petrolio per generare calore, la loro combustione è a rendimenti molto bassi, a cui si aggiungono le perdite di energie causate dalla distribuzione dell'energia elettrica dal punto di produzione al punto di consumo. Nel caso della cogenerazione, invece, il **punto di produzione dell'energia è situato nei pressi della zona di consumo**.

Va detto che la combustione nella cogenerazione non elimina le conseguenze inquinanti. Di fatto, l'impianto a cogenerazione brucia anche derivati delle fonti primarie fossili come una qualsiasi centrale elettrica producendo emissioni di monossido di carbonio, di ossidi di azoto e di particolato. L'aspetto inquinante può comunque essere ridotto mediante **l'uso di biocombustibili**.

In sintesi, la combustione nella cogenerazione consente **tre vantaggi**: minore spreco nella distribuzione dell'energia elettrica; produzione congiunta di riscaldamento ed elettricità; maggiore rendimento della combustione.

Visto che è difficile quantificare la bontà di un impianto cogenerativo, la normativa cosa fa?

#### **Confronto un impianto cogenerativo rispetto a una produzione separata.**

Rappresenta un risparmio di combustibile se, rispetto al produrre calore con una caldaia e al produrre calore con i grossi impianti elettrici, ho un significativo risparmio di combustibile, cioè **a parità di prodotto di energia elettrica e termica ho consumato meno combustibile**. Dipende dal termine di paragone.

Quindi la normativa fissa i rendimenti di confronto della centrale elettrica della caldaia. I rendimenti sono dal 2011 più restrittivi perché i rendimenti di confronto con cui giudicare la bontà di un impianto cogenerativo sono più alti, cioè l'alternativa alla cogenerazione con cui valuto il risparmio energetico è un'alternativa più valida (implica gestire un impianto sempre di più al meglio!).

La condizione dal 2011 è di avere un coefficiente di utilizzo del combustibile > del 80%, cioè la somma della produzione termica ed elettrica rapportata al consumo di combustibile deve essere almeno 80%.

La cogenerazione consente un significativo **risparmio di energia primaria** rispetto alla produzione separata di energia elettrica e calore. Con un sistema di produzione separata (**SHP**, *Separated Heat and Power*) tale richiesta è assai superiore. In questo caso è infatti necessario fare funzionare una centrale termoelettrica per produrre l'elettricità, **dissipando il calore** da questa prodotto, ed è inoltre necessario ricorrere ad una caldaia per soddisfare la richiesta termica dell'utenza. Nel caso dunque di sistema SHP l'energia primaria richiesta è evidentemente superiore a quella necessaria per soddisfare lo stesso fabbisogno di energia elettrica e termica con un impianto cogenerativo.

Il risparmio di energia primaria può essere calcolato secondo **una formula** in cui inserire alcuni **indici di prestazione del sistema cogenerativo** in esame ed **indici di riferimento circa la produzione separata** di elettricità e calore. La formula per il calcolo di **PES** (*Primary Energy Saving*).

Ciascun Paese Membro inserirà i propri indici di riferimento per i valori in relazione alle caratteristiche medie degli impianti presenti sul territorio nazionale. Anche gli impianti di cogenerazione già esistenti partecipano al raggiungimento degli obiettivi energetici; ad essi però si richiedono prestazioni inferiori garantendo un risparmio di energia primaria pari ad almeno il 5%, anziché del 10% come per i nuovi.

PES risparmio di energia primaria;

$\eta_{t,CHP}$  rendimento termico della produzione mediante cogenerazione,

$\eta_{t,SHP}$  rendimento termico di riferimento della produzione separata;

$\eta_{el,CHP}$  rendimento elettrico della produzione mediante cogenerazione,

$\eta_{el,SHP}$  valore di rendimento di riferimento per la produzione separata di elettricità

$$PES = 1 - 1 / (\eta_{t,CHP} / \eta_{t,SHP} + \eta_{el,CHP} / \eta_{el,SHP})$$

La cogenerazione è definita come “*un processo integrato di produzione combinata di energia elettrica o meccanica, e di energia termica, entrambe intese come energie utili, realizzato dalla sezione di un impianto di produzione combinata di energia elettrica e calore, che, a partire da una qualsivoglia combinazione di fonti primarie di energia, e con riferimento a ciascun anno solare, soddisfa entrambe le condizioni concernenti il risparmio di energia primaria e il limite termico*”.

Queste condizioni sono espresse tramite l'indice **IRE** (*Indice di Risparmio Energetico*).

L'indice *IRE*, equivalente all'indice *PES*, confronta il consumo dell'impianto cogenerativo con quello che si avrebbe producendo la stessa energia termica ed elettrica in sistemi convenzionali di produzione separata.

Un nuovo impianto di cogenerazione può essere qualificato come tale solo se l'*IRE* è superiore al 10%; come per il *PES* i valori di riferimento dei rendimenti di impianti di generazione separata sono forniti dall'AEEG in apposite tabelle, anche in funzione del combustibile impiegato.

Vi sono poi comunque altri metodi come La caldaia evitata, Ecabert e IRA utilizzati dal software messo a punto da Arpa di Bologna (i cui risultati saranno esposti fra qualche paragrafo della presente tesi).

La realizzazione e l'esercizio di un impianto per la produzione di energia elettrica è soggetta alle seguenti prescrizioni normative:

- l'autorizzazione di nuovi impianti e l'ampliamento di quelli esistenti deve essere coerente con il programma energetico regionale;
- occorre verificare se l'impianto è soggetto a Valutazione di Impatto Ambientale (VIA);
- le centrali termoelettriche con potenza termica di combustione superiore ai 50 MW e le relative modifiche sostanziali, siano autorizzate secondo i criteri dell'Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA). Analoga procedura è prevista per gli impianti che producono energia elettrica mediante incenerimento dei rifiuti urbani, se hanno una capacità di smaltimento superiore alle 3 t all'ora.

I principali **vantaggi** legati all'utilizzo di un **impianto cogenerativo** in luogo di un sistema per la generazione separata di calore ed energia elettrica:

1. *Minor consumo di energia primaria grazie alla maggior efficienza del sistema:* con impianti cogenerativi è possibile raggiungere indici EUF anche superiori a 0.8 (ovvero si riesce a sfruttare utilmente oltre l'80% dell'energia messa a disposizione dell'impianto), con conseguente minor consumo di combustibile a parità di servizio reso.

2. *Minori emissioni in atmosfera di gas climalteranti ed altre sostanze inquinanti:* la migliore efficienza complessiva dei sistemi cogenerativi consente una riduzione nel consumo di combustibili e di conseguenza minori emissioni in atmosfera di gas climalteranti quali ad esempio la CO<sub>2</sub> e di altre sostanze inquinanti che risultano dai processi di combustione.

3. *Riduzione delle perdite per trasmissione:* l'applicazione della cogenerazione, essendo l'impianto di norma localizzato vicino all'utente finale, rende minime le perdite per la distribuzione e il trasporto dell'energia.

4. *Possibilità di diminuire i rischi di interruzione del servizio:* i sistemi cogenerativi, in grado di funzionare anche in modalità "Stand Alone", consentono di ridurre al minimo i rischi di interruzione dell'alimentazione dell'energia per disservizi di rete, condizione di importanza fondamentale in tutti quei contesti in cui sia importante la continuità dell'approvvigionamento dell'energia elettrica.

E' bene comunque sottolineare anche i principali **limiti** di cui tenere conto nella valutazione di un **impianto cogenerativo**. Il principio della cogenerazione talvolta non può essere applicato in maniera energeticamente ed economicamente conveniente, se non sono soddisfatte le seguente condizioni:

1. *Presenza e vicinanza dell'utenza termica:* è necessario che nelle vicinanze di questo sia presente una utenza termica, industriale o civile. Tale necessità di fatto si scontra con la tendenza di collocare in luoghi distanti dai centri urbani o di lavoro gli impianti termoelettrici per la generazione di energia, al fine di limitare l'esposizione della popolazione alle emissioni in atmosfera. L'esigenza dunque di avvicinare ai luoghi frequentati gli impianti di cogenerazione, al fine di non estendere troppo le reti di distribuzione del calore, richiede pertanto che gli impianti cogenerativi siano di taglia limitata e dotati di sistemi di abbattimento degli inquinanti emessi allo scarico assai efficienti.

2. *Contemporaneità delle utenze:* un'altra condizione perché un impianto cogenerativo possa essere sfruttato in maniera opportuna è che la richiesta di energia termica ed elettrica siano contemporanee.

Un impianto di cogenerazione è in grado di mettere a disposizione calore ed energia elettrica simultaneamente, pertanto è necessario che le utenze simultaneamente assorbano tale energia. Per questa ragione spesso gli impianti cogenerativi sono allacciati alla rete elettrica nazionale cedendo a questa l'energia elettrica prodotta in eccedenza e l'impianto viene fatto operare assecondando le richieste di energia termica delle utenze. Qualora poi l'impianto cogenerativo dovesse risultare insufficiente per soddisfare interamente le richieste termiche dell'utenza (carico di punta) un sistema termico ausiliario potrebbe essere introdotto

3. *Compatibilità delle temperature:* non tutti gli impianti cogenerativi rendono disponibile calore alla medesima temperatura. Può accadere dunque che un sistema cogenerativo non sia adatto a servire una utenza termica perché questa richiede calore a livelli di temperature troppo elevate. È necessario pertanto scegliere correttamente il sistema cogenerativo da accoppiare ad una certa utenza oppure introdurre modifiche all'impianto stesso tali da innalzare la temperatura del calore messo a disposizione.

4. *Flessibilità dell'impianto:* pur essendo presenti in maniera contemporanea la domanda di calore ed energia elettrica da parte di una utenza, talvolta il rapporto tra l'energia richiesta nelle due forme può variare. Può accadere che in certi momenti la richiesta di energia elettrica sia proporzionalmente maggiore di quella termica o viceversa. È solitamente apprezzato che un sistema cogenerativo sia in grado di variare il proprio rapporto di cogenerazione  $\gamma$ ; non tutti i sistemi motori però offrono tale possibilità.

Da quanto detto si evince che la soluzione della cogenerazione per risultare tecnicamente ed economicamente fattibile deve essere valutata attentamente, con una analisi approfondita delle utenze (andamento nel tempo dei carichi di energia elettrica e termica) e dei sistemi motori disponibili (ogni utenza può sposarsi meglio con una tecnologia piuttosto che un'altra).

Dopo la descrizione dell'impianto preso come caso studio, seguirà anche un risultato elaborato tramite software di Arpa Bologna, per evidenziare la convenienza ambientale della cogenerazione rispetto alla produzione separata.

I seguenti **oggetti di riferimento** per il mercato elettrico:

- Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas (AEEG): è una struttura indipendente incaricata di produrre e gestire le regole per tutto il settore dell'energia secondo gli indirizzi previsti dalle leggi. In particolare regola la struttura delle tariffe di fornitura ai clienti

- Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale (GRTN): la società per azioni alla quale sono attribuite le funzioni amministrative relative alla trasmissione, al dispacciamento e alla gestione unificata della rete di trasmissione nazionale, al fine di garantire la sicurezza, l'affidabilità, l'efficienza e il minor costo del servizio. Il GRTN amministra il dispacciamento (autorizzazione alle centrali di immettere energia elettrica in rete) in funzione della continuità dell'approvvigionamento elettrico per assicurare la copertura alla domanda elettrica.
- Gestore del Mercato Elettrico (GME): la società per azioni cui è affidata la gestione economica del mercato elettrico, organizzando e gestendo il mercato secondo criteri di neutralità, trasparenza e obiettività.

### **3.2 IMPIANTO A CIPPATO DI CASTEL D'AIANO**

L'impianto di Castel d'Aiano è stato realizzato alla fine dell'anno 2008 da CISA (Centro per l'Innovazione Sostenibilità ambientale) in collaborazione con Co.Se.A. (Consorzio Servizi Ambientali) della zona nel comune di Castel d'Aiano. Si tratta di un sistema di cogenerazione basato sulla gassificazione delle biomasse (cippato di legno) ed un motore a combustione esterna di Stirling per la generazione di calore abbinata con l'energia elettrica.

In Europa la produzione combinata di calore ed energia elettrica di piccola taglia (come questo), attraverso l'utilizzo di un combustibile rinnovabile come il cippato di legno, è ancora un settore in cui non sono presenti molte esperienze. Tale impianto è senza alcun dubbio, quindi, un impianto pilota e fortemente innovativo. Lo sviluppo di un sistema di cogenerazione di piccola taglia offre numerosi vantaggi di carattere sia ambientale che di sostenibilità; installare un impianto centralizzato che possa soddisfare il fabbisogno elettrico e termico di piccoli insediamenti abitativi, complessi sportivi, scolastici o ricreativi anche in zona montana, permette una sicura diffusione della tecnologia con conseguenti benefici all'occupazione e la valorizzazione delle risorse locali dell'Appennino Tosco-Emiliano, sulla produzione di energia rinnovabile distribuita nel territorio e sull'avvio di filiere agricole e forestali.

Gli edifici più importanti che sono serviti dall'impianto fanno parte del complesso delle scuole elementari e medie, piuttosto ampio, che prima della realizzazione di tale impianto era riscaldato tramite la combustione diretta del metano in caldaie di vecchia generazione

e di scarsa efficienza. Di conseguenza l'impianto realizzato oltre ad introdurre un sistema ad energia rinnovabile determina anche un consistente risparmio energetico complessivo. Oltre al complesso scolastico, poco più distante c'è la piscina scoperta comunale. Nel periodo estivo il clima risulta mite ma molti utenti della piscina si lamentavano per la temperatura troppo bassa dell'acqua, per questo motivo l'energia termica prodotta dall'impianto nel periodo estivo, altrimenti dissipata in quanto non sono in funzione i sistemi di riscaldamento, va ad innalzare la temperatura della piscina di qualche grado centigrado rendendo più gradevole la temperatura dell'acqua. Infine vi è anche la necessità di servire gli spogliatoi del campo sportivo adiacente alla centrale.

L'energia termica prodotta dall'impianto sotto forma di acqua calda viene direttamente ceduta alle utenze o immagazzinata all'interno di due accumulatori termici da 3000 litri ciascuno. Gli edifici si riforniscono di calore attraverso appositi scambiatori a piastre che prelevano il calore dalle tubazioni interrato facendo circolare nello scambiatore l'acqua. Le caldaie a gas metano precedenti possono essere rimesse in funzione durante i periodi di fermo impianto accidentale o per manutenzioni programmate.

Per servire le strutture descritte è stata realizzata una piccola rete di teleriscaldamento, vediamo uno schema generale con raffigurate le diverse utenze servite.

L'impianto è in grado di produrre una potenza elettrica di 35 kW ed una potenza termica di 140 kW.



L'impianto è caratterizzato dalla necessità di una continuità di funzionamento (**funzionamento in continuo**) e da una serie di parametri che si devono mantenere costanti in ogni condizione; è necessario svincolare la produzione di energia elettrica, che essendo ceduta direttamente in rete non risentirebbe di particolari modifiche nella propria intensità, dalla produzione di calore, che invece risente delle variazioni tipiche di una piccola rete di teleriscaldamento cercando di dissipare la minore quantità possibile di calore.

Il sistema di cogenerazione si basa su un **gassificatore** di cippato di legno ed un **motore a combustione esterna con ciclo di Stirling** per la produzione combinata di energia elettrica e calore (CHP), l'intera tecnologia è stata realizzata dalla Stirling Danmark (questa particolarità di impianto rappresenta uno dei primi impianti in Europa fondati sulla gassificazione di biomasse in combinazione con i motori a tecnologia Stirling).

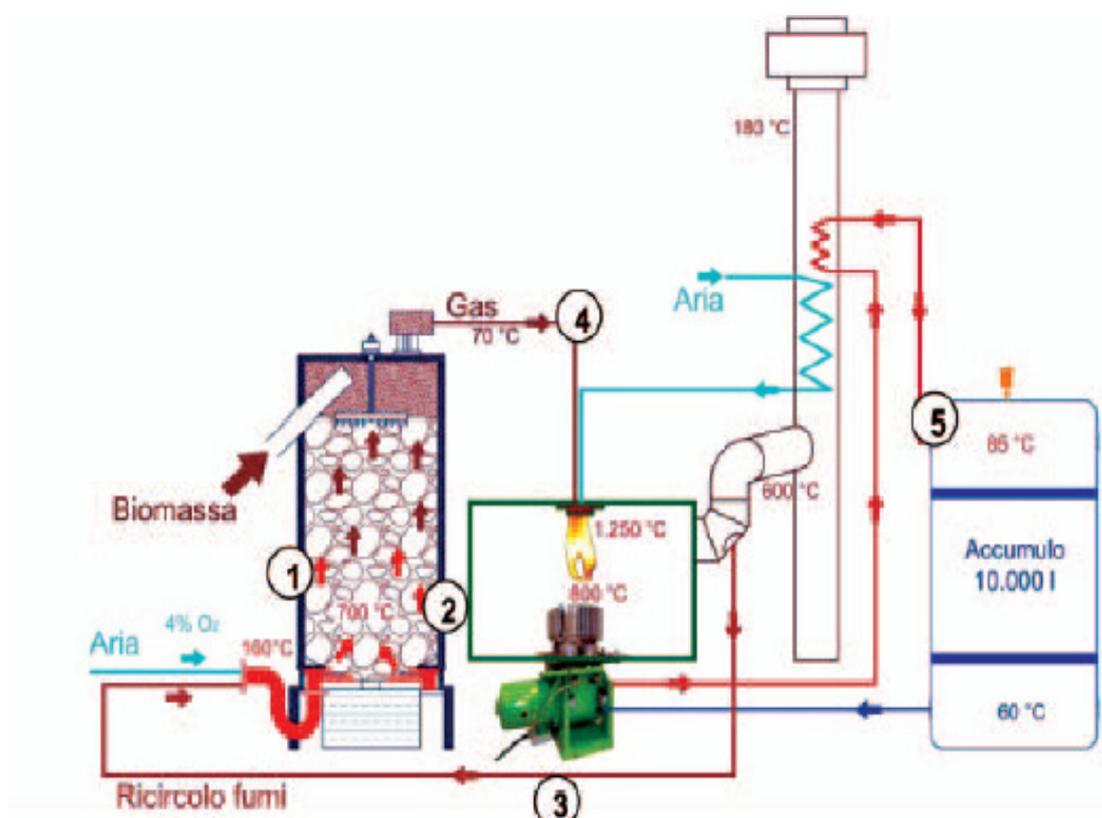
L'impianto è stato portato in produzione a inizio 2009.

L'impianto riceve l'alimentazione, costituita da cippato di legno, attraverso un dispositivo di estrazione automatica composto da un sistema di coclee che dal deposito del cippato (adiacente l'impianto) trasferiscono il materiale all'interno del gassificatore; qui subisce il processo di gassificazione ed il gas prodotto viene spillato dall'alto e convogliato in camera di combustione.

La maggior parte dei componenti che costituiscono il legno possono essere resi gassosi, questo processo viene chiamato gassificazione perché appunto trasforma il combustibile solido (in questo caso cippato) in gas combustibile a basso potere calorifico. Il gas ottenuto in questo modo viene comunemente chiamato **syngas** o gas di gasogeno. Il gas così prodotto viene prima miscelato con aria preriscaldata ad alta temperatura in un primo scambiatore, brucia in una camera di combustione generando energia termica; il calore quindi prodotto viene ceduto alle teste calde del motore Stirling accoppiato alla camera di combustione, che così compie il proprio ciclo termodinamico producendo energia meccanica che viene trasferita da un albero e acqua calda per la rete di teleriscaldamento. L'energia meccanica è poi convertita in energia elettrica, trasferita alla rete esterna, attraverso un generatore di corrente asincrono a magneti permanenti. L'acqua di raffreddamento del motore viene pompata tramite un circuito idraulico ed innalza ulteriormente la propria temperatura assorbendo il calore recuperato dai fumi.

I gas residui combusti dal sistema vengono, quindi, in parte deviati al gassificatore che li utilizza per il suo ciclo termodinamico chiudendo il ciclo, ed in parte deviati in un economizzatore che li raffredda prima di espellerli dal camino, fornendo così un'ulteriore quota di calore utile per il teleriscaldamento. Il circuito trasferisce l'acqua ad alta temperatura in un volano termico costituito da due accumulatori che immagazzinano l'energia termica utilizzata poi per il teleriscaldamento tramite rete idraulica di collegamento alle utenze.

### Schema di funzionamento



### **Coclea di carico**

Il cippato di legno passa automaticamente dal vano di stoccaggio al gassificatore tramite un sistema di coclee alimentato da un motore elettrico. Le coclee sono viti senza fine elicoidali in acciaio che ruotano attorno ad un asse longitudinale all'interno di un tubo in acciaio. Il cippato viene così direttamente prelevato e caricato nella parte alta del gassificatore.

Tale sistema meccanizzato è composto da una coclea che è adagiata sul fondo del deposito e da due bracci rotativi che muovono il cippato verso la coclea, la quale ruotando estrae automaticamente il cippato e lo convoglia dentro a una valvola stellare; quest'ultima lo lascia poi cadere all'interno di una seconda coclea che alimenta il gassificatore dall'alto.

Un sistema di livellamento costituito da un rastrello rotante collegato ad un motore elettrico, stabilisce il quantitativo di cippato da caricare. Se il motore avverte un assorbimento di corrente superiore ad un livello stabilito e per la resistenza che il legno oppone ai rastrelli, interrompe automaticamente il caricamento del materiale; così tale dispositivo regola anche il quantitativo di cippato per cui il livello di cippato sia sempre costante all'interno del gassificatore.

### **Valvola stellare**

È un organo di intercettazione antincendio atto a separare meccanicamente il combustibile presente nel deposito da quello presente nella coclea di alimentazione del gassificatore, attraverso una superficie metallica. La valvola è composta da una serie di piastre metalliche disposte a stella su un perno centrale libero di ruotare; tali piastre fungono da coltelli che, ruotando, possono tagliare: in questo modo si ha la certezza che non venga caricato nel gassificatore materiale diverso dal legno di pezzatura adeguata.

### **Gassificatore**

Elemento costituito da una camicia di acciaio esterna rivestita internamente di materiale isolante, viene immesso dall'alto il cippato di legno tramite la coclea di alimentazione. Il gassificatore viene riscaldato tramite il recupero di calore dalla camera di combustione fino ad una temperatura di 700 gradi centigradi e, con l'immissione di aria con una percentuale di ossigeno del 4%, avviene il processo di gassificazione delle biomasse. Il calore necessario è fornito tramite una resistenza elettrica che riscalda un flusso d'aria in pressione erogata da un compressore. Il syngas prodotto viene estratto dall'alto e portato, tramite una tubazione in acciaio inox, fino alla camera di combustione.

Il legno quindi all'interno del gassificatore viene trasformato, attraverso una serie di reazioni chimiche, in gas. Il gas viene prodotto in basso al gassificatore e al centro, così il flusso di gas si muove verso l'alto in controcorrente al cippato caricato dall'alto.

È stato utilizzato un gassificatore up-draft, in modo da eliminare i complessi sistemi di depurazione del syngas, potendo così utilizzare cippato con valori di umidità abbastanza elevati.

I gassificatori si suddividono in :

- ▶ down-draft con spillatura del gas nella parte inferiore, nei quali il gas esce a temperatura piuttosto alta funzione della temperatura di combustione parziale e quindi funzione della tipologia di materiale. Il syngas però prima di uscire deve subire una serie di complessi processi di depurazione. In tali gassificatori inoltre deve essere inserito solamente materiale con tasso di umidità inferiore al 15% dando luogo a una complessità gestionale;
- ▶ up-draft con spillatura del gas nella parte superiore, in tal modo il syngas prima di uscire è costretto a filtrare attraverso il cippato di legno, riscaldandolo, asciugandolo e preparandolo così alla combustione parziale e gassificazione. Il risultato è così un gas a temperatura nettamente più bassa, e il materiale in alimentazione può avere anche un tasso di umidità del 60% (il cippato può essere così inserito nel gassificatore anche senza stagionatura).



La gassificazione è definita come la conversione termochimica di un combustibile solido o liquido in un gas, attuata mediante la presenza di un agente gassificante ed altri reagenti (aria/ossigeno e/o acqua/vapore) conducendo ad una sua parziale combustione. Il processo è formato concettualmente da tre fasi : una prima esotermica di combustione; una seconda di pirolisi in cui avviene la decomposizione per via termica di un combustibile in assenza di apporto di ossigeno; infine la conversione del carbonio ottenuto in gas, principalmente CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>.

Con syngas si indica il gas ottenuto dalla gassificazione con gasogeni up-draft partita da legno cippato. Questo ha un basso potere calorifico di 5-8 MJ/Nmc ed è principalmente costituito da monossido di carbonio, anidride carbonica, idrogeno, metano e azoto.

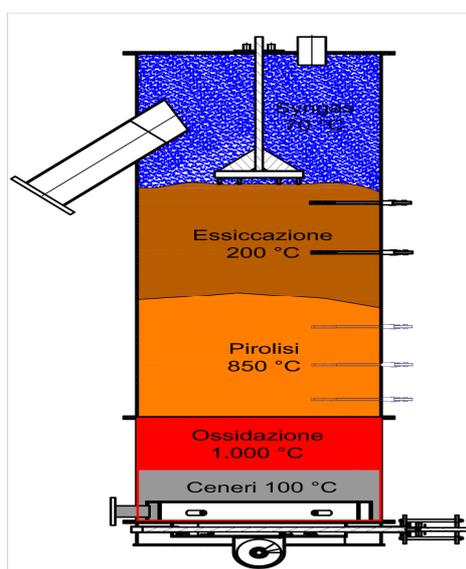
Il gas prodotto da questo tipo di gassificatori contiene una frazione di tars e idrocarburi, che rimangono principalmente in forma di aerosol che danno origine condensando ad un olio denso bruno. In questo impianto però il gas entra direttamente nella camera di combustione a una temperatura di 1250 gradi centigradi : a questa temperatura avviene la combustione totale di tutti gli elementi, ivi compresi i catrami e le impurità.

All'interno del gassificatore è necessario raggiungere la temperatura consona alla reazione (900-1220 gradi centigradi) tramite l'apporto di calore mediante la parziale combustione in difetto d'aria.

CARATTERISTICHE DEL SYNGAS							
Componente costitutivo del syngas	Tipologia componente	Percentuale attesa sul totale	Densità (g/l) a 0°C, 1atm	Densità relativa all'aria (adimensionale) 0°C 1 atm	PCI (kWh/Nm <sup>3</sup> )	Portata dei gas combustibili (Nm <sup>3</sup> /h)	Portata dei gas inerti (Nm <sup>3</sup> /h)
CO	Gas combustibile	20%	1,25	0,967	3,27	31,77	
H <sub>2</sub>	Gas combustibile	4%	0,089	0,069	2,997	6,35	
CH <sub>4</sub>	Gas combustibile	5%	0,716	0,554	9,7	7,94	
CO <sub>2</sub>	Gas inerte	16%	1,976	1,523	0		25,42
N <sub>2</sub>	Gas inerte	52%			0		82,61
Altri gas inerti		3%			0		4,77
<b>TOTALE</b>		<b>100%</b>			<b>1,26</b>	<b>46,07</b>	<b>112,80</b>

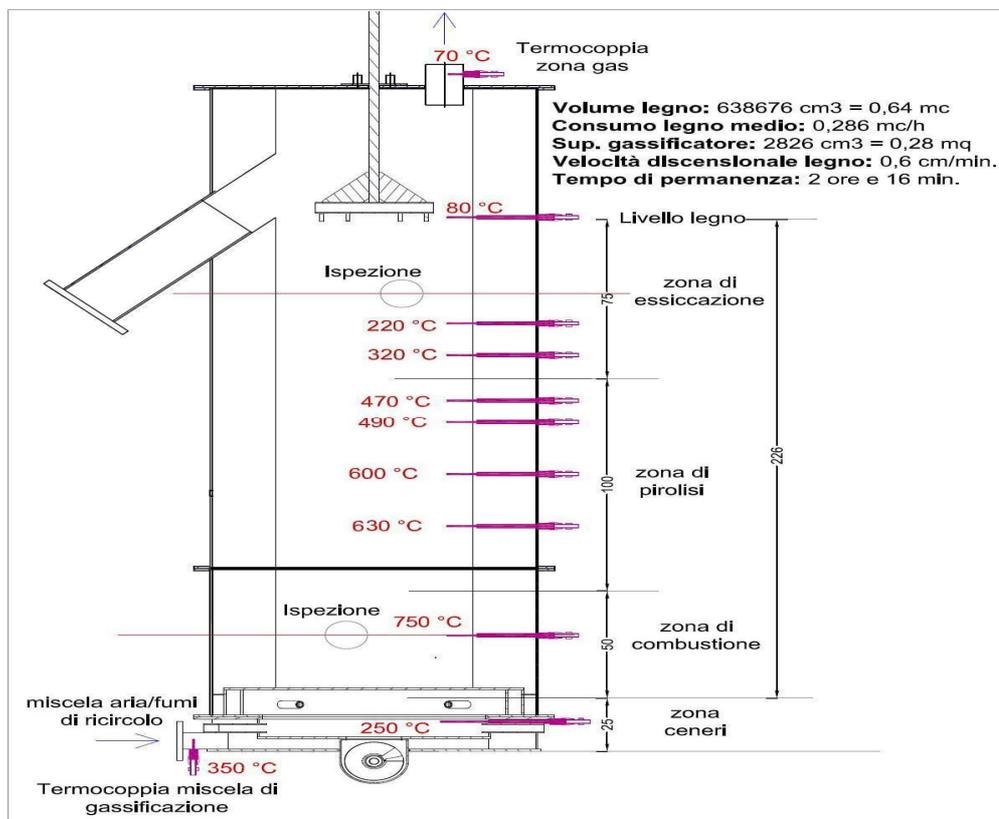
PCI totale	1,26 kWh/Nm <sup>3</sup>
------------	--------------------------

Tutto il volume a disposizione per i processi termochimici di trasformazione del legno in gas combustibile, circa il 33% è utilizzato per l'essiccazione, il 45% per la pirolisi e il 22% per la combustione.



Il tempo di permanenza globale della biomassa è di 2 ore e 16 minuti, tempo in cui il singolo frammento di legno impiega a trasformarsi completamente in gas combustibile diventando cenere.

I parametri di funzionamento principali sono : la percentuale di aria (e quindi ossigeno) all'interno della miscela di gassificazione e la depressione in testa al gassificatore. Il tenore di ossigeno nella miscela di gassificazione è regolato dalla valvola di gassificazione.



### Camera di combustione

E' costituita da un cilindro in acciaio, che è poi rivestito con un elevato spessore di materiale isolante.

All'interno è presente una camera di combustione che è a diretto contatto con la testa del motore di Stirling, al cui interno vengono fatti confluire il syngas e l'aria in percentuali controllate per ottimizzare la combustione. L'aria utilizzata viene preriscaldata facendola passare all'interno di un recuperatore di calore (serie di fasci tubieri contenenti i gas di scarico della camera di combustione che cedono una quota della propria energie termica). Si raggiungono temperature comprese tra 1250 e 800 gradi.

In pratica il syngas raggiunge la camera di combustione e, tramite l'apporto di aria preriscaldata, brucia liberando una fiamma intensa ed una notevole quantità di energia termica (si regola automaticamente il tenore di ossigeno nella camera misurato mediante sonda lambda).

Viene utilizzata una camera di combustione esterna : le parti maggiormente riscaldate dal calore (che può essere prodotto da combustione) non sono a contatto con le parti scorrenti o rotanti (cuscinetti, pistoni), di conseguenza tali parti ed il lubrificante non sono particolarmente sollecitati, le parti hanno quindi esigenze di manutenzione ridotte. Il motore non ha valvole e non subisce scoppi, quindi è costruttivamente più semplice, quasi privo di vibrazioni e molto meno rumoroso di un motore a combustione interna.

La somministrazione del calore per il funzionamento è continua, quindi in caso che il calore sia prodotto mediante combustione questa avviene in maniera continua, con rapporto stechiometrico aria-combustibile che può essere ottimale. La somministrazione di calore può avvenire con qualsiasi mezzo: calore solare concentrato, ma anche mediante la combustione di legna, carbone, gas, biogas, combustibili liquidi.

Il syngas prodotto può essere utilizzato sia in motori a combustione interna che esterna.

Nei motori a combustione interna il syngas deriva da gassificatori down-draft, in cui è necessario introdurre cippato con umidità < del 30%. Il gas estratto da tale gassificatore prima di essere utilizzato dal motore, dovrà essere filtrato, depurato e condensato. E tutti questi processi comportano così una riduzione dell'efficienza del sistema. Depurato il syngas passa nella camera di combustione interna del motore, ma il processo non risulta ottimizzato per la produzione del gas di sintesi e i fumi in uscita avranno sempre una componente incombusta inquinante. Un altro inconveniente è l'elevata manutenzione a cui questi motori devono essere sottoposti; il syngas infatti entra a contatto diretto con le parti in movimento del motore e provoca un rapido deterioramento di tutti gli elementi con elevate manutenzioni.

### **Motore Stirling**

Il motore Stirling funziona a camera di combustione esterna. Qui il motore installato ha una potenza di 35 kW elettrici, ha 4 pistoni. Il calore prodotto nella camera di combustione, attraverso la combustione del gas di legno, alimenta il motore Stirling, che produce corrente elettrica tramite un alternatore ed acqua calda utile al teleriscaldamento dal suo raffreddamento.

Semplificando il funzionamento del motore si può riassumere che attraverso una sorgente calda (calore in camera di combustione) ed una sorgente fredda (acqua di ricircolo) un fluido operatore (olio in pressione) viene spinto a compiere il ciclo termodinamico di Stirling, caratterizzato da quattro fasi distinte : compressione, riscaldamento, espansione e raffreddamento. Si hanno infatti 4 pistoni, così ogni fase occupa  $\frac{1}{4}$  di giro completo dell'albero motore e mettendo quattro cilindri in serie ognuno potrà fungere da pistone caldo nella sua parte superiore e da pistone freddo in quella inferiore, e mentre la parte alta del cilindro potrà fungere da zona di espansione, la parte bassa sarà zona di compressione. Qui il condotto di collegamento è totalmente immerso nella camera di combustione e funge da scambiatore di calore. Si può così produrre energia cinetica trasferita poi ad un albero che, ruotando, genera corrente elettrica grazie ad un generatore e contemporaneamente acqua calda dalla fase di raffreddamento.



La tecnologia del motore Stirling, sviluppata nei primi anni del XIX secolo, sta trovando nuovo interesse in campi quali quello del solare termodinamico e della micocogenerazione.

Il motore Stirling è un motore a ciclo chiuso. Ciò significa che un gas (utilizzato come fluido di lavoro) è confinato all'interno di uno o più cilindri ed è sempre il medesimo gas a compiere il ciclo termodinamico ricevendo e cedendo calore a sorgenti esterne, a differenza di quanto accade nei motori a combustione interna in cui il fluido di processo viene sostituito e ricambiato ad ogni nuovo ciclo del motore. Il motore Stirling sfrutta le proprietà dei gas di dilatarsi e comprimersi se scaldati o raffreddati.

L'introduzione di calore ( $Q_{in}$ ) e la cessione ( $Q_{out}$ ) di calore con l'esterno avviene con continuità nella zona calda e fredda della macchina tramite scambiatori di calore (la zona calda in particolare è mantenuta in temperatura dai gas che derivano da un processo esterno di combustione).

Nel passaggio tra una zona e l'altra della macchina il gas attraversa un rigeneratore (in certi casi si tratta di un agglomerato di fili metallici) cedendogli calore o recuperando calore; questo è uno scambio di calore interno alla macchina (il ciclo è infatti rigenerato). Il fluido di lavoro viene trasferito avanti e indietro tra le zone calda e fredda mediante il movimento dei pistoni; lo scambio di lavoro con l'esterno avviene durante le fasi di espansione e compressione.

Una caratteristica fondamentale del motore Stirling è il fatto che il calore viene introdotto dall'esterno mediante uno scambiatore di calore e questo consente di utilizzare qualsiasi tipo di combustibile, anche solido, cosa che non sarebbe possibile in un motore a combustione interna. I prodotti della combustione infatti nei motori Stirling non entrano in contatto diretto con le parti mobili della macchina.

Inoltre il processo di combustione continua che si ha in un bruciatore esterno, consente alla macchina di funzionare in modo estremamente regolare, silenzioso e con bassissime vibrazioni, richiedendo interventi di manutenzione assai ridotti. La vita utile può arrivare anche ad oltre 60.000 ore di funzionamento. Il motore Stirling inoltre si presta alla cogenerazione in quanto può essere recuperato calore dai prodotti della combustione e sottraendo il calore al motore.

L'integrazione fra il motore Stirling e il processo della gassificazione permette l'utilizzo della biomassa come combustibile per la produzione di energia. L'utilizzo della biomassa permette di avere un ciclo di produzione ad impatto nullo sulle emissioni di CO<sub>2</sub>, (si rilascia in atmosfera il carbonio che biologicamente era stato inglobato, prelevandolo dalla atmosfera, nelle sostanze che vengono combuste); questo diviene molto interessante dato che non è introdotto nel sistema nuovo carbonio di origine fossile. Il motore Stirling può diventare così una tecnologia da valorizzare per facilitare il raggiungimento degli obiettivi fissati dal Protocollo di Kyoto.

Il syngas è bruciato in una camera che può essere controllata elettronicamente, aumentando così l'efficienza totale del sistema e minimizzando le emissioni.

Riassumendo, nel motore Stirling il movimento del pistone avviene tramite la differenza di temperatura tra la parte fredda e la parte calda senza che ci sia un processo di combustione (no fumi e altre sostanze inquinanti).

Gassificatore produce gas di sintesi (**syngas**) che va a un bruciatore e camera di combustione e qui il bruciatore fa raggiungere una temperatura di circa 1.300-1.400 gradi, la fiamma del bruciatore colpisce uno scambiatore dove si raggiungono 27 e 800 gradi; la differenza tra i 27 e gli 800 gradi e l'acqua di raffreddamento del motore sui 60 gradi, col ciclo termodinamico di Stirling genera il movimento dei pistoni e c'è un alternatore collegato per produrre energia elettrica.

### **Accumulatori termici**

Sono necessari grandi volani termici costituiti da accumulatori per l'acqua. In questo modo l'acqua calda prodotta dall'impianto viene immagazzinata in grandi quantità e può essere utilizzata nei momenti di bisogno per il riscaldamento delle strutture collegate tramite la rete di teleriscaldamento. Qui si è scelta la soluzione di due accumulatori da 3.000 litri comunicanti tra loro.

### **La cessione del calore prodotto**

Il calore ceduto dal motore attraverso il circuito di raffreddamento viene utilizzato per il teleriscaldamento. Tramite una pompa viene prelevata acqua ad una temperatura di 40-50 gradi centigradi dalla parte bassa dell'accumulatore che viene convogliata verso il sistema di raffreddamento costituito da una serie di piccoli fasci di tubi immersi nell'acqua di ricircolo. All'interno dei tubi scorre l'elio caldo proveniente dai cilindri che così può essere raffreddato cedendo calore all'acqua che sale di circa 15 gradi. Successivamente l'acqua passa attraverso un economizzatore, il cui scopo è quello di prelevare calore dai fumi prima che questi vengano espulsi dal camino.

L'acqua incrementa così ancora la sua temperatura di circa 10 gradi, per poi essere direzionata verso la parte alta dell'accumulatore. Dall'accumulatore l'acqua verrà poi utilizzata dalle utenze attraverso una rete di teleriscaldamento e scambiatori di calore a piastre.

### **Analizzatore fumi**

L'analizzatore fumi utilizzato dall'impianto è un ECOM J2KN, certificato per la misura dei gas di combustione ai sensi della Normativa Europea.

- Misura O<sub>2</sub>, CO (NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> opzionali), temperatura del gas, temperatura dell'aria, pressione, ecc.
- Calcola CO<sub>2</sub>, CO con riferimento dell'ossigeno.

E' dotato di display su cui visualizza i risultati ottenuti e registra in continua tutti i valore della combustione, è dotato di stampante per i risultati e una sonda di aspirazione fumi con tubo flessibile.

Per quantificare con la massima precisione l'impatto delle emissioni in atmosfera, è stato necessario attrezzare il sistema con un analizzatore per fumi in grado di rilevare il contenuto di CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub> e memorizzare i dati delle misurazioni in una memoria esterna estraibile, in modo da poter convertire i dati in formato Excel.

In questo modo si è potuto valutare e quantificare l'effluente gassoso durante il funzionamento continuo a regime, tramite un sistema digitalizzato che ne permettesse la rielaborazione successiva dei parametri. Per permettere l'analisi in continuo dei valori di emissione ed una corretta misura degli NO<sub>x</sub>, l'analizzatore è stato accessoriatato dalla ditta fornitrice di un sistema di raffreddamento di tipo Peltier e di una sonda di estrazione per le analisi riscaldata e specificatamente garantita per le analisi in continuo di NO ed NO<sub>2</sub>.

L'impianto non è dotato di sistemi di abbattimento, in quanto si tratta di combustione di un gas biologico che non inquina o che comunque ha emissioni al di sotto di quelle previste dalla legge e per cui non viene richiesto un monitoraggio degli inquinanti.

Si riportano i valori limite previsti dalla normativa del D.Lgs 152/2006 :

#### **Valori limite per gli impianti che utilizzano biomasse**

1. Gli impianti termici che utilizzano biomasse di cui all'Allegato X devono rispettare i seguenti valori limite di emissione, riferiti ad un'ora di funzionamento dell'impianto nelle condizioni di esercizio più gravose, esclusi i periodi di avviamento, arresto e guasti. Il tenore di ossigeno di riferimento è pari all'11% in volume nell'effluente gassoso anidro. I valori limite sono riferiti al volume di effluente gassoso secco rapportato alle condizioni normali.

Potenza termica nominale dell'impianto (MW)	[1] >0,15 ÷ <1
polveri totali	100 mg/Nm <sup>3</sup>
carbonio organico totale (COT)	-
monossido di carbonio (CO)	350 mg/Nm <sup>3</sup>
ossidi di azoto (espressi come NO <sub>2</sub> )	500 mg/Nm <sup>3</sup>
ossidi di zolfo (espressi come SO <sub>2</sub> )	200 mg/Nm <sup>3</sup>

[1] Agli impianti di potenza termica nominale pari o superiore al valore di soglia e non superiore a 0,15 MW si applica un valore limite di emissione per le polveri totali di 200 mg/Nm<sup>3</sup>.

Valori medi misurati (riferiti all'11% O <sub>2</sub> )		
CO	62	mg/m <sup>3</sup>
NO	156	mg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	3	mg/m <sup>3</sup>
NO <sub>x</sub>	263	mg/m <sup>3</sup>

### Dati tecnici relativi all'impianto

Potenza totale installata : 200 kW termici

Rendimento termico : 70% (140 kW termici)

Rendimento elettrico : 17,5% (35 kW elettrici)

Dispersioni : 12,5% (25 kW)

Rendimento globale : 87,5%

Consumo cippato a 40% di umidità : 75 kg/h (4500 q/anno)

Ore funzionamento : 6000 ore all'anno

Energia termica totale :  $140 * 6000 = 840000$  kWh/anno

Energia elettrica prodotta :  $35 * 6000 = 210000$  kWh/anno

Consumo cippato :  $75 * 6000 = 450000$  kg/anno = 450 t/anno

Energie persa :  $25 * 6000 = 150000$  kWh/anno

Da tali risultati si evince che l'impianto presenta una resa maggiore per il teleriscaldamento (rendimento termico del 70%), per il quale è stato concepito. In secondo luogo una parte di energia termica è convertita in elettricità tramite un generatore di corrente (rendimento elettrico del 17,5%), avendo quindi una perdita del 12,5% pari a 150.000 kWh all'anno.

### **Dimensionamento impianto**

La centrale di cogenerazione è stata realizzata in un ambiente alberato senza alterare le caratteristiche ambientali e paesaggistiche, dimostrando così la possibilità di inserire tali sistemi anche in zone destinate a verde con un minimo impatto ambientale ed in assoluta sicurezza.

Inoltre è stato realizzato un accesso alla centrale totalmente indipendente, in modo da non influire sulle attività didattiche e ricreative delle scuole e permettere così le operazioni di scarico del cippato attraverso una pista a questo dedicata. Sia la struttura edile, sia i macchinari garantiscono elevati standard di sicurezza contro il rischio di incendio e di infortunio.

Il dimensionamento dell'impianto è stato eseguito in modo tale che la maggior parte del calore prodotto venga utilizzato per la climatizzazione degli ambienti, minimizzando le dispersioni di calore nel periodo invernale.

Dai calcoli eseguiti a partire dal vecchio approvvigionamento di metano è emersa la necessità di un sistema che fornisca 140 kW termici utili, in funzione di questo valore si è poi calcolato il volume di accumulo necessario per garantire il fabbisogno energetico degli edifici riscaldati. Si deve comunque tenere presente che il vecchio impianto di riscaldamento a metano non è stato smantellato, ma può essere utilizzato per coprire un particolare picco di richiesta termica a causa di una stagione eccezionalmente fredda o per dare continuità alle utenze nelle fasi di manutenzione ordinaria e straordinaria.

L'impianto funziona in continuo senza necessità di supervisione e controllo in loco da parte di personale specializzato, ma necessita di una manutenzione programmata circa ogni 4000 ore di lavoro.

Le ceneri sono prelevate automaticamente da una coclea e depositate in un apposito contenitore, in questo modo la presenza di personale può essere limitata ad una sola ora la settimana per un controllo generale dei dispositivi di sicurezza e per svuotare il contenitore di ceneri.

### **Approvvigionamento**

La qualità del materiale utilizzato per il funzionamento dell'impianto è garantita dalle aziende forestali presenti nei territori limitrofi e dalla supervisione dei tecnici del Comune di Castel d'Aiano, promotore della nascita della filiera del legno.

In base alla disponibilità del territorio le essenze fornite all'impianto sono essenzialmente di pioppo.

L'umidità del legno può variare, a seconda della stagione di fornitura, da un minimo del 30% a un massimo del 45%; valori inferiori al 30% sono improbabili, per essiccare il legno al di sotto del 30% di umidità significherebbe stagionare il legno in modo artificiale in forno, procedimento assai complesso e antieconomico e non sostenibile.

Il consumo di legno è di circa 75 kg/h, questo valore è valido per un umidità media del 35% e per legno in cui la presenza di ramaglie e corteccia non sia troppo elevata.

Se supponiamo di fornire all'impianto una qualità del combustibile solido inferiore e cioè con una certa presenza di ramaglie o cortecce e senza stagionatura, a cui corrisponde un'umidità del 50-60%, il consumo orario salirebbe a 95 kg/h. Si fissa un consumo medio di 75 kg/h considerando una situazione intermedia di umidità e qualità.

### **Produzione di energia**

Il quantitativo di energia elettrica ceduta alla rete viene stimato in 210 MWh/anno, mentre il calore ceduto agli edifici in 840 MWh/anno sotto forma di acqua calda alla temperatura minima di 65 gradi centigradi.

Il calore prodotto nell'impianto attraverso il raffreddamento del motore Stirling, ed il recupero termico dei fumi viene direzionato ai vari edifici tramite il ricircolo di acqua calda in una coppia di tubazioni interrate per teleriscaldamento, una tubazione di mandata e una di ritorno, alla temperatura massima di 75 gradi centigradi, in questo modo ogni edificio può rifornirsi di calore con uno scambiatore di calore a piastre, che preleva il calore dalle tubazioni interrate facendo circolare nello scambiatore l'acqua calda della vecchia centrale.

La corrente elettrica prodotta viene distribuita attraverso un sistema elettrico di tipo trifase, alla tensione di 400 V. Il funzionamento è in parallelo alla rete di bassa tensione. La linea elettrica di collegamento fra il generatore di corrente ed il punto di consegna ENEL, sono realizzate secondo le Norme e le Leggi di riferimento e fornite di tutti i dispositivi di protezione e sezionamento necessari al corretto funzionamento, nel rispetto delle norme previste per gli impianti di tale tipologia.

### **Parametri ambientali**

Uno degli obiettivi principali dell'impianto è quello di dimostrare un sensibile miglioramento in termini ambientali ed in particolare sul bilancio di emissioni di gas serra, in virtù del fatto di utilizzare una fonte di energia locale e rinnovabile.

Come accennato nella descrizione impiantistica, per come è stato progettato l'impianto non potrà avere ripercussioni sulla qualità dell'aria; attualmente per la climatizzazione degli edifici viene bruciato gas metano; qui si brucerà invece un gas piuttosto simile, ma ottenuto attraverso la gassificazione del legno in un impianto che produrrà anche energia elettrica, contribuendo a diminuire così la dipendenza dai combustibili fossili nel territorio montano.

Riassumiamo.

Risparmio di combustibili fossili : 91,3 TEP/anno

Risparmio di CO<sub>2</sub> emessa in atmosfera : 200 t/anno

Cippato all'anno : 450 t/anno

Produzione di ceneri : 8 mc/anno

Risulta utile e corretto poter disporre di valutazioni comparative sul consumo energetico non rinnovabile necessario per alimentare, con energia e materie prime, l'intero processo (filiera) di produzione dell'energia utile. Tale analisi energetica include tutti i consumi di energia non rinnovabile che avvengono lungo la filiera : estrazione, lavorazione, stoccaggio e conversione energetica del combustibile, compreso il costo energetico dei macchinari e delle attrezzature impiegate per le singole fasi (analisi **LCA del ciclo di vita di un intero processo**).

I consumi energetici espressi in percentuale di energia non rinnovabile consumata per produrre l'energia termica utile, tramite **CER** = Cumulated Energy Requirement, misura dell'ammontare complessivo di risorse energetiche primarie necessarie per erogare l'unità di energia termica utile. Il consumo energetico per la produzione e l'uso finale del combustibile comporta l'emissione in atmosfera di una certa quantità di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e di altri gas ad effetto serra espressi in forma aggregata con il parametro di CO<sub>2</sub> equivalente. Calcolare quindi la riduzione di CO<sub>2</sub> conseguibile sostituendo i combustibili fossili con quelli legnosi.

## Consumi energetici ed emissioni di CO<sub>2</sub>

Sistemi di riscaldamento	CO <sub>2</sub> Kg/MWh	CO <sub>2</sub> equivalente Kg/MWh
Legna da ardere (10kW)	9,76	19,27
Cippato forestale (50 kW)	21,12	26,04
Cippato forestale (1 MW)	21,13	23,95
Pellet (10 kW)	26,70	29,38
Pellet (50 kW)	28,95	31,91
Gasolio (10 kW)	315,82	318,91
Gasolio (1 MW)	321,88	325,43
GPL (10 kW)	272,51	276,49
Metano (10 kW)	226,81	251,15
Metano (1 MW)	233,96	257,72

Vediamo il calcolo per determinare la riduzione di CO<sub>2</sub> e di CO<sub>2</sub> equivalente nel nostro impianto, sostituendo combustibili fossili con combustibili legnosi rinnovabili :

1) Calcolo del monte energia utile annuo erogato dall'impianto.

Valore medio dei MWh annui erogati : 840 + 210 = 1.050 MWh/anno

2) Calcolo delle tonnellate di CO<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> equivalente emesse annualmente con il metano (tabella)

Metano :  $(1.050 \times 233,96) : 1000 = 245,66 \text{ t CO}_2$

Metano :  $(1.050 \times 257,72) : 1000 = 270,61 \text{ t CO}_2 \text{ equivalente}$

3) Calcolo delle tonnellate di CO<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> equivalente emesse annualmente con il cippato (tabella)

Cippato forestale :  $(1050 \times 21,13) : 1000 = 22,19 \text{ t CO}_2$

Cippato forestale :  $(1050 \times 23,95) : 1000 = 25,15 \text{ t CO}_2 \text{ equivalente}$

4) Calcolo della riduzione di CO<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> equivalente metano – cippato

$$245,66 - 22,19 = 223,47 \text{ t CO}_2/\text{anno}$$

$$270,61 - 25,15 = 245,46 \text{ t CO}_2 \text{ equivalente/anno}$$

Ipotizzando una vita utile dell'impianto di 15 anni si ottiene una mancata emissione di 3.352 t CO<sub>2</sub>.

Un'automobilista che percorre annualmente 25.000 km emette circa 3,5-4 t di CO<sub>2</sub>.

5) Calcolo del valore monetario della riduzione

Sul mercato internazionale BlueNext (EUA) una tonnellata di CO<sub>2</sub> è quotata 15 euro

$$223,47 \times 15 = 3.352 \text{ euro/anno}$$

### **Smaltimento ceneri**

La normativa italiana classifica le ceneri, derivanti dalla combustione di materiale legnoso non trattato, rifiuto non pericoloso e vanno quindi conferite in discarica. Sono classificate, in particolare, come un rifiuto codice **CER 100103 ceneri leggere di torba e di legno non trattato**.

La cenere è il residuo inorganico del processo di combustione e contiene elementi nutrienti come calcio, potassio, fosforo, magnesio e sodio; il suo eventuale spargimento sul suolo può essere valutato positivamente come concime o fattore di correzione delle proprietà del terreno. La funzione di concime è intesa come reinserimento nel terreno di quantità sensibili di elementi nutritivi precedentemente asportati dalla vegetazione. Il fattore correttivo riguarda i suoli acidi, infatti la cenere contiene metalli alcalino – terrosi (Calcio e Magnesio) e, in maniera minore, alcalini (Potassio e Sodio) in grado di innalzare il pH del suolo.

Attualmente in Italia lo spargimento diretto su suolo agricolo o forestale di ceneri proveniente da combustione da biomassa non è consentito dalla legislazione e perciò devono essere conferite in discarica, trattate come rifiuto non pericoloso secondo il D-Lgs. 22/97.

Nell'impianto in questione il trattamento delle ceneri è realizzato tramite un'azienda specializzata, azienda di Pistoia DIFE s.r.l., che provvede alla raccolta delle ceneri presso l'impianto tramite autotreno scarrabile e poi provvede al loro conferimento in discarica presso impianti autorizzati (in particolare vengono conferite a una discarica situata a Rosignano Marittimo, REA).

Il costo di smaltimento è stimato in 0,20 euro al kg, a tale importo deve aggiungersi il costo di trasporto pari a 300 euro a viaggio e il costo iniziale per le analisi di caratterizzazione delle ceneri pari a 350 euro.

Lo smaltimento ceneri dove le ceneri sono considerate un rifiuto per un'azienda non agricola, quindi devono essere smaltite con un costo rilevante : ogni anno va fatta l'analisi e la riqualificazione del rifiuto dell'ordine di 100-120 euro/tonnellata.

Se la combustione è efficiente e il cippato è di buona qualità e le ceneri sono dell'ordine dell'1% è poco significativo, ma se il cippato è umido e sporco le ceneri diventano il 6-7% e diventa un problema.

La combustione di legna crea, quindi, dei residui di cenere (nell'ordine di circa l'uno per cento in peso rispetto al peso della legna bruciata). Se la percentuale di corteccia è particolarmente elevata, questa proporzione può aumentare. Appare necessario garantire una corretta valorizzazione/smaltimento di questa cenere.

Le principali componenti della cenere di legna come abbiamo visto sono il calcio, il silicio, il potassio e il magnesio, presenti perlopiù sotto forma di ossidi. Dal punto di vista dell'uso della cenere come fertilizzante, ad essere rilevante è la quantità di calcio, potassio e fosforo. Il contenuto di questi elementi si situa tra il 20 – 25 % per il calcio, dal 2 fino al 10% per il potassio e dal 0.5 fino al 1.5% per il fosforo. Il calcio non può però essere considerato soltanto come fertilizzante, in quanto ha l'importante funzione di mantenimento della fertilità del suolo. Il contenuto di metalli pesanti (piombo e zinco) nei differenti tipi di cenere varia; quanto più la percentuale di legna non naturale, carta, imballaggi o addirittura rifiuti domestici è elevato, tanto più alto sarà il contenuto di metalli pesanti nelle ceneri.

È importante sottolineare che secondo l'Ordinanza federale sull'inquinamento atmosferico, nei riscaldamenti a legna a carica manuale quali ad esempio le stufe da camera, i caminetti, le pigne, ecc., può essere utilizzata unicamente legna allo stato naturale, non trattata in alcun modo.

Siccome la cenere di legna contiene importanti quantitativi di potassio e di fosforo, può essere presa in considerazione come fertilizzante. Rispetto al composto o ai fanghi di depurazione, il contenuto di azoto e di sostanza organica è tuttavia limitato. Per potere essere usata come fertilizzante, il contenuto di metallo pesanti della cenere non deve oltrepassare dei valori indicativi. Essa deve inoltre essere possibilmente esente da corpi estranei, quali pietre o grumi. Questi valori indicativi sono rispettati solo nel caso di cenere derivante dalla combustione di legna allo stato naturale.

La sostanza nutritiva che determina il limite è in pratica il potassio. Il quantitativo massimo utilizzabile equivale a 8 tonnellate per ettaro e per ogni tre anni. Durante lo stesso periodo vegetativo non bisognerà dunque spargere altro concime proveniente da scarti come composto. Per garantire un bilancio equilibrato di sostanze nutritive e per controllare la qualità, l'ufficio regionale competente in materia di concimazione dovrà stabilire se nelle singole situazioni l'uso di cenere di legna su superfici agricole è sensato.

Accanto all'uso come fertilizzante, la cenere di legna può essere valorizzata a livello industriale anche come componente aggiuntiva nell'industria del cemento. I quantitativi prodotti sono tuttavia piuttosto esigui e quindi l'uso industriale di questa cenere è in genere poco interessante. La cenere di legna che non viene utilizzata né come fertilizzante né nell'industria, deve essere smaltita in modo rispettoso dell'ambiente.

#### L'utilizzo delle ceneri nel cemento.

Il concetto di sviluppo sostenibile prevede, prima di tutto e soprattutto, un uso giudizioso delle risorse naturali; infatti nel 2002 Collepardi indicava quali cardini di uno sviluppo sostenibile i seguenti:

- ▶ massimo risparmio delle risorse energetiche e delle materie prime non rinnovabili;
- ▶ minimo inquinamento dell'ambiente, riutilizzando scorie provenienti anche da altri processi quali nuove risorse per una produzione eco-compatibile

Per Mehta vi è la possibilità di legare intimamente i principi-cardine indicati da Collepardi assumendo che il danno ambientale “*D*” sia espresso dalla seguente funzione:

$$D = f ( P, I, W )$$

dove *P* = popolazione; *I* = indice di industrializzazione; *W* = rendimento di utilizzo delle risorse naturali.

Stime attendibili parlano di una crescita da 6 ad 8 miliardi della popolazione mondiale nel 2036 fino a raggiungere i 9,2 miliardi nel 2050; a ciò si aggiunga una corrispondente crescita a livello industriale. Sicché, volendo minimizzare il danno ambientale “*D*”, non si può che intervenire sul termine “*W*”.

Solo il 6% del totale dei materiali in circolazione finisce con il diventare bene di consumo, mentre gran parte del materiale vergine ritorna all'ambiente sotto forma di rifiuto sia esso liquido, solido o gassoso.

Fino a qualche decennio fa, influenzati dalla rivoluzione industriale, si è data enfasi esclusivamente alla produttività visto che le risorse naturali erano abbondanti e l'ambiente in buona salute. Tale scenario è purtroppo cambiato e necessariamente si deve ricorrere ad un aumento del rendimento dei materiali vergini sì da ottenere un triplice beneficio:

- 1)annientare lo spreco di risorse utilizzando solo lo stretto necessario;
- 2)diminuire l'impatto ambientale dei processi produttivi;
- 3)fornire basi solide per un incremento di forma lavoro a livello mondiale.

Si pone la definizione di sviluppo sostenibile come “un'attività economica in armonia con l'ecosistema terrestre”. In quest'ottica una sfida dei ricercatori operanti nel settore dei materiali da costruzione è rappresentata dal riciclo di scorie provenienti da altri processi industriali con l'obiettivo di produrre prodotti più economici e magari più prestanti.

Il cemento Portland, il principale legante utilizzato nel moderno calcestruzzo, non solo richiede un grosso utilizzo di energia per la sua produzione ma è anche responsabile di una notevole emissione di CO<sub>2</sub>.

L'industria del cemento è responsabile per circa il 5-7% dell'emissione globale di CO<sub>2</sub>; la produzione di una tonnellata di clinker di cemento Portland implica l'emissione in atmosfera di una tonnellata di anidride carbonica. Mediamente un calcestruzzo ordinario contiene circa il 12% di cemento, l'8% di acqua e l' 80% di aggregati. Ciò significa che oltre a 1,5 miliardi di tonnellate di cemento, nel Mondo, l'industria del calcestruzzo consuma annualmente 10 miliardi di tonnellate di sabbia e roccia unitamente ad un miliardo di tonnellate d'acqua.

L'estrazione, la trasformazione ed il trasporto di tali enormi quantità di aggregati, in aggiunta ai circa 3 miliardi di tonnellate di materiale grezzo di cui annualmente necessita la produzione di cemento, rappresentano un ingente consumo di fonti non rinnovabili. E' possibile ridurre l'impatto ambientale dell'industria del calcestruzzo. . Si è presa in considerazione una soluzione a breve termine attraverso l'utilizzo di sottoprodotti di altri processi industriali, quali le ceneri da biomassa, in parziale sostituzione del clinker di cemento Portland al fine di ridurre l'impatto ambientale legato allo smaltimento di un rifiuto e quello legato alle emissioni di anidride carbonica connesse con la produzione di clinker in cementeria.

In termini di produzione energetica la biomassa consiste in tutto quell'insieme di materiali organici che possono essere utilizzati direttamente come combustibili oppure trasformati in altre sostanze (solide, liquide o gassose) di più facile utilizzo negli impianti di conversione. Le più importanti tipologie di biomassa sono residui forestali, scarti dell'industria della trasformazione del legno (trucioli, segatura, ecc.), scarti delle aziende zootecniche, i rifiuti solidi urbani (limitatamente alla sola parte organica), residui delle coltivazioni destinate all'alimentazione umana o animale (paglia) o piante espressamente coltivate per scopi energetici.

Il principale vantaggio ambientale conseguente allo sfruttamento della risorsa biomassa per fini energetici consiste nel limitare l'emissione di anidride carbonica in atmosfera poiché quella rilasciata durante la decomposizione, sia che essa avvenga naturalmente sia per effetto della conversione energetica, è equivalente alla quantità di anidride carbonica assorbita durante la crescita della biomassa stessa. In Italia la diffusione degli impianti energetici basati sulla biomassa rende significativo il problema dello smaltimento delle ceneri residue che sono prodotte in quantità elevate. Per queste ceneri l'attuale legislazione sui rifiuti offre le seguenti possibilità:

- conferimento in discarica
- recupero in cementifici e nell'industria dei laterizi;
- produzione di fertilizzanti;
- autorizzazione allo spandimento a scopo agricolo

Il recupero in cementifici e nell'industria dei laterizi è previsto dal D.M. 5 Febbraio 1998; tale operazione è sottoposta a procedura semplificata (comunicazione anziché autorizzazione). Il suddetto decreto si occupa appunto delle ceneri da impianti di combustione di biomasse ed affini, fanghi di cartiera inclusi.

Purtroppo nella realtà gli impianti che producono questo tipo di ceneri incontrano non poche difficoltà nel trovare qualcuno disposto ad attuare il loro recupero; ciò è dovuto a problemi legati esclusivamente alla mancanza di figure professionali competenti, tanto nei processi industriali legati alla loro produzione, quanto nei processi industriali legati alla produzione di cemento. Infatti, l'eterogeneità che caratterizza la qualità delle ceneri è correlabile, come ovvio, con la natura della biomassa utilizzata.

In precedenza si è visto come la produzione delle ceneri da biomassa avvenga a mezzo di diversi processi tecnologici sì da ottenere ceneri estremamente eterogenee dal punto di vista delle caratteristiche fisico – chimiche.

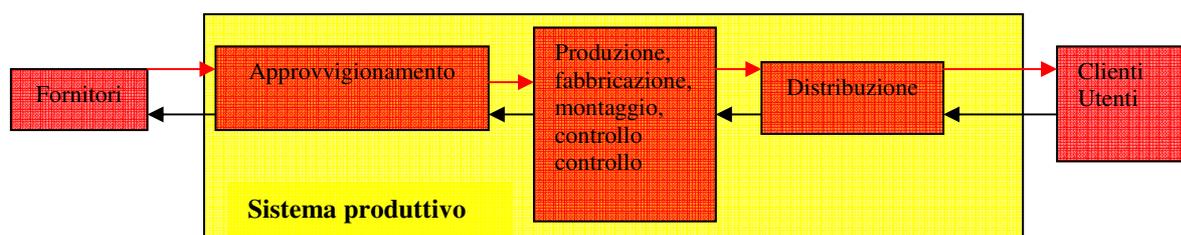
A ciò si aggiunga l'eterogeneità del materiale di partenza, a proposito di ceneri derivanti dalla combustione di legno, con forti influenze sul buon esito delle applicazioni in calcestruzzi strutturali imputabili, tanto al diverso metodo di trattamento, quanto a differenti caratteristiche fisico-chimiche dettate dalla specie arborea e persino dalle diverse condizioni e zone di crescita. Alla caratterizzazione fisica delle ceneri è stata affiancata anche una caratterizzazione chimico-morfologica eseguita attraverso un'analisi al microscopio elettronico a scansione (SEM). La caratterizzazione morfologica delle ceneri usate per la produzione di calcestruzzo è fondamentale per la spiegazione di alcuni comportamenti fisici, meccanici e reologici di calcestruzzi di tipo *HVFA (High Volume Fly Ash)* tanto allo stato fresco quanto a quello indurito.

### 3.2.1. Filiera bosco - legno – energia

Per **filiera bosco-legna-energia** si intende l'insieme organizzato dei fattori di produzione, trasformazione, trasporto e utilizzazione del legname a fini energetici. La filiera comprende quindi tutte le azioni intermedie della trasformazione della legna in calore: partendo dalle operazioni di taglio, depezzatura, raccolta ed esbosco, passando a quelle di essiccazione, sminuzzamento e stoccaggio, fino ad arrivare all'alimentazione della caldaia.

Della filiera fanno parte tutti i soggetti economicamente e socialmente coinvolti: Enti Pubblici, imprenditori privati, consorzi, cooperative e aziende che lavorano il legno. La filiera bosco-legno-energia si differenzia dalla semplice attività di fornitura di biomassa legnosa in quanto prevede l'organizzazione logistica di tutte le attività e attori coinvolti secondo un processo a catena, ottimizzato nei tempi e nei costi, che contempla le fasi precedentemente introdotte.

L'obiettivo è quello di garantire e far percepire ai clienti un elevato livello di servizio, fornendo prodotti di alta qualità, con brevi tempi di consegna e possibilmente a prezzi competitivi, o almeno un rapporto qualità/prezzo adeguato e giustificato.



### **Schema della catena logistica.**

Con filiera si intende, quindi, l'insieme delle aziende che concorrono a produrre, distribuire e commercializzare un dato prodotto. La **filiera del legno** viene definita corta quando le materie prime provengono da un territorio contenuto in un raggio di 70 km dall'impianto.

La nascita delle filiere corte del legno di impianti sul territorio dell'Appennino comporta la nascita di una nuova economia a scala locale totalmente sostenibile, che consente alle imprese agricole locali di trovare nuove forme di sostentamento legate alla gestione del bosco con **vantaggi** a livello occupazionale e ambientale.

Tale filiera porta infatti alla nascita di posti di lavoro legati alla manutenzione dei boschi e al conferimento dei materiali all'impianto. La costituzione e il successivo sviluppo di una filiera bosco-legna-energia in queste zone marginali, caratterizzate tuttora da un contesto di forte crisi e decadimento, potrebbe rappresentare un'ottima opportunità di riscatto.

Infatti:

- si sfrutterebbe un'ampia risorsa oggi parzialmente o completamente inutilizzata;
- si avrebbero positive ripercussioni in termini occupazionali, garantendo nuove opportunità lavorative a operatori forestali, dottori in scienze agrarie, ingegneri ambientali e gestionali e manodopera qualificata;
- attraverso i complementari interventi di gestione, manutenzione e miglioramento, si attuerebbe una maggior tutela del patrimonio boschivo, preservandolo dall'abbandono, prevenendo il dissesto idrogeologico e riducendone la vulnerabilità ad incendi e frane. La presenza di rami secchi, fogliame e sterpaglie sul suolo assume grande rilevanza nella propagazione degli incendi. A tal proposito, alcuni esperti ritengono che l'allontanamento dal letto di caduta delle ramaglie comporta un minor rischio di incendi, di proliferazione di insetti dannosi per l'intero soprassuolo e, durante le precipitazioni, non viene ostacolato il regolare deflusso dei corsi d'acqua; altre linee di pensiero, invece, affermano che il materiale vegetale lasciato in sito, decomponendosi favorisce l'arricchimento in sostanza organica del suolo. Quel che è certo è che il bosco deve essere tutelato in quanto, oltre a svolgere funzioni di protezione e di nicchia ecologica per molte specie, vegetali e animali, costituisce una riserva d'acqua e d'ossigeno ed esercita una forte influenza sul clima locale;

- la gestione del patrimonio boschivo migliorerebbe la produttività, l'accessibilità e la fruibilità dei prodotti del sottobosco, quali funghi, bacche e frutti selvatici; in tal modo si incentiverebbe la riscoperta di questi luoghi, oggi spesso dimenticati, il che offrirebbe, alla popolazione locale, ulteriori opportunità di guadagno;
- a fronte di un investimento connotato da brevi tempi di ritorno, in genere da 4 a 8 anni, a seconda della complessità dell'impianto, si avrebbero consistenti risparmi in termini energetici, quindi economici. Infatti, a parità di resa calorica, il costo delle biomasse legnose, nonostante il relativo mercato non sia ancora del tutto strutturato, risulta già ora inferiore a quello di molti combustibili fossili, quali il GPL o il gasolio;
- se correttamente valorizzate, le biomasse legnose producono emissioni comparabili a quelle del gas naturale. Il processo di combustione, infatti, è sostanzialmente neutro: il quantitativo di anidride carbonica emesso è pari a quello assorbito dalla pianta durante la fase di accrescimento.

*Quindi la CO<sub>2</sub> che contribuisce all'effetto serra è principalmente conseguente alle fasi di taglio, allestimento, esbosco, trasformazione e trasporto; per questo motivo sarebbe opportuno adottare macchine alimentate a biodiesel e sfruttare la biomassa presso utenze non eccessivamente distanti dal luogo di produzione, in caso contrario le emissioni connesse al trasporto non potrebbero più essere trascurare.*

Vi sono inoltre **vantaggi indiretti** : il valore aggiunto che un bosco curato porta a livello ambientale e paesaggistico, con ricadute positive nel settore turistico; la riduzione degli effetti di dilavamento e degli smottamenti a cui il territorio appenninico è soggetto.

Le possibilità di sfruttamento della biomassa sono tuttavia **limitate** da una serie di fattori che ostacolano lo sviluppo della filiera :

- l'insufficiente informazione determina una scarsa conoscenza da parte della popolazione circa i potenziali benefici, non solo in termini ambientali, ma anche economici e sociali. I moderni sistemi di riscaldamento a combustibili legnosi funzionano al pari di quelli convenzionali, alimentati a gas o a gasolio, sono solo meno comuni e conosciuti. Avviare un progetto di un sistema di riscaldamento a legna dove non sia mai stato realizzato qualcosa di simile non è certamente un compito facile, e richiede un considerevole sforzo, anche comunicativo. Tuttavia è un'azione che, in caso di successo, può rivelarsi molto remunerativa in quanto si può prevedere la realizzazione, nelle aree limitrofe, di molti altri impianti;
- una domanda ancora modesta, per altro, spesso stagionale e frammentata;

- un mercato in costante crescita, ma non ancora totalmente strutturato. Benché in tutta Italia si riscontri grande abbondanza di combustibili legnosi, la loro distribuzione e fornitura non è ancora ben organizzata;
- uno scarso valore e, soprattutto, una ridotta densità energetica, se confrontata con quella dei combustibili fossili, che rende fortemente oneroso il trasporto su lunghe distanze. Infatti, è stato calcolato che una centrale a biomassa ubicata oltre un raggio di 30÷40 km dalla zona di prelievo del legname diventa antieconomica. Pertanto, prima di adottare una particolare tecnologia di riscaldamento (caldaia a pezzi di legna, a cippato o a pellets) è importante analizzare le diverse disponibilità di rifornimento del combustibile presenti sul territorio e assicurarsi contratti di fornitura a lungo termine con rivenditori affidabili e competenti;
- difficile accessibilità, spesso legata allo scarso sviluppo della viabilità forestale, all'elevata pendenza, all'instabilità dei versanti, alla modesta capacità portante del terreno, a eventuali limitazioni d'uso dei suoli e alla presenza di vincoli. Riguardo ai boschi non accessibili, ma denotati da potenzialità di gestione attiva, la creazione di una rete viaria è talora possibile, ma a costi spesso non giustificabili, se rapportati ai guadagni ottenuti dalla biomassa legnosa estraibile, almeno in assenza di rilevanti finanziamenti pubblici;
- scarsa dotazione di mezzi appropriati da parte degli operatori forestali, infatti per ottimizzare le operazioni è necessario essere provvisti di attrezzature all'avanguardia, quali verricelli, gru a cavo leggere, rimorchi autocaricanti e cippatrici;
- carenza di operatori professionali sul territorio : dottori in scienze forestali (gestione degli interventi di valorizzazione del patrimonio boschivo), ingegneri gestionali (l'organizzazione logistica di tutte le attività e di tutti gli attori coinvolti nella filiera puntando, attraverso criteri di ottimizzazione, alla massima efficacia ed efficienza in termini di tempi e di costi).

Inoltre ingegneri ambientali (minor impatto delle operazioni di filiera attraverso l'applicazione di sistemi di controllo e abbattimento delle emissioni, per far sì che i quantitativi di anidride carbonica emessa siano tali da poter essere assorbiti dalle piante, cosicché il ciclo possa ritenersi ad impatto zero o comunque di gran lunga inferiore rispetto a quello provocato dai combustibili fossili), tecnici e manodopera qualificata Tutto ciò richiede un investimento monetario non trascurabile.

### **Difficoltà pianificazione filiera**

Lo sviluppo di progetti volti alla valorizzazione energetica delle biomasse agro-forestali è un iter complesso :

- vasto numero di attori economici e sociali coinvolti;
- raggiungimento di un equilibrio, su scala locale, tra domanda e offerta di biomassa;
- complessità progettuale combinata all'esigenza di economicità e allo scarso coordinamento tra esperienze analoghe progettuali pregresse, elemento indispensabile per arricchire il *know how* acquisito ed evitare interventi isolati;
- mancanza di un approccio imprenditoriale nella progettazione degli interventi;
- ridotto interesse e coinvolgimento di investitori privati e delle Pubbliche Amministrazioni.

Analizzando i dati raccolti nei PFT (Piano Forestale Territoriale) relativi alla superficie boscata, conoscendo i coefficienti di esbosco, per varietà arborea e per tipologia di gestione boschiva, e i coefficienti relativi all'attitudine alla cippatura delle specie legnose esboscate, è possibile individuare aree di interesse ed effettuare per ognuna di esse una prima sommaria stima della quantità annua esboscabile e destinabile alla cippatura.

L'**indice di boscosità** è dato dal rapporto fra la superficie boschiva e la superficie totale della zona considerata; esso permette di visualizzare immediatamente zone di potenziale interesse. Laddove tale indice sia almeno pari al 30%, la zona è suscettibile di essere sfruttata per la costituzione di una filiera legna-energia.

Il calcolo della quantità di **biomassa prelevabile** è realizzato ricorrendo a **coefficienti di prelievo** relativi a masse legnose effettivamente esboscabili, catalogati per specie forestale e per tipologia di intervento di valorizzazione del territorio. Essi possono consistere in tagli di miglioramento, realizzabili su popolamenti non maturi (ne sono un esempio le conversioni e i diradamenti), oppure in tagli di rinnovazione, attuabili su popolamenti adulti-maturi governati a ceduo o a fustaia.

Nel caso di area boschiva-forestale a gestione passiva, cioè in assenza di piani di intervento di valorizzazione, sarebbe opportuno non prelevare alcuna quantità, perché la biomassa può considerarsi una risorsa rinnovabile solo se gestita secondo criteri di sfruttamento razionale.

La **Stima della quantità di biomassa cippabile** è effettuata tenendo conto dei coefficienti percentuali di attitudine alla cippatura, per tipo di assortimenti legnosi potenzialmente ottenibili con i tagli previsti in zone di gestione attiva del patrimonio boschivo.

Una pianificazione e gestione appropriate apportano benefici diretti all'ecosistema forestale e all'ambiente in cui esso è inserito, e mirano a ricomporre nel tempo una componente arborea stabile e mista, in grado di perpetuarsi, conservando una continuità qualitativa e quantitativa. Gli interventi selvicolturali perciò non devono consistere in un'asportazione totale della biomassa ricavabile da un'utilizzazione forestale, ma devono essere possibilmente regolati da piani di assestamento forestale, redatti da tecnici competenti, allo scopo di ottenere una produzione legnosa regolare e continua del tempo, senza compromettere l'evoluzione e rinnovamento del bosco.

A seguito di una significativa domanda di legna da ardere o da utilizzarsi per altri scopi produttivi, sia giustificata la presenza del ceduo, è bene intervenire con operazioni di miglioramento, quali **sfollamenti** e **diradamenti** (taglio degli individui che presentano meno manifeste potenzialità di crescita) orientati ad incrementarne la produttività e la qualità.

Questi interventi si traducono, in tempi ragionevolmente ridotti, in una maggiore percorribilità e fruibilità del bosco, in un incremento del suo valore paesaggistico, in una minore vulnerabilità agli incendi e ai parassiti e alla sopravvivenza delle specie sia vegetali, sia animali.

Un intervento più marcato è la **conversione del ceduo in fustaia** al fine di stimolare l'accrescimento delle piante e favorirne la rinnovazione. Essa è di norma riservata ad aree in cui si riscontri la presenza di specie di maggior pregio, le quali possano stimolare il proprietario privato ad investire in questo processo. Eventuali interruzioni, durante l'attuazione della conversione rischiano di compromettere il successo finale dell'intervento. Tra i metodi più attuati e diffusi, è da segnalare quello dell'**invecchiamento** che consiste nella sospensione dei tagli dei cedui al fine di ottenere un invecchiamento complessivo delle piante, dopodiché si operano tagli di preparazione e di rinnovazione.

Una ulteriore metodologia, che ha avuto una notevole importanza nell'insieme degli interventi di carattere forestale in Italia, è quella dei **rimboschimenti** di terreni nudi o cespugliati.

La biomassa forestale in rapporto alla realtà fisica dei luoghi dell'Appennino è quella individuata come fonte rinnovabile con maggiore possibilità di utilizzo nel territorio e come componente capace di dare luogo ad uno sviluppo significativo di attività economiche sia sotto l'aspetto della produzione della "materia prima", che sotto l'aspetto delle ricadute occupazionali nell'indotto e nei servizi.

Per questa ragione, aiutati in questo anche dalla convergenza di incentivi e finanziamenti disposti anche dai piani regionali e provinciali, la maggior parte dei progetti e delle realizzazioni ha riguardato tale settore. Obiettivo è di creare delle filiere legno (da silvicoltura) sostenibili anche se occorre stare dentro a un raggio di 70 km tra luogo di approvvigionamento e luogo di utilizzo.

Se creiamo impianti che hanno necessità di quantitativi **troppo piccoli** la filiera complessiva (sistemi di esbosco, trattamento legno, trasformazione, conservazione ecc) non parte perché hanno valori economici bassi e non permettono adeguati investimenti; viceversa quantitativi **troppo grandi**, come impianti di potenza molto elevate e con necessità di materiale che occupano aree vaste, hanno un impatto ambientale eccessivo anche perché c'è *l'impatto del trasporto e viabilità* o acquistare legname in posti dove costa meno piuttosto che in loco e quindi grande impatto ambientale.

Quindi una concentrazione locale con pochi soggetti in linea col principio della partecipazione della popolazione all'utilizzazione del proprio territorio e di creare distretti locali. Incentivare le piccole filiere distribuite sul territorio con impianti di piccola media-taglia che rimangono vicini alle utenze termiche.

**Per poter essere sostenibile la filiera** deve:

- essere di piccole dimensioni
- coinvolgere le realtà agricole e forestali locali
- avere un bacino di approvvigionamento limitato (circa 70 km)

L'utilizzo della biomassa è scarsamente efficiente dal punto energetico, cioè poca dell'energia contenuta nella materia prima in realtà si trasforma in energia anche se dipende dalla tecnologia usata per tale trasformazione. Se poi oltre al calore facciamo anche cogenerazione, allora l'efficienza totale sale e si avvicina a valori > 85% di efficienza energetica come le fonti convenzionali. Importante è quando si genera energia elettrica riuscire a utilizzare il massimo del calore, perché se il rendimento elettrico di un sistema è il 30% il resto è calore dissipato nell'ambiente (dannoso anche) che è quello che fanno le grosse centrali lontano dalle utenze.

CoSea che ha cofinanziato gli impianti tiene la gestione amministrativa e supervisione e telecontrollo, mentre la parte tecnica e la manutenzione è terziarizzata. La fornitura cippato avviene da aziende agricolo-forestali locali con provenienza certificata e documentata. Lo smaltimento ceneri è effettuato da ditte specializzate nel settore.

Far sì che anche tutta la parte combustibile, tecnologia, progettazione e la manutenzione venga tutta dal territorio locale.

Le caratteristiche che i costruttori di caldaie chiedono ai produttori di cippato:

- pezzatura
- dimensione
- umidità

La qualità del cippato non corrispondente ai requisiti chiesti dai costruttori delle macchine, progettate in base alle caratteristiche del loro cippato. Le caldaie di piccole-medie dimensione sono molto suscettibili alle variazioni delle caratteristiche del cippato sia in termini di pezzatura che di umidità. Si forma così ceneri in quantità maggiore a quelle previste con conseguente problema economico. A causa dell'elevata sensibilità a tali parametri è facile avere perdite di potenza.

Infine un numero elevato di **fermi impianto** per blocchi del sistema di caricamento (coclee) : *basta un pezzo più lungo che si mette storto, i sistemi software delle coclee provano qualche volta a sistemare ma dopo bisogna intervenire manualmente e fare ripartire il tutto.*

Le perdite di efficienza di fermo impianto sono dovute a problemi di carattere meccanico o per processi di combustione. Spesso **il cippato arriva con impurità** (grande polvere e terra all'interno) e *a quelle temperature le ceneri che contengono anche terra, silice fondono e creano agglomerati sulle griglie e l'aria non entra più e perde di efficienza e bisogna intervenire.*

**Intervenire sull'offerta** mirando a uno sviluppo di impianti di piccola-media taglia con tecnologie semplici, tramite la realizzazione di un numero di impianti sufficiente a creare la domanda e a dimostrare la fattibilità e la convenienza economica di tali impianti.

Essenziale è garantire la certezza nel tempo di forniture in quantità e soprattutto in qualità (pezzatura, umidità, assenza di corpi estranei ecc.) adeguate alle esigenze di una gestione industriale dell'impiantistica di piccola e media taglia. Realizzazione una piattaforma idonea per l'essiccazione sono le pre-condizioni per avere un materiale di qualità. Altrimenti si dovranno usare tecnologie più pesanti con impianti di grossa taglia meno sensibili alla qualità del combustibile, che però negano lo sviluppo territoriale a cui tendenzialmente si orienta il CISA.

Sulla parte del calore sono tutti business plan positivi anche perché hanno goduto di una quota di contributo del 20-30-40% dai vari piani provinciali e regionali. Può avvenire un blocco del gassificatore con un fermo di 5-6 giorni per manutenzione.

**Per fare 1 MW elettrico bisogna fare almeno 3 MW termici → avere quindi un quantitativo di legname ampio e quindi coprire una vasta area, però impianti così grandi costano molto e sono ancora poche le ditte che possono permetterselo.**

### **3.2.2. Il software Mini Bref : parte ambientale**

Il MINIBREF è un programma appositamente sviluppato per la valutazione di massima delle *emissioni inquinanti* ed i *potenziali di inquinamento* di una o più centrali termoelettriche e per permette un primo confronto fra soluzioni impiantistiche alternative, focalizzando l'attenzione sull'impatto ambientale ad esse associato, in vista di indirizzare l'utente verso l'alternativa migliore.

Il MINIBREF permette di simulare il funzionamento di qualsiasi centrale termo-elettrica grazie alla possibilità di combinare la tecnologia dell'impianto di produzione dell'energia dalla generica tecnologia (turbogas, MCI, a ciclo combinato, cogenerativo, ecc.) con il tipo di combustibile. Il programma permette la scelta di vari combustibili, sia di genere fossile sia di genere rinnovabile che fanno riferimento ad un ampio database che ne raccoglie le principali proprietà, fra le quali potere calorifico inferiore e composizione chimica elementare.

Il nome stesso del programma fa chiaro riferimento al *BREF* intitolato *Reference Document on Economics and Cross-media effects* , un documento in cui vengono esposti i sette *indici di inquinamento* :

**PTU, GWP, TEI, ACID, EUTR, OZON\_ST e OZON\_FC**

utili alla comparazione, in termini di impatto ambientale, di soluzioni impiantistiche alternative.

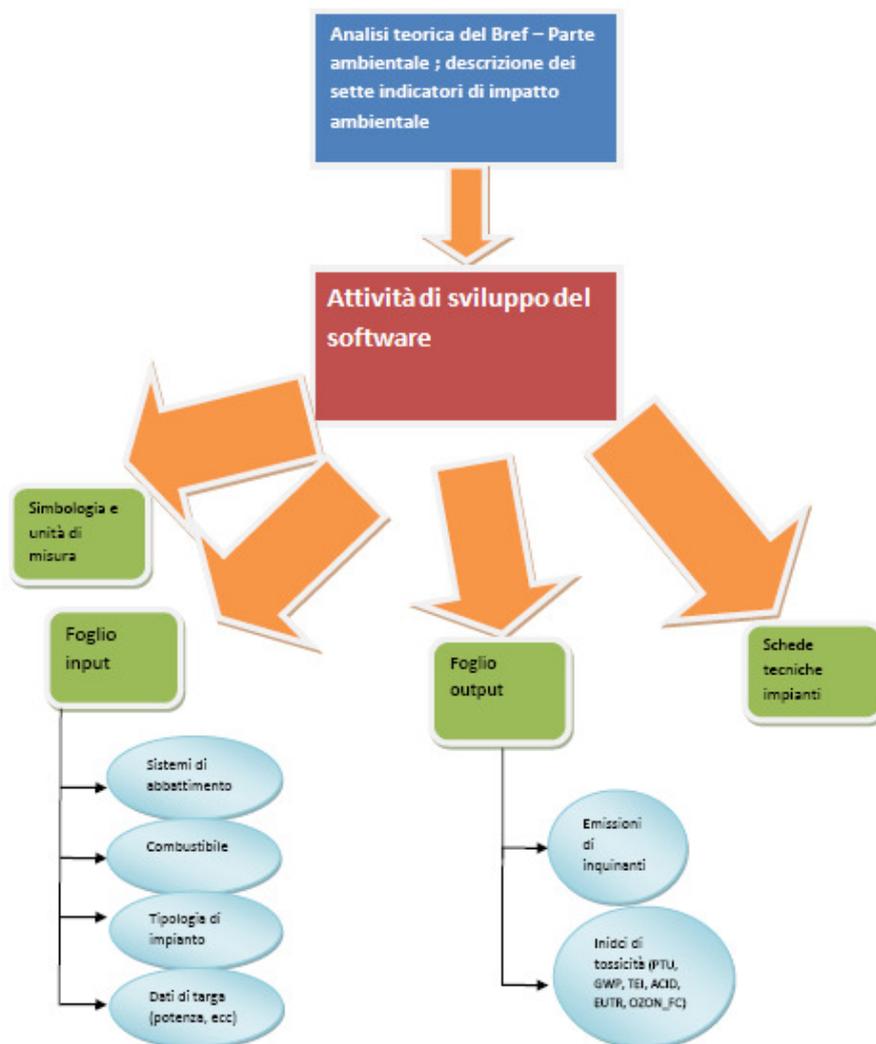
Volendo sviluppare un programma di semplice utilizzo si è scritto il MINIBREF nel linguaggio di programmazione *Visual Basic* supportato da *Microsoft Excel di Office 2003* ed il risultato ottenuto è un foglio di calcolo di intuitivo utilizzo anche grazie al supporto delle Macro.

L'UE, nel quadro della sua direttiva IPPC è attiva nella preparazione di documenti che descrivono lo stato dell'arte nei vari settori industriali e i relativi standard ambientali collegati alle migliori tecniche disponibili BAT (Best Available Technologies) con la pubblicazione di documenti di riferimento chiamati BREF (Best Reference). I documenti disponibili nel sito dell'EIPPCB (European Integrated Prevention Pollution and Control Bureau) sono essenzialmente dei documenti di riferimento che riguardano le migliori tecniche disponibili per un dato settore industriale BREF/BAT (Reference Document on Best Available Techniques).

Si possono dividere in due categorie una *trasversale* e l'altra *settoriale*.

I documenti *trasversali* si riferiscono ad argomenti e tecniche che possono interessare alcuni o tutti i settori industriali come quello delle valutazioni economiche ed ambientali (Economics and Cross-Media Effects), il monitoraggio ambientale, l'emissione di composti volatili o le tecnologie generali per il trattamento di scarichi industriali ed emissioni gassose. I documenti *settoriali* si riferiscono invece a un settore industriale specifico e contengono informazioni che riguardano non solo le tecnologie ambientali del settore ma anche quelle di produzione con gli impatti ambientali e i consumi che le caratterizzano.

Schema concettuale dell'aspetto ambientale :



La stima degli effetti ambientali può essere effettuata attraverso l'uso di indicatori riferiti a diverse tematiche come :

- effetti climatici
- effetti per l'aria (ozono, acidificazione)
- effetti per l'acqua (eutrofia, ecosistemi d'acqua)
- tossicità per l'uomo
- consumi di energia

Vengono presi in considerazione 7 indicatori ambientali:

### **Tossicità umana (PTU)**

I potenziali effetti tossici delle attività industriali sono legati alla tipologia di sostanza chimica, alla massa rilasciata in aria e alla sua tossicità. Per calcolare il potenziale di tossicità umana (PTU) di un processo industriale si propone un approccio che utilizza la formula seguente:

$$PTU \text{ (kg Pb eq)} = \sum_i m_i(\text{kg}) / HTF_i$$

- il Potenziale di Tossicità Umana PTU è un numero indicativo (espresso come kg di piombo equivalente), utile per confrontare situazioni alternative, che assume valore maggiore quanto maggiore è la tossicità potenziale.
- $m_i$  è la massa in kg dell'inquinante  $i$
- il fattore di tossicità dell'inquinante HTF (Human Toxicity Factor) è un numero adimensionale

### **Effetto serra (GWP)**

I potenziali di riscaldamento globale (GWPs - Global Warming Potentials) sono una metodologia per stimare il contributo che alcuni gas danno al cosiddetto "effetto serra". Le emissioni in massa dei singoli gas serra possono essere moltiplicate per i relativi GWP e sommate per ottenere il contributo totale espresso in kg di CO<sub>2</sub> equivalente, utilizzando la seguente formula:

$$GWP_{\text{totale}} \text{ (kg CO}_2 \text{ eq)} = \sum_i GWP_i \times m_i \text{ (kg)}$$

- $GWP_{\text{totale}}$  è la somma dei contributi dei singoli gas espressa in kg di anidride carbonica CO<sub>2</sub> equivalente
- $GWP_i$  rappresenta il potenziale di riscaldamento del singolo gas serra.
- $m_i$  è la massa del singolo gas serra espressa in kg

### **Tossicità negli ecosistemi idrici (TEI)**

Gli scarichi in ambiente acquatico possono determinare effetti tossici sugli ecosistemi idrici. La tossicità di un singolo inquinante può essere espressa in mg/l come PNEC (Predicted No Effect Concentration), che rappresenta la concentrazione dell'inquinante per la quale non può essere misurato alcun effetto tossico.

Dividendo la massa dell'inquinante per il suo PNEC, è possibile calcolare il volume d'acqua teorico necessario per diluire lo scarico al di sotto della sua soglia di tossicità. Considerando più inquinanti la formula diventa:

$$TEI (m^3) = \sum_i m_i (kg) \times 10^3 / PNEC_i (mg/l) \times 10^{-3} \times 0,001$$

- la Tossicità negli Ecosistemi Idrici TEI è la quantità d'acqua (in m<sup>3</sup>) necessaria per diluire lo scarico al di sotto della sua soglia di tossicità
- $m_i$  è la massa in kg dell'inquinante  $i$  rilasciato in acqua (moltiplicata per 10<sup>3</sup> per convertirla in grammi)
- PNEC <sub>$i$</sub>  è la concentrazione dell'inquinante  $i$  per la quale non può essere misurato alcun effetto tossico (in mg/l), moltiplicata per 10<sup>(-3)</sup> per esprimerla in g/l
- la moltiplicazione per il fattore 0,001 converte i litri in m<sup>3</sup>

#### **Acidificazione (ACID)**

I principali gas che contribuiscono all'acidificazione sono il biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>), l'ammoniaca (NH<sub>3</sub>) e gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>). Per calcolare l'effetto acidificante in kg di SO<sub>2</sub> equivalente è possibile, in maniera analoga a quanto fatto per l'effetto serra, moltiplicare la massa dell'inquinante per un potenziale acidificante AP (Acidification Potential) e quindi sommare i contributi dei singoli gas utilizzando la formula seguente:

$$ACID = \sum_i AP_i \times m_i (kg)$$

- ACID è la somma dei contributi dei singoli gas espressa in kg di biossido di zolfo SO<sub>2</sub> equivalente
- AP <sub>$i$</sub>  rappresenta il potenziale acidificante del singolo gas
- $m_i$  è la massa del singolo gas espressa in kg

#### **Eutrofizzazione (EUTR)**

I composti che causano l'eutrofizzazione sono quelli contenenti azoto (N) e fosforo (P). Per calcolare l'eutrofizzazione si utilizza una metodologia analoga a quella utilizzata per effetto serra e acidificazione:

$$EUTR = \sum_i EP_i \times m_i \text{ (kg)}$$

- EUTR è la somma dei contributi dei singoli inquinanti espressa in kg di ione fosfato PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> equivalente
- EP<sub>i</sub> rappresenta il potenziale acidificante del singolo gas
- m<sub>i</sub> è la massa del singolo inquinante espressa in kg

#### **Riduzione ozono stratosferico (OZON\_ST)**

L'ozono stratosferico è lo strato di ozono che protegge la terra dalla radiazione solare ultravioletta. La sua riduzione è dovuta alla dispersione in atmosfera di gas di origine antropica e può causare danni sia alle coltivazioni sia alla salute umana. Per calcolare la riduzione di ozono stratosferico si utilizza una metodologia, analoga alle precedenti, che fa uso di potenziali di riduzione di ozono ODP (Ozone Depletion Potential):

$$OZON\_ST = \sum_i ODP_i \times m_i \text{ (kg)}$$

- OZON\_ST è la somma dei contributi dei singoli inquinanti espressa in kg di CFC-11 equivalente
- ODP<sub>i</sub> rappresenta il potenziale di riduzione di ozono del singolo gas
- m<sub>i</sub> è la massa del singolo inquinante espressa in kg

#### **Formazione ozono troposferico o fotochimico (OZON\_FC)**

L'ozono a bassa quota (troposferico o fotochimico) è un inquinante che si forma attraverso una serie di reazioni chimiche, innescate dalla radiazione solare, nelle quali

sono coinvolti ossidi di azoto e composti organici volatili. Una volta generatosi, l'ozono fotochimica persiste in atmosfera per diversi giorni e può spostarsi nell'atmosfera per lunghe distanze (centinaia/migliaia di km). L'ozono fotochimico causa danni respiratori, alla vegetazione e ai materiali. Per calcolare la formazione di ozono fotochimico si utilizza una metodologia, analoga alle precedenti, che fa uso di potenziali di creazione di ozono POCP (Photochemical Ozone Creation Potential):

$$OZON\_FC = \sum_i POCP_i \times m_i \text{ (kg)}$$

- OZON\_FC è la somma dei contributi dei singoli inquinanti espressa in kg di etilene equivalente
- POCP<sub>i</sub> rappresenta il potenziale di creazione di ozono del singolo gas
- m<sub>i</sub> è la massa del singolo inquinante espressa in kg

Sono state analizzate oltre 600 voci di **inquinanti**, e vista l'elevata numerosità delle stesse e la quasi impossibilità nel considerare le masse di 600 inquinanti (da inserire nelle relazioni susposte), è stata operata una scrematura e si è giunti a considerare i macro inquinanti :

**NOx.** E' una sigla generica che identifica collettivamente tutti gli ossidi di azoto, e le loro miscele. La sigla NOx identifica in modo collettivo gli ossidi di azoto che si generano come inevitabili sottoprodotti durante una combustione in presenza di aria (dal camino a legna, al motore delle automobili, alle centrali termoelettriche). La quantità e la qualità della miscela di NOx dipende dalla sostanza combusta e dalle condizioni in cui la combustione avviene.

**CO.** Il monossido di carbonio (o ossido di carbonio o ossido carbonico) ha formula CO, è un gas inodore, incolore, insapore e velenoso. Si miscela bene con l'aria, con la quale forma facilmente miscele esplosive e penetra attraverso le pareti e il soffitto. Il monossido di carbonio è tossico perché legandosi saldamente agli atomi di ferro nell'emoglobina del sangue forma un complesso molto più stabile di quello formato dall'ossigeno. Anche in bassa concentrazione il monossido di carbonio può ridurre la concentrazione di ossigeno nel cervello al punto che la vittima diventi incosciente e, in casi gravi, muoia di asfissia.

**CO<sub>2</sub>.** Il biossido di carbonio (noto anche come diossido di carbonio o anidride carbonica ) è un ossido acido formato da un atomo di carbonio legato a due atomi di ossigeno. È una sostanza fondamentale nei processi vitali delle piante e degli animali. È ritenuta uno dei principali gas serra presenti nell'atmosfera terrestre.

**SO<sub>x</sub>.** E' un gas incolore dal tipico odore empireumatico, molto solubile in acqua. La sostanza è fortemente irritante per gli occhi e il tratto respiratorio. È possibile distinguere l' SO<sub>x</sub> in SO<sub>2</sub> ed SO<sub>3</sub>

→ **SO<sub>2</sub>.** Il diossido di zolfo (o ossido solforoso o anidride solforosa o ossido di zolfo ) è un gas incolore dal tipico odore empireumatico, molto solubile in acqua. La sostanza è fortemente irritante per gli occhi e il tratto respiratorio. Per inalazione può causare edema polmonare ed una prolungata esposizione può portare alla morte. Reagisce violentemente con l'ammoniaca e le ammine, l'acetilene, i metalli alcalini, il cloro, l'ossido di etilene. In presenza di acqua o vapore acqueo attacca molti metalli, tra cui l'alluminio, il ferro, l'acciaio, l'ottone, il rame ed il nichel. Liquefatto, può corrodere le materie plastiche e la gomma.

→ **SO<sub>3</sub>.** Il triossido di zolfo o anidride solforica è un composto corrosivo che reagendo con acqua produce acido solforico, essendo la sua anidride. Il triossido di zolfo gassoso presente nell'atmosfera rappresenta la causa primaria delle piogge acide.

Il diossido ed il triossido di zolfo (SO<sub>2</sub> ed SO<sub>3</sub>, indicati con il termine generale SO<sub>x</sub>), sono i principali inquinanti atmosferici a base di zolfo. La principale fonte di inquinamento è costituita dalla combustione di combustibili fossili (carbone e derivati del petrolio) in cui lo zolfo è presente come impurità..

A partire dal 1980 le emissioni provocate direttamente dall'uomo (a causa di riscaldamento e traffico) sono notevolmente diminuite grazie all'utilizzo sempre crescente del metano e alla diminuzione della quantità di zolfo contenuta nel gasolio e in altri combustibili liquidi e solidi. Rimangono più preoccupanti le emissioni dovute alla presenza di centrali termoelettriche.

**Polveri (Particolato).** L'insieme delle sostanze sospese in aria (fibre, particelle carboniose, metalli, silice, inquinanti liquidi o solidi). Il particolato è l'inquinante considerato oggi di maggiore impatto nelle aree urbane, ed è composto da tutte quelle particelle solide e liquide disperse nell'atmosfera, con un diametro che va da pochi nanometri fino ai 500 micron e oltre.

Gli elementi che concorrono alla formazione di questi aggregati sospesi nell'aria sono numerosi e comprendono fattori sia naturali che antropici (ovvero causati dall'uomo), con diversa pericolosità.

Fra i fattori naturali vi sono : polvere, terra, sale marino alzati dal vento (il cosiddetto "aerosol marino"); incendi; microrganismi; pollini e spore; erosione di rocce; eruzioni vulcaniche; polvere cosmica.

Fra i fattori antropici si include gran parte degli inquinanti atmosferici: emissioni della combustione dei motori a combustione interna (autocarri, automobili, aeroplani); emissioni del riscaldamento domestico (in particolare gasolio, carbone e legna); residui dell'usura del manto stradale, dei freni e delle gomme delle vetture; emissioni di lavorazioni meccaniche, dei cementifici, dei cantieri; lavorazioni agricole; inceneritori e centrali elettriche; fumo di tabacco.

**COT (Carbonio Organico Totale).** Il Total organic carbon - in italiano *Carbonio organico totale* - è una misura della quantità di carbonio legato in un composto organico ed è spesso utilizzato come indicatore non-specifico della qualità delle acque o nell'analisi dei fumi risultanti dai processi di combustione come indice del livello di completezza della combustione stessa.

**COV (Carbonio Organico Volatile).** I composti organici volatili (COV) includono gruppi diversi con comportamenti fisici e chimici diversi. Si classificano, infatti, sia gli idrocarburi contenenti carbonio ed idrogeno come i CFC ed idroclorofluorocarburi (HCFC). Vengono definiti composti organici volatili qualsiasi composto organico che abbia a 20 °C una pressione di vapore di 0,01 kPa o superiore . È indubbio che le emissioni di composti organici volatili dalla parte della vegetazione costituiscano una parte non trascurabile del carbonio rilasciato in atmosfera.

**HCl.** Noto commercialmente come acido muriatico. È un acido minerale forte (ovvero si ionizza) ed è un reagente comunemente usato nell'industria. L'acido cloridrico è uno dei liquidi più corrosivi esistenti. A temperatura ambiente si presenta gassoso, incolore, dall'odore e dall'azione irritante. La produzione di acido cloridrico è stimata attualmente intorno alle 20 milioni di tonnellate annue.

**HF.** L'acido fluoridrico è un acido minerale relativamente debole, gas a temperatura ambiente, incolore, molto velenoso. E' il composto che sta alla base di tutta l'industria dei composti fluorurati.

È disponibile in forma anidra sotto forma di gas compresso liquefatto oppure sciolto in soluzione acquosa. Il fluoruro di idrogeno anidro è corrosivo, pericoloso, fumante e provoca gravi ustioni per contatto.

**HS.** L'acido solfidrico è un acido debole, gas incolore a temperatura ambiente ed è estremamente velenoso. Una prolungata esposizione può essere mortale. In natura l'acido solfidrico si forma per decomposizione delle proteine contenenti zolfo da parte dei batteri, si trova pertanto nei gas di palude, nel petrolio greggio e nel gas naturale. L'acido solfidrico è anche il sottoprodotto di alcune attività industriali quali l'industria alimentare, la depurazione delle acque tramite fanghi, la produzione di coke, la concia dei pellami e la raffinazione del petrolio.

**NH3.** L'ammoniaca è un composto dell'azoto. Si presenta come un gas incolore, tossico, dall'odore caratteristico. Molto solubile in acqua.

Nell'ambito delle normative ambientali Italiane ed Europee, le emissioni di un motore primo vengono principalmente indicate mediante la concentrazione in volume o in massa dei fumi secchi.

In riferimento ad applicazioni cogenerative e soprattutto se si vogliono effettuare confronti tra diversi sistemi energetici, tale modo di esprimere le emissioni può risultare equivoco, in primo luogo perché, a seconda della tipologia di sistema di combustione, le concentrazioni vengono convenzionalmente riferite a differenti tenori di ossigeno nei fumi secchi (15% per i TG, 5% per i MCI, 3% per le caldaie a gas); in secondo luogo perché non sempre è immediata la correlazione tra la portata di fumi emessi da un motore e la sua potenza. Dalla concentrazione di un inquinante nei fumi, si può tuttavia passare, per dato combustibile, alla massa di inquinante per unità di energia messa a disposizione dal combustibile stesso, con riferimento al suo potere calorifico inferiore,  $\lambda$  (mg/kWLHV). La conversione richiede la conoscenza della composizione del combustibile; il valore di  $\lambda$  può essere calcolato, in funzione della concentrazione in massa, espressa in mg/Nm<sup>3</sup>, valutata con riferimento ad un tenore in volume di ossigeno nei fumi secchi pari ad X%.

Riferire le quantità di inquinanti all'energia consumata secondo la definizione di  $\lambda$  consente di confrontare sistemi di tipologia e taglia diversa a parità di consumi di combustibile; in tal caso si parla di emissioni specifiche *input based*.

Tuttavia tale unità di misura, sebbene più significativa della concentrazione  $\gamma_x$ , non tiene conto della qualità della conversione termodinamica.

Per superare tale limite, sarebbe più corretto esprimere le emissioni di un sistema energetico facendo riferimento alla sua produzione utile che, nel caso di un motore primo, è rappresentata dall'energia elettrica prodotta. In questo caso si parla di emissioni specifiche *output based*, qui indicate con  $\delta$ , ovvero massa di inquinante per unità di energia elettrica prodotta dall'impianto (mg/kWhe). Nel caso di una caldaia per la sola produzione di energia termica, si può definire l'emissione specifica *output based* facendo riferimento all'energia termica prodotta (mg/kWh).

Per quanto riguarda gli input al programma, abbiamo i seguenti valori:

- ▶ Tipologia di combustibile (fossili, biocombustibili, rifiuti solidi urbani; per ogni tipologia di combustibile vengono indicate le percentuali di composizione chimica delle specie componenti e il potere calorifico inferiore LHV)
- ▶ Tipologia di impianto (scelta vincolata dal tipo di combustibile scelto; si hanno comunque turbina a gas, turbina a vapore, microturbina a gas, gruppo cogenerativo, motore a combustione interna MCI)
- ▶ Sistema di abbattimento (abbattimento degli NO<sub>x</sub>, abbattimento degli SO<sub>x</sub>, sistemi di abbattimento di particolato)
- ▶ Dati di targa dell'impianto. Vengono presi in considerazione:
  - Potenza (espressa in kW)
  - Ore di funzionamento dell'impianto
  - Concentrazioni dei macro inquinanti

In output abbiamo il valore del **K**, diverso per ciascuna tipologia di combustibile; le **emissioni input based** ed **output based** per ciascun macro inquinante; la **portata di combustibile** (espressa in kg/giorno), il **consumo annuo di combustibile** (espresso in kg/anno), e l'**energia introdotta** (espressa quest'ultima in MwLHV/anno).

Inoltre tra gli output il software restituisce la **massa di inquinante** espressa come kg/anno. Tale valore è molto importante, si tratta difatti della **massa che andrà inserita nelle formule** di cui si è ampiamente trattato nella disquisizione sui sette indicatori ambientali.

In input al “foglio di calcolo” vanno le masse in kg/anno dei vari inquinanti ed il software andrà a valutare il potenziale di **Tossicità umana**, **Effetto serra**, **Tossicità negli ecosistemi idrici (TEI)**, **Acidificazione (ACID)**, **Eutrofizzazione (EUTR)**, **formazione ozono troposferico o fotochimico (OZON\_FC)**, **ozono stratosferico (OZON\_ST)**.

Si è ragionato nel seguente modo: per ognuno dei sette indicatori e per ciascuna delle voci di specie inquinanti, viene effettuato un calcolo relativo al “*worst case*” (caso peggiore), un calcolo relativo al “*best case*”, ossia il caso migliore, ed infine un calcolo relativo al “*probable case*” (il caso più probabile).

E' possibile effettuare una scelta, tra caso relativo alla presenza del sistema di abbattimento, ed il caso senza sistema di abbattimento; cliccando sull'opzione desiderata, sarà possibile ottenere agevolmente il computo dell'impatto sull'ambiente e sulla salute umana dell'impianto che si sta valutando.

Per valutare il *worst case* si è considerato il valore del potenziale di tossicità che consente di ottenere in output il massimo dell'“indicatore considerato (PTU, Eutrofizzazione, Acidificazione ecc).

Al contrario per il *best case* si è ragionato in maniera inversa; si è preso in considerazione il valore del potenziale di tossicità che consente di ottenere in output il minimo dell'“indicatore considerato (PTU, Eutrofizzazione, Acidificazione ecc.).

Per calcolare il *caso più probabile* si è utilizzata la tecnica del percentile.

Il software dà anche la possibilità all'utente di vedere visualizzati su una apposita tabella riassuntiva i potenziali di inquinamento nei tre casi *worst*, *probable* e *best*. Cliccando su “*Importa dati*” verranno inseriti i dati in tabella per ognuno dei potenziali di inquinamento.

#### Schede riassuntive.

L'ultimo aspetto, per quanto concerne la “parte ambientale” del software, riguarda la possibilità di avere, in serie, diverse schede impianto con i dati riassuntivi delle diverse alternative che possono essere prese in considerazione. In tal modo l'utente può vedere agevolmente svariate opzioni di impianto e scegliere quella reputata migliore, in termini di minor impatto ambientale.

### 3.2.3. Applicazione Mini Bref all'impianto di Castel d'Aiano

Composizione syngas prodotto

Elemento	Concentrazione in massa
<b>C</b>	<b>14,43%</b>
<b>H</b>	<b>5,5%</b>
<b>O</b>	<b>23,05%</b>
<b>N</b>	<b>57%</b>
<b>Totale</b>	<b>100%</b>

Stando al monitoraggio effettuato sui fumi al camino conosciamo le concentrazioni di due macro-inquinanti :

Macro- inquinante	Concentrazione (mg/Nm <sup>3</sup> )
NO <sub>x</sub>	163
CO	62

Per le concentrazioni di COT e polveri utilizzeremo i valori imposti per legge (D-Lgs. 152/06) :

Macro- inquinante	Valore limite (mg/Nm <sup>3</sup> )
Polveri	10
COT	10

Il rendimento elettrico del motore primo viene automaticamente determinato dal software, inserite taglia e combustibile utilizzato dal motore primo

<b>Gas naturale, Gpl, Gnl, Gasolio</b>	<b>Olio combustibile</b>	<b>CSF, coke di petrolio, orimulsion</b>	<b>RSO, RSI e biomasse</b>
<b>40%</b>	<b>35%</b>	<b>33%</b>	<b>23%</b>

Il rendimento termico varia dall'80 al 90% a seconda se l'energia termica prodotta è ad uso civile o industriale, rispettivamente. In questo caso il rendimento è dell'80% in quanto tutto il calore è diretto prevalentemente ad uso civile.

L'impianto in questione è un impianto cogenerativo e tramite il Mini Bref è possibile evidenziare i benefici in termini di impatto ambientale (impatto sugli indici considerati dal software) che tale soluzione comporta, rispetto alla produzione separata. E' necessario, quindi, conoscere il sistema antecedente alla cogenerazione per poter evidenziare i risultati cogenerazione – non cogenerazione.

Per la produzione di calore questa sostituisce una serie di caldaie di scarso rendimento per una potenza totale di 140 kW termici. Nelle norme UNI vengono definiti i valori delle emissioni limite per alcuni inquinanti, e dunque si ha :

Macroinquinante	g/kWh
NO <sub>x</sub>	0,200
CO	0,100
CO <sub>2</sub>	1980

L'impianto non va a sostituire una precedente produzione di energia elettrica, dunque non sono disponibili dati di emissione in merito. L'energia elettrica veniva prelevata dalla Rete Nazionale, quindi si possono prendere a riferimento le emissioni medie del parco termoelettrico italiano :

Macroinquinante	mg/Nm <sup>3</sup>
NO <sub>x</sub>	0,190
CO	150
SO <sub>x</sub>	0,200
CO <sub>2</sub>	284,2
Polveri	0,00912

A questo punto il Mini Bref possiede tutti i dati necessari per il calcolo degli **indici ambientali**

Indicatore	Worst Case	Best Case	Prob Case
PTU	6,26	2,06	2,16
GWP	47,7	47,7	47,7
TEI	0	0	0
ACID	260	260	260
EUTR	104	52,1	67,7
OZON_FC	977	948	963

**Caso produzione cogenerativa**

Indicatore	Worst Case	Best Case	Prob Case
PTU	9,09	2,99	0,724
GWP	69,2	69,2	69,2
TEI	0	0	0
ACID	378	378	378
EUTR	151	75,6	9,83
OZON_FC	1420	1380	1400

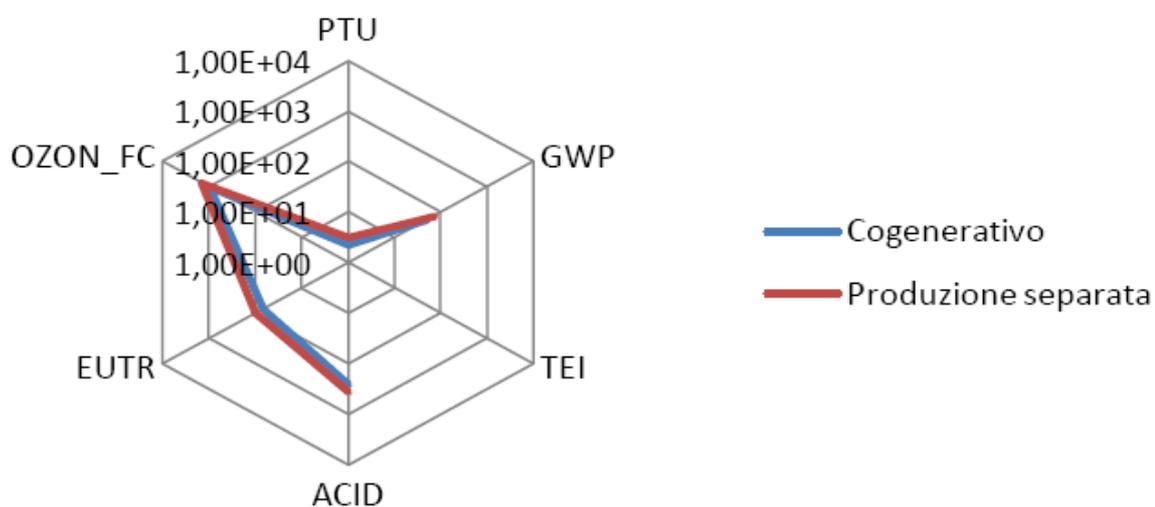
**Caso produzione separata**

Si intende valutare se risulta migliore dal punto di vista dell'inquinamento la produzione cogenerativa o separata di energia,

Come è evidenziato nelle tabelle, risulta nettamente favorevole la situazione di produzione cogenerativa come impatto su tutti i sette indici ambientali.

Di seguito è riportato anche il grafico di confronto tra le due tipologie di produzione, per avere una valutazione diretta e immediata dell'alternativa migliore per l'impatto ambientale. I tre grafici vengono elaborati in automatico dal programma; qui per semplicità è riportato solamente il Probable Case.

## Probable case



### 3.3. IMPIANTO AGRICOLO MENGOLI DI CASTENASO

Tale impianto consiste nella costruzione di un impianto centralizzato di produzione di energia elettrica partendo da liquami per la produzione di biogas ricavato da fonti rinnovabili, avendo come obiettivo primario la tutela dell'ambiente tramite lo sviluppo di fonti rinnovabili per la produzione di energia "pulita".

Visto il gran fabbisogno, la scarsa reperibilità, il prezzo elevato delle fonti fossili provenienti da paesi esteri e l'inquinamento che queste producono, utilizzare elementi di rifiuto da trasformare in energia.

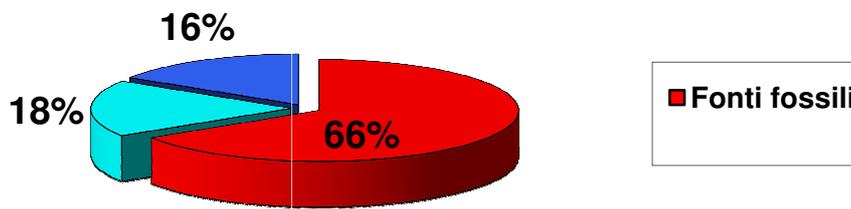
La cogenerazione da biomasse è una realtà impiantisticamente realizzabile e collaudata. Si tratta di produrre un combustibile, **il biogas** appunto, raccoglierlo, depurarlo dall'umidità e convogliarlo in un motore a combustione interna che trasmetta il moto ad un generatore di corrente.

Il biogas è una miscela composta da metano per il 65-80%, da anidride carbonica con tracce di idrogeno solforato (acido solfidrico) e umidità elevata. Esso si forma dalla **degradazione** (grazie a dei batteri che lavorano a determinate temperature) in ambiente anaerobico (cioè in assenza di ossigeno) e coibentato, della sostanza organica naturale di qualunque origine essa sia.

In Europa la diffusione della digestione anaerobica è iniziata nel settore della stabilizzazione dei fanghi di depurazione acque reflue civili. Allo stato attuale, la digestione anaerobica è considerata una delle migliori tecnologie per il trattamento delle acque reflue ad alto carico organico. E' doveroso inoltre ricordare che il recupero del biogas dalle discariche per i rifiuti urbani rappresenta la più importante fonte di energia alternativa da biomasse; sta crescendo anche l'utilizzo della digestione anaerobica nel trattamento della frazione organica raccolta in modo differenziato dei rifiuti urbani, in miscela con altri scarti organici naturali e con liquami zootecnici.

Circa il 95% degli impianti di biogas operano in **codigestione**, poiché trattano insieme ai liquami zootecnici, altri substrati organici, scarti dell'agroindustria, scarti domestici, della ristorazione, colture energetiche (mais, sorgo zuccherino, barbabietola, da foraggio, patate, ecc.) e residui colturali.

#### **Fonti di energia utilizzate in Italia**



Il D.Lgs. 378/2003 : scopo del Decreto è quello di "favorire lo sviluppo di impianti di microgenerazione elettrica alimentati da fonti rinnovabili..." successivamente definisce il biogas come "la fonte energetica rinnovabile non fossile" e le biomasse come "la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura, dalla silvicoltura e delle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali ed urbani." Afferma inoltre che la realizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili e le opere ad essi connesse "sono di pubblica utilità ed indifferibili ed urgenti"; vengono altresì previste procedure semplificate per l'adeguamento normativo rispetto agli scarichi in atmosfera ed individuata un'unica Amministrazione locale quale interlocutore per l'ottenimento di necessari permessi alla costruzione ed all'esercizio degli impianti alimentati da fonti rinnovabili.

Il Decreto istituisce poi il mercato dei "certificati verdi": in pratica è stato definito l'obbligo, a partire dal 2002, da parte di tutti i produttori ed importatori di energia elettrica da fonte convenzionale (combustibili fossili), di immettere in rete, annualmente, elettricità prodotta da fonti rinnovabili (tra cui il biogas) pari almeno ad una percentuale (fissata ogni anno) della quantità totale immessa sulla rete nazionale. In pratica i produttori di energia rinnovabile possono vendere ai produttori di energia convenzionale dei "certificati" per consentire loro il rispetto della quota percentuale fissata; si sta quindi sviluppando un mercato o borsa dei "certificati verdi" che valgono 0,11 Euro\Kwh cui si deve aggiungere il contributo Enel pari a 0,06 Euro\Kwh che porta ad un valore complessivo del contributo di 0,17 Euro\Kwh prodotto. Una volta che l'impianto di produzione è stato certificato come **I.A.F.R.** (impianto alimentato da fonte rinnovabile) dal G.R.T.N. (gestore della rete di trasmissione nazionale) quest'ultimo emette il certificato verde corrispondente ad un quantitativo di energia prodotta pari a 50 Mwh (o

multiplo) su comunicazione del produttore, riferito alla quota prodotta l'anno solare precedente o relativamente alla producibilità attesa nell'anno in corso.

Le possibilità di uno sviluppo dell'utilizzo delle fonti rinnovabili per la **cogenerazione nel settore agricolo** in Italia sono buone soprattutto se si pensa al numero di allevamenti presenti sul territorio nazionale. Questa affermazione è resa tanto più vera dalle opportunità per le aziende agro-zootecniche di utilizzare tecnologie di **trattamento anaerobico** dei liquami di facile gestione e a basso costo. Il **calore** prodotto dal biogas può inoltre servire per riscaldare serre, abitazioni ed essiccare foraggi. In definitiva il settore zootecnico può rappresentare la forza motrice per lo sviluppo su larga scala della digestione anaerobica in Italia.

I **vantaggi** sono molti: miglioramento della "sostenibilità ambientale" degli allevamenti, integrazione di reddito "dall'energia verde", riduzione dei problemi ambientali legati alle emissioni in atmosfera ed agli odori, migliore utilizzazione agronomica degli elementi fertilizzanti presenti nei liquami.

Per la riduzione delle emissioni il **Protocollo di Kyoto** individua come prioritari alcuni interventi :

- ✓ L'energia, intesa sia come combustione di combustibili fossili, nella produzione di energia elettrica, sia come emissioni non controllate di fonti energetiche di origine fossile (carbone, petrolio, metano);
- ✓ I processi industriali;
- ✓ L'agricoltura;
- ✓ I rifiuti.

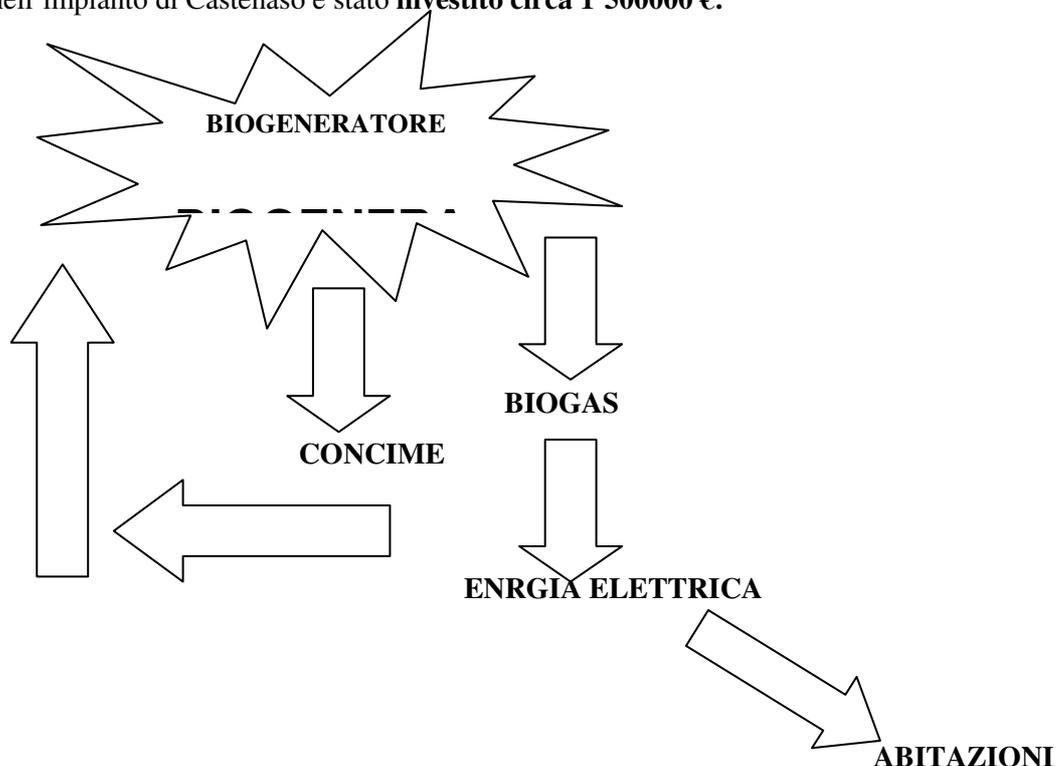
In particolare il Protocollo prescrive ai paesi aderenti di elaborare ed attuare politiche ed azioni operative volte ad eliminare quei fattori di distorsione dei mercati (incentivi fiscali, tassazioni, sussidi) che favoriscono invece le emissioni di gas serra ed individua nello sviluppo delle fonti rinnovabili per la produzione di energia elettrica una delle azioni da intraprendere per la riduzione delle emissioni.

## Concorrenza

Non esiste una reale concorrenza, in quanto, soprattutto il bisogno di energia è aumentato particolarmente; inoltre queste aziende sorgono generalmente presso allevamenti zootecnici privati e non si viene a creare una vera e propria concorrenza tra le varie aziende. In realtà la concorrenza maggiore proviene dalle aziende che producono energia, non necessariamente ricavata da fonti rinnovabili.

L'ENEL, al quale vende l'intera produzione di energia elettrica, esclusa quella d'utilizzo privato dell'azienda; l'obiettivo è quello di far capire ad altri allevatori come sia possibile, utilizzando materiali di scarto, produrre energia pulita nel rispetto dell'ambiente.

I principali ostacoli per l'avviamento della nostra impresa sono di tipo economico: nell'impianto di Castenaso è stato **investito circa 1'500000 €**.



Da questo tipo di produzione sono ricavabili **due sottoprodotti**:

1. Concime organico mineralizzato che potrà essere anche venduto;
2. Acqua calda (ricavata dal sistema di raffreddamento dei motori) utilizzata per mantenere le vasche di stoccaggio a una temperatura di 38°/40°C e per utilizzo domestico solo ad uso privato.

Pertanto i **prodotti destinati alla vendita** derivanti dall'impianto di bioenergia sono:

1. energia elettrica
2. concime organico mineralizzato.

Energia elettrica: si produce energia elettrica tramite il funzionamento di un motore alimentato dal biogas prodotto dal biogeneratore.

Concime: è una sostanza solida che deriva direttamente dalla fermentazione dei liquami. In quanto prodotto finale ricava benefici dal biogeneratore: ne deriva una sostanza estremamente mineralizzata che è di ottima qualità per la concimazione del terreno.

Acqua calda: produce calore dal raffreddamento (tramite acqua) dei motori. Data la modesta quantità prodotta il suo utilizzo è esclusivamente destinato all'autoconsumo.

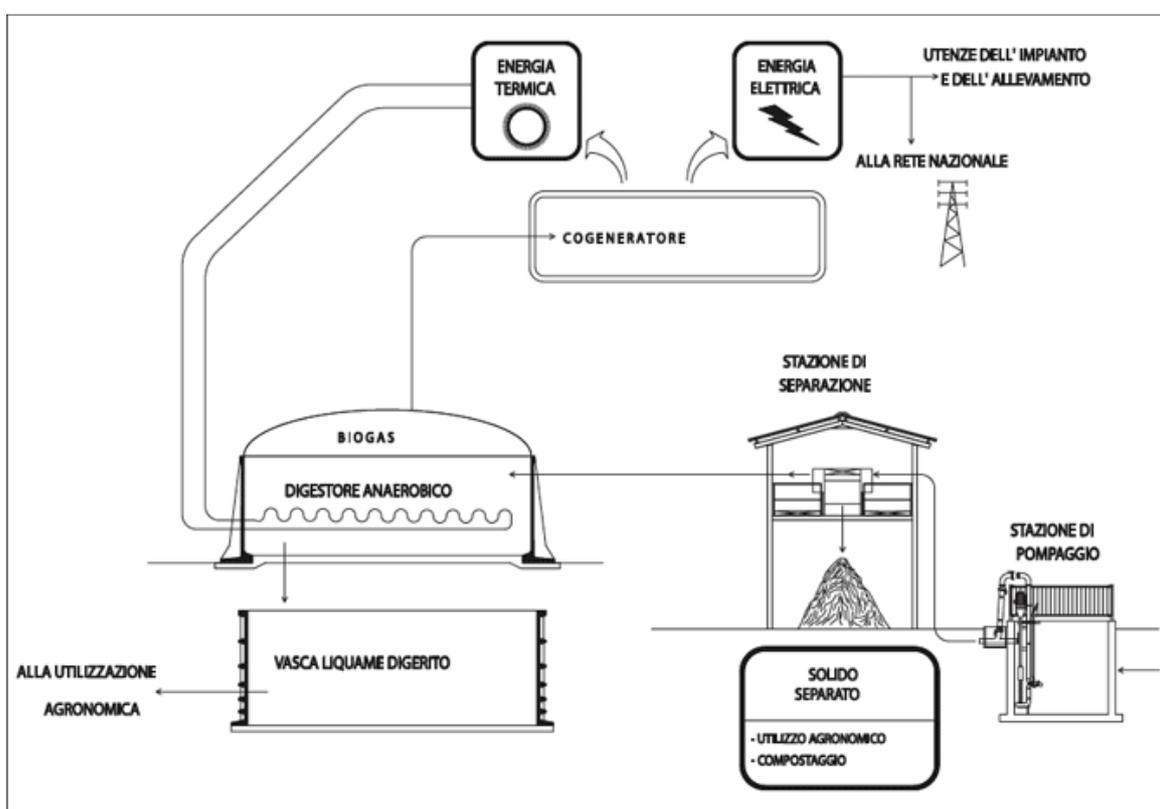
- ▶ È a **emissioni zero**, perché l'anidride carbonica prodotta con la combustione del metano derivante dai liquami viene azzerata da quella riassorbita dai prodotti vegetali che vanno ad alimentare le vacche (stessa cosa per le colture dedicate); contrariamente ai combustibili derivati dal petrolio non produce particolato;
- ▶ produce da un unico impianto diversi prodotti i quali potrebbero essere ricavati anche da altri processi produttivi che però sarebbero nocivi per l'ambiente;
- ▶ l'energia è rinnovabile quindi non impoverisce l'ambiente;
- ▶ i vantaggi ambientali del biogas rispondono alle indicazioni del protocollo di Kyoto, che impongono la riduzione di immissioni in atmosfera di gas serra (misurata in quantità equivalenti di anidride carbonica).
- ▶ la possibilità di sfruttare risorse energetiche locali;
- ▶ la rinnovabilità delle fonti;
- ▶ le ridotte necessità di trasporto;
- ▶ la minor dipendenza dalle importazioni;
- ▶ la creazione di nuova occupazione per progettazione, realizzazione, gestione e manutenzione degli impianti;
- ▶ miglioramento dell'ambiente a forte densità di impianti zoologici;
- ▶ chi produce biogas, oltre a rendersi autonomo sul fronte energetico, può immettere sul mercato l'elettricità in eccesso e incassare, oltre al prezzo del quantitativo di elettricità immessa in rete, anche il prezzo dei "certificati verdi", che impone ai consumatori di energia fossile di sostituire parte di questa energia con energia da fonte rinnovabile.

L'energia elettrica ci viene acquistata dall'ENEL al prezzo di 0,09 Euro per Kwh, più 0,09 Euro per Kwh che ci vengono dati per i "certificati verdi". **L'energia elettrica ci viene perciò pagata a 0,18 Euro per Kwh.**

Il fertilizzante viene venduto.

Macchinari da cui è composto:

- Prima vasca di raccolta liquami: formata da muri in cemento, rivestiti con materiale impermeabile (è realizzata presso le stalle in cui viene raccolto direttamente il liquame e successivamente così pompato alla vasca di stoccaggio dei liquami);
- Tre fermentatori e un gasometro;
- Impianto sotterraneo di rimozione del vapore acqueo e dell' azoto ( elementi dannosi per i motori);
- Motore per la produzione di energia elettrica;
- Sistema di raffreddamento del motore (dal quale si ricava il sistema di teleriscaldamento per le abitazioni e la stalla e la temperatura nei fermentatori);
- Stabile nel quale sono presenti i quadri elettrici necessari per il controllo delle fasi di produzione e dell' erogazione in rete dell' energia.



Il processo di produzione comincia con l'immissione nella prima vasca di stoccaggio di liquami (provenienti da una precedente vasca di raccolta), delle colture dedicate e dei sottoprodotti industriali acquistati.

I liquami durante la fermentazione non devono mai seccarsi: per questo motivo le vasche sono dotate di agitatori che vengono azionati in determinati momenti della giornata per evitare che si formino croste che impediscono al biogas di risalire in superficie.

La produzione di biogas avviene poiché a una data temperatura all'interno del liquido si sviluppa una determinata classe di batteri in grado di produrre biogas. Questi batteri sono di diversi tipi: criofili, che lavorano a bassa temperatura (8°-12°C), mesofili (35°-40°C), termofili (55°C), termofili spinti (70°C).

I migliori sono i batteri **mesofili** perché più robusti e più resistenti, dei quali bisogna **assicurare condizioni ambientali stabili, rimescolando** di continuo il liquame, e **temperatura costante**, mantenendo l'ambiente riscaldato utilizzando parte dell'energia dell'impianto stesso.

Quando il liquame è abbastanza maturo, si deposita sul fondo dal quale viene prelevato e passato nella successiva vasca di fermentazione (fermentatore) tramite delle tubature, per proseguire la fermentazione.

In ogni vasca successiva il liquame presente è più maturo di quello precedente, la produzione di biogas seppur in graduale calo, continua.

Arrivati all'ultima vasca di fermentazione (gasometro) le sostanze prodotte si dividono: la parte solida viene raccolta all'esterno, dove diventerà concime mineralizzato che potrà essere utilizzato dall'agricoltore stesso e in parte anche venduto; mentre la parte volatile (biogas) viene trattata poiché sono presenti piccole quantità di alcuni composti che, a causa delle loro proprietà ossidanti o di incombustibilità, devono essere eliminati per favorire un buon processo di combustione ottimale.

- ▶ **Filtrazione** con filtri a ghiaia o sabbia, necessaria per eliminare i solidi in sospensione che sono essenzialmente materiale organico, grassi ed eventuali schiume prima dell'aspirazione dei compressori di ricircolo o dei compressori ausiliari della caldaia e dei motori a gas;
- ▶ **Deumidificazione**, la temperatura del biogas in uscita dal digestore è di almeno 35°C con un grado di umidità elevato che porta il vapore acqueo presente a condensare, per cui si predispongono lungo le tubazioni pozzetti di raccolta e spurgo delle condense. Per evitare la formazione di condense in camera di combustione occorre eliminare l'umidità, il vapore che viene poi estratto mediante scarico automatico o manuale;

► **Desolforazione** necessaria per abbattere i composti a base di zolfo, può avvenire tramite filtri *chimici* riempiti con ossidi di ferro che provocano la precipitazione dei composti e quindi la loro estrazione; tramite metodi *fisici* con torri di lavaggio che lavano il gas in controcorrente tramite un flusso di acqua e ossido ferrico; oppure mediante desolforazione *biologica* immettendo direttamente nel digestore una percentuale di aria, circa 5-10% del gas, per consentire a particolari ceppi batterici di innescare una reazione di precipitazione biologica dello zolfo.

La sostanza residua (metano) viene convogliata ad un apposito motore che produrrà energia elettrica.

Quest'ultima verrà poi convogliata in rete (in parte utilizzata per il funzionamento dell'impianto) mentre dal raffreddamento (ad acqua) del motore verrà ricavata acqua calda sfruttabile per uso domestico e per mantenere una temperatura costante all'interno delle vasche di stoccaggio (tramite delle condutture esterne alle vasche).

### **Descrizione dettagliata Azienda agricola Mengoli di Castenaso**

L'Azienda Agricola Mengoli Rino, Mauro e Gianni, situata a Castenaso (Bo) in via Bagnarese 3. L'idea del signor Mauro Mengoli, responsabile e proprietario del biogeneratore, è nata un po' di anni fa quando, dopo aver visitato numerose fiere di settore, decise di avviare l'impresa. Contattò alcune ditte tedesche, poiché offrivano una tecnologia avanzata e prezzi accessibili rispetto a quelle italiane e intraprese ben quattro viaggi in Germania per poter studiare più approfonditamente il funzionamento e la manutenzione delle attrezzature. Tornato in Italia affidò il progetto ad un ingegnere. Biogas in agricoltura si produce in continua (impianto che produce e impianto che valorizza cioè cogenerazione, fiamme, turbine ecc).

Impianto è in funzione dal 1/6/2005.

Ad oggi l'impianto funziona correttamente con una potenza di ben 350 kW elettrici (è la potenza massima che potrebbe teoricamente dare l'impianto, ma in condizioni di normale funzionamento arriva a 290-300 KW) e una produzione di 2.500.000 kWh all'anno. Il signor Mengoli si ritiene pienamente soddisfatto della sua impresa e spera in uno sviluppo di questo settore.

Azienda agricola con radici nella zootecnia (allevamento vacche da latte per produrre latte alimentare venduto alla Granarolo linea Alta Qualità); coltiva 60 ettari di seminativo (da qui le colture dedicate); 250 bovini di frisone di cui 100 in lattazione.

Biogas è una fonte di energia rinnovabile prodotta dai batteri metano geni.

I primi impianti nella tecnologia italiana negli anni 70.

Impianto a biogas è un ciclo naturale che nel ciclo della terra c'è sempre stato; la tecnologia crea solamente le condizioni ideali per fare vivere dei batteri capaci, in condizioni anaerobiche, di sciogliere e disfare l'energia solare accumulata dalle piante e con fermentazioni (batteri metano geni) possono fornire biogas che è un insieme di miscele al cui interno c'è metano che è un combustibile da usarsi in caldaie, cogeneratori ecc.

Impianto : refluo animale raccolto in un pozzetto, caricato in un digestore e poi serbatoio del biogas. Riscaldato a una certa temperatura i batteri riescono a lavorare al meglio e produrre il biogas che è usato come combustibile in dei generatori. I generatori producono energia meccanica e quindi energia elettrica, e dai motori a scoppio ricavo calore che parte di esso serve per mantenere la temperatura ideale i batteri nei digestori.

Allevare i batteri. L'azienda realizza in pratica un allevamento di batteri indispensabili per il processo.

Gli elementi dell'impianto a biogas in agricoltura sono :

- ▶ Impianto che produce il biogas : costituito da *tre fermentatori* (vasche di notevole volume, di cemento armato, totalmente coibentate e riscaldate e continuamente rimescolate, e alimentate ogni ora con sostanza organica) dove all'interno vengono fatti fermentare in condizioni anaerobiche delle sostanze organiche. Il biogas può essere generato da qualsiasi sostanza organica purchè non sia legna o foglie di pianta arborea, perché tali batteri non sono in grado di smontare la catena della lignina e quindi non riescono a smontare le foglie della pianta arborea con resina che è tipica di tale piante ed è tossica per i batteri.
- ▶ Impianto di valorizzazione del biogas : cogeneratori che producono energia elettrica e calore

Nel Gasometro (terza vasca) viene accumulato il biogas e poi prelevato con valvole in aspirazione e pompata all'interno della sala macchine dove ci sono i cogeneratori.

L'impianto ha tecnologia tedesca, ha una tramoggia di carico di 40 m<sup>3</sup>, due fermentatori primari coibentati e riscaldati e rimescolati da agitatori da pale con albero verticale e un fermentatore 3 che è mescolato da un agitatore ad elica. La costanza è ciò che serve per far funzionare bene tali impianti.

L'impianto a biogas è costituito, quindi, da tre fermentatori in serie per un totale di 3.400 m<sup>3</sup> (fermentatore 3 è il gasometro); nella vasca 4 ci sono 1.000 m<sup>3</sup> di digestato che è il prodotto che risulta dalla fermentazione anaerobica ed è un ottimo fertilizzante che può sostituire il concime chimico (digestato è un concime mineralizzato naturalmente nella fermentazione dei batteri). L'energia solare dà la vita alle piante, la vita accumula l'energia nella sostanza organica, i batteri smontano la sostanza organica e gli elementi minerali che tornano a essere disponibili nel terreno e si produce dalla fermentazione biogas (metano, anidride carbonica e vapor d'acqua). Il carbonio, più che altro, e la sostanza organica tornano nell'ambiente e i minerali tornano nel terreno per ridare concime alle piante che possono essere culture dedicate per produrre energia. Nei fermentatori sta dentro 80 - 90 giorni.

Due cogeneratori che in totali hanno una potenza elettrica di 350 kW elettrici (un motore MAN da 110 e un motore DEUTZ da 240) e produzione di 600 kW di energia termica, l'energia che risulta dal raffreddamento del blocco motore dei gas di scarico (motori a scoppio a ciclo otto). Parte dell'energia termica viene impiegata per scaldare i batteri, parte per scaldare l'acqua che serve nelle stalle, scaldare le stalle e una parte per scaldare la casa e anche per essicatoi per foraggi.

Tubi in acciaio inossidabile dove scorre l'acqua di raffreddamento dei fermentatori per mantenere costante una temperatura di 40 gradi.

Sala quadri dove ci sono i quadri elettrici che controllano tutto il sistema.

**Nel 2009 l'impianto ha prodotto 2.500.000 kWh elettrici di cui l'11% usati dall'azienda agricola per mungitura, pompaggio acqua, refrigeramento e casa e funzionamento impianto; il resto venduto alla rete Enel (89%).**

**Dell'energia termica il 40% è impiegata per scaldare in inverno i batteri (d'estate anche se la temperatura è inferiore ai 40 gradi al terzo anno di vita della flora batterica i batteri cominciano a generare calore da soli!) e il 15% per le esigenze in stalla e di famiglia.**

**Impianto da 350 kW costa circa 1.500.000 di euro (ora per adeguarsi alle ultime norme spendere ancora).**

Impianti a biogas sono remunerati con :

- ▶ certificati verdi (questo caso) : l'energia elettrica pagata più un sostentamento; valore è di 17 centesimi a kW
- ▶ omnicomprensivo (impianti moderni) dopo il 2008 e prendono 28 centesimi a kW che così per un'azienda agricola è una risorsa economica imparagonabile in agricoltura

In **output** all'impianto cogenerativo vi è CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O e quindi niente inquinamento in atmosfera.

CO<sub>2</sub> assorbita dalle piante nella loro vita = CO<sub>2</sub> che emette l'impianto e quindi ho un bilancio energetico ambientale nullo

L'impianto a biogas **in ingresso** funziona con 40% di liquami zootecnici di liquame bovino, 20% di culture dedicate (insilati di mais, sorgo, triticale e tutto ciò che può essere coltivato a basso costo ed alto rendimento nella zona della provincia di Bologna) e 40% prodotti acquistati come sottoprodotti come patate, farine, ecc che sono scarti di industrie alimentari e acquistati a circa 12-20 euro a tonnellata (sottoprodotti, anni fa potevano ancora essere classificati rifiuti e si poteva essere denunciati penalmente per smaltimento illegale di rifiuti). Non esisteva ancora la 387 e la classificazione dei rifiuti.

Le culture dedicati però si accumulano a terra perché la raccolta è solo in certi periodi : si trinciano (tagliare) i prodotti e poi sono accumulati in trincee al suolo, dove sono pressati per fare uscire l'aria e comincia già qui la fermentazione aerobica al sole e ci si passa sopra coi trattori per pressare.

Vediamo ora in dettaglio le diverse componenti dell'impianto :

#### Culture proprie dedicate

Irrigazione con acqua la cui frequenza dipende da anno ad anno (4 volte all'anno nel 2003, nel 2010 è stata sufficiente una volta all'anno) e dipende anche dal tipo di culture alcune sono più idroesigenti di altre. Per esempio 10% irriguo il mais e il resto niente acqua, crescono naturalmente. La quantità di acqua è circa 40-50 mm di acqua a irrigazione per circa 10 ettari di terreno. Cmq la media di irrigazione è 2 volte all'anno.

Niente fertilizzanti chimici alle culture, solo un antiparassitario viene dato che contiene anche un po' di concime e ne vengono messi 15 Kg ad ettaro per il mais. Per il resto le culture dedicate sono concimate solo con il digestato.

In un anno si possono dare al massimo 800 quintali per ettaro di digestato che equivale a 350 Kg di azoto, in quanto per ogni tonnellata di digestato ci sono circa 3 kg di azoto mineralizzato naturale.

Utilizzo trattore : uno da 250 CV fa un ettaro di terra in 2 ore e mezzo di manodopera, trattore è a gasolio e consuma 34-35 litri in un'ora. Costo del trattore è per contoterzisti per cui c'è un prezzario. Questo trattore da 250 CV fa 2 ore per ettaro ogni giorno; un altro trattore da 80-100 CV per affinamento e semina terreno e per 1 ettaro fa 1 ora e mezza di manodopera al giorno.

L'azienda possiede 60 ettari di terreno in tutto.

### Mucche

250 capi di bovini, vacche da latte (Granarolo viene a ritirare il latte) di cui 130 adulte e 110 che sono in mungitura (cioè sono attive per il latte), mentre le altre sono a riposo o in cinto.

Le mucche producono 12-13 m<sup>3</sup> di liquame al giorno) 1m<sup>3</sup>=10 Q

Sotto la stalla c'è un recipiente che pompa subito nel fermentatore direttamente.

Le mucche mangiano cereali, fieno, erba medica : in totale 40 Kg di farine, cereali ecc al giorno per ogni capo. In particolare :

- 110 mucche attive al giorno ogni mucca mangia : 2 Kg di semi di cotone, 2 Kg di farina di soia, 4-5 Kg di farina di mais/orzo, 6,5 Kg di fieno di erba medica, 24-25 Kg di insilati (mais, triticale). Bevono 100 litri di acqua al giorno ogni mucca in estate e 50 litri in inverno
- 140 mucche a riposo : 1,5 Kg di farina di soia, 7-8 Kg di erba medica, 15-16 Kg di insilati

Mucche costano circa 10-15.000 euro tra veterinario e medicine

Ogni mucca costa 1000-1500 euro

Manodopera per mucche : 6-7 ore al giorno per mungitura, 1-2 ore per pulizia al giorno e occorre una persona che lavora per 3 ore al giorno.

### Sottoprodotti industriali acquistati

Scarti del purè e delle patate (comprati da Pizzoli per es). Questi sottoprodotti sono confinati in vasche chiuse per gli odori secondo la normativa, mentre gli odori da letame in agricoltura è normale secondo la legge.

Tali sottoprodotti per smaltirli presso Hera costano 15-20-30 euro per tonnellata.

### Processo

Gli impianti biogas agricoli di solito si dividono in 3 categorie :

- A secco (30% di secco, la fermentazione è in celle chiuse ermeticamente)
- A liquido come Mengoli (ciò che viene inserito nel fermentatore ha 9-12% di secco, il resto è acqua)
- A semi-denso (15-17% di secco ma è ancora pompabile)

Avviene una fermentazione anaerobica nei fermentatori, ci sono 3 fermentatori (1,2,3) e c'è un 5% di aria insuflata per togliere lo zolfo volatile per ottenere zolfo solido che così precipita sul fondo delle vasche (desolforazione o depreazione).

Si carica la tramoggia di alimentazione (culture dedicate, insilati di mais, farine e sorgo, sottoprodotti industriali acquistati) una volta al giorno tramite un sistema computerizzato che carica la tramoggia con 1/20 di quello totale all'ora.

Il carico della tramoggia al giorno comprende :

80-90 quintali di insilati propri, 100-120 quintali di sottoprodotti industriali acquistati, 120-130 quintali di liquame bovino → ottengo 350 Kwh

Fermentatore 1,2,3 in serie, così con 3 fermentatori ho più famiglie di batteri in modo che se in una vasca i batteri sono malati o hanno problemi per cui non fermentano più c'è sempre l'altra vasca che fa anche il lavoro di questa fuori uso temporaneamente. Dentro ai fermentatori si creano i batteri prodotti naturalmente dai liquami e dal resto che è già stato poi in parte al sole a fermentare.

I batteri all'inizio nella prima vasca mangiano di più anche perché le cose sono ancora fresche, poi mano a mano nelle altre vasche mangiamo meno e iniziano a mangiare anche le cose meno fresche (quindi i batteri della seconda vasca sono diversi in tale senso).

Nei fermentatori circola in opportuni fasci tubieri acqua calda che deriva dall'energia termica prodotta dall'impianto in quanto l'acqua calda è un rifiuto dei cogeneratori (600 kW di energia termica prodotta). Si fa cioè girare acqua calda in dei riscaldatori all'interno delle tre vasche per scaldarle, nel caso la temperatura va sotto i 42 gradi, mentre se si scaldano troppo nelle celle viene immesso nuovo liquame che così rinfresca la temperatura.

Ci sono tubi di acciaio che collegano le diverse vasche fra loro e dall'ultimo fermentatore (gasometro) si collega alla sala macchine e all'interno vi circola il biogas; mentre nei tubi in plastica circola il digestato.

Vasche sono di 6 metri di altezza, ci sono 40 cm di cemento sopra in alto (soletta), 50 cm di vuoto per far circolare il biogas (nel primo e secondo fermentatore) e il resto 5,5 m è di digestato. Diametro delle vasche è di 16 metri.

Tutto ciò che è all'interno delle vasche va mantenuto mescolato sempre tramite agitatori a pale di 4 m di diametro e mescolano per 6 minuti ogni 20 minuti.

La terza vasca è detta **gasometro** : è un recipiente elastico (tipo tendone da circo) che contiene biogas e tale parete in alto si gonfia o meno in base alla quantità di biogas che vi

circola all'interno. Alla fine il digestato rimasto lo pompo in un'altra vasca (vasca 4), la quale ha il collegamento poi diretto nei campi tramite pompa per concimare.

Il digestato per divenire tale rimane all'interno dei fermentatori 80-90 giorni; il risultato del processo è concime per i campi. La vasca con il digestato finale continua a girare cmq ancora perché ci sono ancora batteri presenti e così fa evaporare l'azoto anche. Il concime quindi non è acquistato ma si usa esclusivamente il digestato prodotto dall'impianto. Il concime viene anche venduto per l'esubero e costa 15 euro per ettaro e si producono 250 quintali (15/250 mi da euro al quintale per il digestato).

C'è una pompa che pompa direttamente il digestato nei campi e poi vi è un **carro botte** per portare in giro tale concime agli acquirenti.

Alla fine il biogas prodotto con un tubo in acciaio è trasportato alla sala macchine (cogenerazione) che è interrato in parte : 2 metri sotto terra che va poi alla sala macchine e 1 metro fuori terra all'uscita della terza vasca. Vi è poi una valvola di sicurezza per il biogas.

#### Sala macchine (cogenerazione)

Vi è un motore a scoppio dove in input funziona con il biogas prodotto dall'impianto ed esce energia termica ed elettrica dalla zona cogenerazione; tramite due generatori produco quindi energia elettrica (2 generatori da 110 e 240 Kwh per un totale di 350).

Il motore in pratica produce energia meccanica che fa girare il generatore che produce energia elettrica e dal raffreddamento del motore ottengo calore (energia termica).

L'energia termica viene utilizzata per autoconsumo : per la stalla, per la casa, per le celle di biogas. All'esterno della sala macchine vi è la marmitta anche per ridurre i rumori e l'acqua (H<sub>2</sub>O) che esce sotto forma di calore da dove c'è la marmitta.

Motore funziona 24 ore su 24

#### Monitoraggio sistema

Tutto il sistema è controllato e governato da un plc industriale acquistato presso un'azienda di Brunico.

L'azienda si chiama ERS ([www.ers.it](http://www.ers.it)) .

Vengono fatti diversi controlli :

- Sulla tramoggia di carico in base al peso (controllo di peso nei silos di alimentazione)
- Sulla temperatura che è circa sui 42 gradi per batteri mesofili come questi (controllo avviene con una sonda all'interno delle vasche, controllo del tempo di mescolamento, tempo degli agitatori, se tempo agitatori va bene, pompa ecc)

- Analisi del biogas con un report di analisi ogni 2 ore e realizza un controllo sulla % di metano (53-69%), % di zolfo (< 100%), % di ossigeno (<1%), % di idrogeno libero (poco poco)
- Sulla potenza motore, cioè controllo sui Kwh prodotti (Kwh prodotti, temperatura, olio, pressione, carburazione cioè la quantità di ossigeno e anidride carbonica che rimane incombusto per vedere se il motore brucia tutto).

Da tali controlli riesco a tenere monitorato l'impianto, in quanto se in uscita non ho un certo quantitativo di biogas (160-180 m<sup>3</sup> ogni ora) allora qualcosa non va e vado a vedere nelle varie sezione di controllo qual'è e dove sta il problema.

**Carburazione** = vedere se motore brucia tutto e non rimane niente incombusto, cioè quantità di ossigeno e anidride carbonica incombusta

Biogas non è costante oltretutto e il sistema elettronico fa sì che sia tutto sempre carburato ( cioè motore a scoppio deve girare nel modo migliore affinché lo scoppio avvenga nel modo giusto ecc).

#### Manutenzione impianto

La maggioranza dei guasti vengono risolti personalmente da Mengoli; se invece è un guasto grave si chiama un'azienda di manutenzione di tali impianti per un costo di 40-50 euro all'ora.

Ricapitoliamo i costi necessari per l'impianto :

Investimento iniziale totale : 1.500.000 euro

Scarti di industrie alimentari acquistati : 15 euro a tonnellata

Costo silos di alimentazione : 60-70.000 euro

Costo terreno nella zona dell'azienda : 30-40.000 euro per ettaro

Costo acquisto mucca : 1.000-1.500 euro a capo

Costi operativi di cure mediche mucche : 10-15.000 euro all'anno tra veterinario e medicine

Guasto grave, personale per manutenzione : 40-50 euro all'ora

Concime in esubero venduto : 0,06 euro al quintale

Considerazioni finali.

La pianura est è particolarmente adatta, perché a sinistra del Reno ci sono culture di pregio.

Energie rinnovabili sono molto redditizie, però eolico e solare che sono le più facili tecnicamente dove lo stato dà molti incentivi.

L'energia più economica è quindi quella fossile per la nostra società (petrolio, carbone, metano e GPL costano ancora poco sul mercato, riferito al costo dell'energia prodotta da fonte rinnovabile). Quindi per ora le energie rinnovabili per essere remunerative hanno bisogno di un sostentamento dal pubblico, perché attualmente sul mercato l'energia elettrica costa 8,9 centesimi a kW (biogas ha il maggiore rendimento in Italia però).

I sottoprodotti fino a pochi anni fa venivano preferenzialmente digeriti in impianti di compostaggio; questi impianti però non producono energia anzi consumano energia e fanno spendere denaro a una società che deve pagare energia per compostare un prodotto, per mineralizzare con batteri i prodotti organici di scarto. Impianti a biogas invece producono energia (metano).

Energie rinnovabili sono positive per l'energia e per l'ambiente : tale energia può anche generare risorse economiche in un momento in cui c'è crisi economica; tale tecnologia può dare opportunità economiche per le aziende agricole e per la società e complessivamente anche benefici ambientali.

Altri elementi positivi del carbonio e sostanze organiche rimesse nel terreno, spesso si parla solamente di CO<sub>2</sub> che bruciando finisce in aria. Però con un'agricoltura molto industriale che usa molti fertilizzanti chimici molto carbonio è stato consumato e tanto si è tolto dal terreno ed è andato in aria, perché le piante crescendo tale carbonio immagazzinato nelle piante si è trasformato in anidride carbonica.

## 4 LCA e Simapro

Nel presente capitolo verrà descritta la metodologia impiegata nella tesi per rappresentare i risultati di impatto ambientale, applicata ai due impianti analizzati.

In particolare sarà analizzata la metodologia LCA (Analisi del ciclo di Vita di un sistema) applicata agli impianti presi in considerazione. Successivamente verrà descritto il software impiegato per realizzare l'analisi LCA, software di proprietà dell'Università degli studi di Bologna (Simapro 6.0).

### 4.1. METODOLOGIA LCA

L'analisi del ciclo di vita è una valutazione che trae origine a seguito della crescente attenzione alle problematiche di carattere ambientale. In particolare, negli ultimi decenni, è aumentato l'interesse verso lo sviluppo di metodi e tecniche che permettano di comprendere, valutare e conseguentemente ridurre i possibili impatti, sia dei prodotti realizzati, sia di quelli che, una volta utilizzati, cessano di avere qualsiasi utilità per il detentore e che devono, perciò, essere smaltiti.

Anche in un'**ottica** prettamente **industriale** la questione ambientale sta diventando sempre più rilevante. Fino a pochi anni fa i problemi relativi alla compatibilità ambientale delle attività produttive erano fortemente sottovalutati, a causa di una percezione limitata ai soli aspetti antieconomici e, soprattutto, alla mancanza di normative in grado di incidere in maniera significativa, quindi volte a stimolare le aziende ad un rinnovamento tecnologico. La diffusione di una "*coscienza ambientale*" a tutti i livelli della società, l'esistenza di una crescente domanda di prodotti eco-compatibili da parte dei consumatori, e quindi di una nuova attraente possibilità di sviluppo per le imprese, l'entrata in vigore di normative europee, hanno aperto un nuovo scenario centrato sulla compatibilità tra industria e ambiente, che può essere definito come "**Sviluppo Sostenibile**" applicato alla realtà d'impresa. Le industrie si stanno adeguando all'obiettivo dell'*eco-efficienza* che, di fatto, si trova sempre più a coincidere con quello della *Qualità Totale*.

Il perseguimento di questi obiettivi comporterà un nuovo modo di procedere all'interno delle aziende: il progetto e la creazione di nuovi prodotti sarà accompagnato dalla valutazione del loro "Ciclo di Vita".

Una corretta stima degli impatti ambientali può essere svolta attraverso una Valutazione del Ciclo di Vita (LCA – Life Cycle Assessment).

Tale metodologia consente di **determinare e quantificare i carichi energetici ed ambientali**, concreti e potenziali, presenti **nella varie fasi del ciclo di produzione e consumo** della bioenergia, considerate correlate e interdipendenti. Attraverso l’LCA, quindi, si quantificano gli effetti ambientali dei flussi in entrata e in uscita dal sistema produttivo ricorrendo ad opportuni **indicatori d’impatto**.

Tale tecnica, applicata nell’ambito delle energie rinnovabili, permette di confrontare il profilo ambientale delle varie bioenergie con quello di energie fossili che svolgono analoghe funzioni. Questa comparazione fornisce utili indicazioni per la scelta delle tecnologie che meglio s’integrano con il concetto di sviluppo sostenibile.

Per contenere le emissioni di anidride carbonica, è quindi essenziale **ridurre al minimo l’impiego di energia fossile all’interno dell’intero processo di trasformazione della biomassa in energia**. Attraverso poi la ricerca e l’impiego delle tecnologie migliori è possibile ridurre gradualmente tutte le emissioni inquinanti durante il processo di generazione di bioenergia.

#### **4.1.1. Cenni storici**

Nonostante ad oggi la metodologia LCA risulti piuttosto affermata, la sua istituzione e codificazione è abbastanza recente. Le origini dell’LCA, infatti, si possono far risalire agli inizi degli anni Sessanta, e precisamente al 1963, quando fu presentata alla *World Energy Conference* una relazione, compilata da Harold Smith, riguardante le richieste di energia per la produzione di intermedi chimici, la quale, nonostante i richiami alla valutazione degli impatti sull’ambiente fossero ancora presenti in maniera marginale, si può considerare uno dei primi esempi di applicazione di tale metodologia.

Nel 1969, un gruppo di ricercatori del *Midwest Research Institute* (MRI) condusse uno studio per conto della Coca-Cola confrontando diversi tipi di contenitori per le bevande, allo scopo di determinare quale fosse l’involucro con il minor impatto sull’ambiente in termini di emissioni e di consumo di materie prime. Il calcolo fu realizzato quantificando le materie prime, il combustibile e i rilasci nell’ambiente per la produzione di ogni singolo contenitore. Nel frattempo anche in Europa furono condotti studi simili, rivolti soprattutto ai sistemi d’imballaggio.

La prospettiva di un rapido esaurimento dei combustibili fossili e di eventuali modificazioni climatiche, da attribuire soprattutto all'eccesso di calore immesso nell'atmosfera da parte dei processi di combustione, spinsero a calcoli meticolosi sui consumi energetici e sui rifiuti termici delle industrie. Furono compilati una dozzina di studi che stimavano i costi e le conseguenze ambientali di risorse energetiche alternative.

L'interesse per l'LCA crebbe negli anni Ottanta quando si ebbe l'introduzione di una serie di metodi per la valutazione quantitativa degli impatti riguardo a differenti tematiche ambientali (impoverimento delle risorse, riscaldamento globale, ecc.); in questo modo gli studi di LCA si diffusero divenendo sempre più trasparenti e disponibili al pubblico.

Alla fine degli anni Ottanta permaneva, tuttavia, una situazione di enorme confusione: rapporti riguardanti LCA condotti sugli stessi prodotti contenevano spesso risultati contrastanti.

Il motivo di ciò era da attribuirsi alla scarsa uniformazione delle valutazioni, per cui gli studi effettuati si basavano su dati, metodi e terminologie fra di loro differenti. Divenne presto evidente la necessità di una metodologia univoca e standardizzata. Il dibattito scientifico fu portato avanti sotto il patrocinio della SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) e uno dei risultati più importanti fu la pubblicazione di un quadro di riferimento internazionalmente accettato (SETAC, 1993).

Attualmente la maturità e l'unificazione della metodologia sono testimoniate dall'emissione, da parte dell'ISO (*International Standards Organization*) e segnatamente del suo *Technical Committee*, della normativa tecnica della serie ISO 14040.

#### **4.1.2. Lca**

Secondo la SETAC “[...] l'LCA è un processo che permette di valutare gli impatti ambientali associati ad un prodotto, processo o attività, attraverso l'identificazione e la quantificazione dei consumi di materia, energia ed emissioni nell'ambiente, e l'identificazione e la valutazione delle opportunità per diminuire questi impatti. L'analisi riguarda l'intero ciclo di vita del prodotto (“dalla culla alla tomba”): dall'estrazione e trattamento delle materie prime, alla produzione, trasporto e distribuzione del prodotto, al suo uso, riuso e manutenzione, fino al riciclo e collocazione finale del prodotto dopo l'uso [...]” (SETAC, 1993).

Da questa definizione risulta evidente come il concetto di valutazione, che sta alla base del metodo, sia strettamente connesso con quello di confronto, perciò, l'LCA dovrebbe essere inteso correttamente come una comparazione il più possibile completa tra due o più prodotti, gruppi di prodotti, sistemi, metodi o approcci alternativi, volta a rivelare i punti deboli, a migliorare le qualità ambientali, a promuovere prodotti e processi ecologici, a comparare approcci alternativi e dare fondamento alle azioni suggerite.

- ▶ i problemi ambientali non possono più essere affrontati per singoli comparti (aria, acqua, suolo), ma richiedono una valutazione e un intervento globale;
- ▶ nuova attenzione alle politiche di prodotto, quali componenti fondamentali delle politiche ambientali;
- ▶ un'opinione pubblica che richiede informazioni ambientali e consumatori che scelgono, in base a criteri di qualità ambientale, merci e servizi loro offerti.

Il metodo offre numerose possibilità di utilizzo :

- la valutazione dell'impatto ambientale di prodotti differenti, aventi la medesima funzione;
- l'identificazione, all'interno del ciclo produttivo o del ciclo di vita del prodotto, dei momenti in cui si registrano gli impatti più significativi, a partire dai quali possono essere indicati i principali percorsi verso possibili miglioramenti, intervenendo sulla scelta dei materiali, delle tecnologie e degli imballaggi;
- il sostegno alla progettazione di nuovi prodotti;
- la segnalazione di direzioni strategiche per lo sviluppo, che consentano risparmi, sia per l'azienda, sia per il consumatore;
- la dimostrazione di aver ottenuto un ridotto impatto ambientale ai fini dell'attribuzione del marchio ecologico comunitario (*Ecolabel*);
- il perseguimento di strategie di marketing in relazione al possesso di *Ecolabel*;
- l'ottenimento di un risparmio energetico;
- il sostegno nella scelta dei procedimenti per il disinquinamento;
- il supporto nella scelta delle soluzioni più efficaci e idonee per il trattamento dei rifiuti;
- la base oggettiva di informazioni e di lavoro per l'elaborazione dei regolamenti che riguardano l'ambiente.

L'LCA, quindi, non è solo un mezzo volto alla salvaguardia dell'ambiente, può infatti diventare un importante strumento per il rafforzamento delle dinamiche competitive nonché per la riduzione e il controllo dei costi.

Inevitabilmente il tipo di informazione fornita sarà un indicatore di tipo semplificato, specialmente per quanto riguarda la valutazione dell'impatto ambientale. Mediante un LCA è possibile ottenere una comprensione adeguata circa l'impatto ambientale di un certo prodotto.

Lo scopo, **i confini ed il livello di dettaglio** di un LCA dipendono dall'oggetto dello studio e dall'uso per il quale è stato predisposto; tuttavia, sebbene la profondità e l'ampiezza dell'indagine possano variare molto a seconda dei casi, lo schema cui si fa riferimento rimane sempre il medesimo. D'altra parte ogni tecnica di valutazione presenta necessariamente delle **limitazioni**, che è indispensabile conoscere e tenere in adeguata considerazione durante il procedimento di analisi, in particolare:

- i modelli utilizzati per l'analisi inventariale o per valutare impatti ambientali sono limitati dalle *assunzioni* implicitamente contenute in esso;
- l'accuratezza di uno studio di LCA può essere limitata dall'accessibilità o dalla disponibilità di informazioni rilevanti o di qualità elevata;
- la mancanza di una dimensione spaziale e temporale nell'inventario dei dati utilizzati per la valutazione dell'impatto introduce incertezza sui risultati dell'impatto;
- non è possibile un'assoluta e completa rappresentazione di ogni effetto sull'ambiente in quanto esso si basa su un *modello scientifico* che costituisce una *semplificazione di un sistema fisico vero*.

In generale, le informazioni ottenute attraverso uno studio di LCA dovrebbero essere usate come parte di un processo decisionale molto più completo e utilizzate per comprendere gli scambi globali o generali. Confrontare i risultati di differenti studi di LCA, è possibile solamente se le assunzioni e il contesto di ciascuno studio sono i medesimi. Per ragioni di trasparenza queste assunzioni dovrebbero essere così esplicitamente dichiarate.

#### **4.1.3. Criticità Lca**

Le tecniche d'indagine basate su LCA presentano tuttora problematiche non risolte che ne limitano l'utilizzo e l'efficacia. In particolare i due aspetti che maggiormente incidono sull'adozione di questo strumento riguardano : l'assenza di una metodologia coerente, sufficientemente diffusa e accettata a livello internazionale, per la valutazione degli impatti ambientali; e la scarsità di dati ed informazioni necessarie per una buona conoscenza dei fenomeni oggetto di studio.

Il primo problema è stato affrontato facendo uso del concetto di **impatto**, la cui misura è valutata con l'ausilio di **indicatori** che ipotizzano **una dipendenza**, lineare o non lineare, **tra l'entità dell'emissione e il potenziale effetto negativo sull'ambiente**. Un approccio alternativo a questa modalità operativa risiede nella costruzione di **indicatori di categorie di danno**, definiti per collegare gli effetti negativi su un sistema con realtà più vicine all'esperienza comune e più facilmente analizzabili e valutabili, come *la salute umana, la qualità dell'ecosistema, la produttività* e l'entità dei raccolti. Così facendo si ottiene l'effetto di rendere più immediata l'attribuzione dei pesi alle diverse categorie di danno e di rendere maggiormente comprensibile al pubblico gli effetti attribuiti ai processi studiati.

Per ciò che concerne il secondo problema, poiché il metodo LCA, sia per la fase di normalizzazione, sia per quella di valutazione, si basa su valori di soglia (*targets*) di impatti ambientali relativi a particolari aree geografiche, stabiliti da un'Authority.

Se le ipotesi precedenti sono verificate la disponibilità e l'accesso ai dati sono generalmente inficiate dalla riluttanza dei soggetti economici interessati nel rendere pubblici gli aspetti ambientali relativi alle proprie attività. Le cause di questa riluttanza possono essere ricondotte innanzitutto alla scarsa confidenza degli operatori interessati nei confronti delle metodologie LCA, per timore di costi elevati o per l'assenza di personale qualificato atto alla redazione di simili progetti. Un secondo fattore di dissuasione è connesso alla paura di essere oggetto di critiche da parte dell'opinione pubblica o della pubblica amministrazione e, quindi, di veder degradata l'immagine aziendale. Infine, un terzo motivo di opposizione alla diffusione di simili dati è legato al cosiddetto segreto industriale, che ostacola, non solo la pubblicazione di dati ambientali, ma, in genere, diversi tipi di dati sensibili.

Diversi studi, individuano, tra le soluzioni migliori per attenuare questo stato di cose, la pubblicazione di *best practices* che dimostrino i benefici di una politica di diffusione delle informazioni ambientali ed il coinvolgimento delle associazioni di industriali nella promozione della produzione e dello scambio di database idonei all'LCA.

#### **4.1.4. Struttura Lca e fasi**

Da un punto di vista metodologico, la definizione di LCA proposta originariamente dalla SETAC, successivamente ripresa dalle norme ISO 14040 e 14044, è la seguente :

*“una LCA è un procedimento oggettivo di valutazione dei carichi energetici e ambientali relativi a un processo o un’attività, effettuato attraverso l’identificazione dell’energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell’ambiente. La valutazione include l’intero ciclo di vita del processo o attività, comprendendo l’estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l’uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento finale”.*

La definizione specifica riportata nella normativa ISO 14040 esprime la LCA come una *“compilazione e valutazione attraverso tutto il ciclo di vita dei flussi in entrata e in uscita, nonché i potenziali impatti ambientali, di un sistema di prodotto”.*

Una LCA applicata a un sistema industriale indirizza dunque lo studio di efficienza del sistema in oggetto verso la salvaguardia della salute dell’ambiente e dell’uomo nonché verso il risparmio di risorse.

Punto fondamentale è la definizione di “sistema industriale”, che la norma ISO qualifica come “sistema di prodotti”.

E’ bene ricordare, quindi, che con sistema industriale si intende un insieme di procedure, la cui funzione principale è la produzione di beni utili : esso è separato dal sistema ambiente da confini fisici ben definiti ed è ad esso collegato grazie allo scambio di input e di output. In quest’ottica l’ambiente non è quello naturale definito dall’ecologia, ma è tutto ciò che sta all’esterno del sistema industriale considerato.



#### **Interazione tra un sistema industriale e il sistema ambiente**

Risulta quindi chiaro come gli input del sistema siano parametri che intervengono nel dibattito sui problemi del risparmio delle risorse; mentre gli output riguardino i problemi di inquinamento.

Si comprende come la definizione della **funzione del sistema e dei confini** dello stesso rappresentino le operazioni chiave per la buona riuscita di uno studio di LCA.

Dunque, più che descrivere il prodotto una LCA descrive il sistema che lo genera o, in altre parole, la funzione del sistema stesso. Questo è importante da chiarire, per evitare il rischio di identificare l'analisi del ciclo di vita dei processi con un'analisi del ciclo di vita dei prodotti.

Il modello del sistema oggetto di indagine in una LCA risulta sempre essere una semplificazione della realtà, poiché non include una rappresentazione completa delle interazioni con l'ambiente, ma solo quelle più significative.

Questo tipo di metodologia comprende la sfera della produzione, quella della distribuzione e quella dell'utilizzazione. E' legittimo quindi sostenere che l'affermazione di questa tecnica come strumento strategico innovativo a livello industriale sia cominciata offrendo un metro di confronto tra diverse produzioni, divenendo supporto d'immagine per i processi produttivi a impatto ambientale più limitato.

La struttura moderna della LCA proposta dalla norma ISO 14040 e successive è sintetizzabile in quattro momenti principali :

1. **Definizione degli scopi e degli obiettivi e del campo di applicazione dello studio (Goal and scope definition) :** è la fase preliminare in cui vengono definiti le finalità dello studio, l'unità funzionale, i confini del sistema studiato, il fabbisogno e l'affidabilità dei dati, le assunzioni e i limiti;
2. **Analisi di inventario (Life Cycle Inventory Analysis – LCI) :** è la parte del lavoro dedicata allo studio del ciclo di vita del processo o attività; lo scopo principale è di ricostruire la via attraverso cui il fluire dell'energia e dei materiali permette il funzionamento del sistema produttivo in esame tramite tutti i processi di trasformazione e trasporto. Redigere un inventario di ciclo di vita significa costruire un modello del sistema reale che si intende studiare : si compila quindi un inventario degli ingressi, cioè i materiali, energia, risorse naturali ed uscite, cioè emissioni in aria, acqua e suolo;
3. **Analisi degli impatti (Life Cycle Impact Assessment – LCIA) :** è lo studio dell'impatto ambientale provocato dal processo o attività, che ha lo scopo di evidenziare l'entità delle modificazioni generate a seguito dei rilasci nell'ambiente e dei consumi di risorse calcolati dall'inventario. E' la fase in cui si produce il passaggio dal dato oggettivo calcolato durante la fase di inventario al giudizio di pericolosità ambientale. Gli impatti calcolati sono potenziali, diretti ed indiretti, associati agli input e agli output;

4. **Interpretazione e miglioramento ( Life Cycle Interpretation) :** è la parte conclusiva di una LCA che ha lo scopo di proporre i cambiamenti necessari a ridurre l'impatto ambientale dei processi o attività considerati, valutandoli in modo da non attuare azioni tali da peggiorare lo stato di fatto. In pratica è la definizione delle linee di intervento.

La descrizione della struttura concettuale dell'Analisi del Ciclo di Vita è riportata all'interno del documento UNI ISO 14040 e collegati, e si articola secondo lo schema :

<i>Goal and Scope Definition ISO 14041</i>	<i>Life Cycle Inventory ISO 14041</i>	<i>Life Cycle Impact Assessment ISO 14042</i>	<i>Life Cycle Interpretation ISO 14043</i>
Definizione degli obiettivi dello studio	Preparazione raccolta dati e definizione del diagramma di flusso	Selezione e definizione delle Categorie di Impatto	Identificazione degli impatti più significativi
Definizione del campo di applicazione dello studio	Raccolta dati	CLASSIFICAZIONE Assegnazione di una o più categorie d'impatto ai dati raccolti nell'inventario	Valutazione della metodologia e dei risultati (completezza, sensibilità, consistenza)
Funzioni del prodotto Unità funzionale Flusso di riferimento	Procedimenti di calcolo dei flussi di input ed output	CARATTERIZZAZIONE Quantificazione dell'impatto	Analisi di sensibilità
Confini iniziali del sistema	Analisi di sensibilità e correzione dei confini del sistema	NORMALIZZAZIONE Analisi tecnica della significatività (opzionale)	Reiterazione del ciclo di vita in caso che i tre punti precedenti non siano soddisfatti
Categorie di dati	Allocazione dei flussi e dei rilasci	VALUTAZIONE Assegnazione di un peso relativo alle varie categorie d'impatto (opzionale)	Conclusioni e raccomandazioni Relazione sullo studio
Scelta iniziale dei flussi in ingresso e uscita	Interpretazione dei risultati e analisi dell'incertezza		
Requisiti di qualità dei dati	Relazione sullo studio		
Revisione critica			

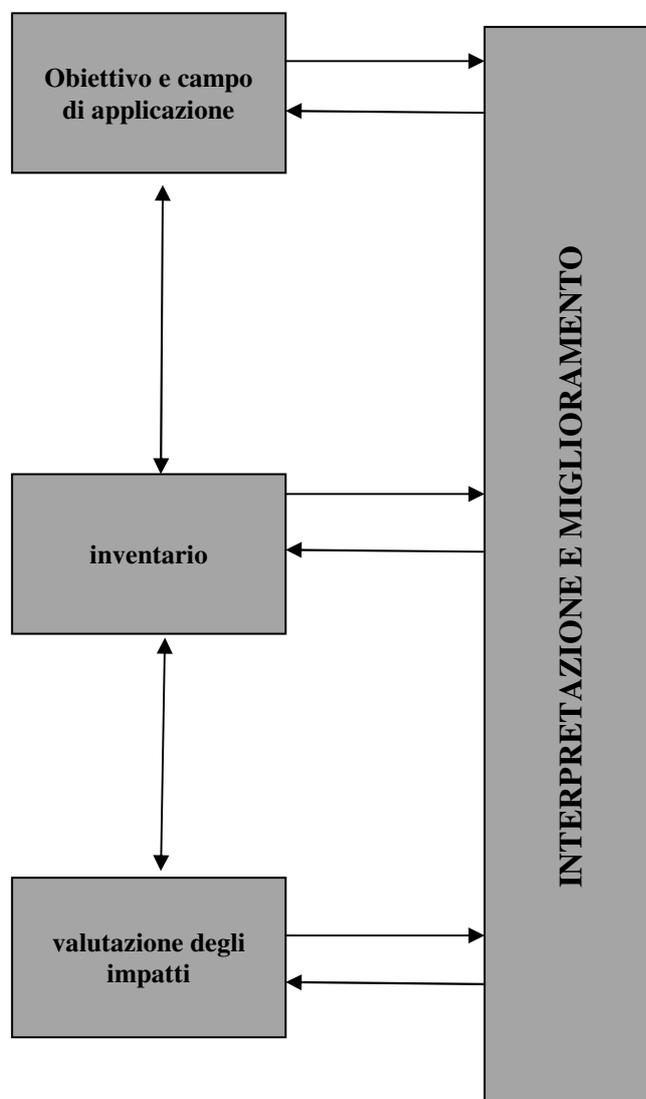
### **Struttura concettuale della Valutazione del Ciclo di Vita**

L'approccio metodologico adottato è per sua natura di tipo dinamico e interattivo, e la parte fondamentale è quella della disponibilità dei dati e delle informazioni necessarie allo sviluppo dei calcoli.

Trattandosi di modelli operativi, tutte le LCA possono infatti essere considerate in qualche modo “semplificate”, in quanto ipotesi e assunzioni di lavoro tendono per loro natura a semplificare o trascurare parti di sistema reale, coerentemente con quanto stabilito dagli obiettivi del lavoro e con le risorse a disposizione.

Comunque, data la gran mole di dati in gioco, per soddisfare le esigenze dell’analisi, per l’elaborazione dei dati è indispensabile usare strumenti di tipo informatico.

I modelli informatici di analisi e le banche dati costituiscono, quindi, parte integrante della strumentazione necessaria per affrontare una LCA.



**Struttura della LCA proposta dalla ISO 14040**

Le diverse fasi fanno tutte capo alla norma UNI EN ISO 14041 – 14042 – 14043.

#### **4.1.5. Prima fase di una Lca : definizione scopi, obiettivi e campo di applicazione (ISO 14041)**

Una LCA deve essere preceduta da un'esplicita dichiarazione degli obiettivi e delle finalità dello studio, e tale fase costituisce un importante momento di pianificazione.

La norma ISO 14040 introduce così l'argomento : *“Gli obiettivi e gli scopi dello studio di una LCA devono essere definiti con chiarezza ed essere coerenti con l'applicazione.*

*L'obiettivo di una LCA deve stabilire senza ambiguità quali siano l'applicazione prevista, le motivazioni che inducono a realizzare lo studio e il tipo di pubblico a cui è destinato, cioè a quali persone si intendono comunicare i risultati dello studio”.*

E' evidente come le finalità dello studio influenzino notevolmente le scelte e le ipotesi di lavoro, in quanto a seconda delle motivazioni, del pubblico a cui è destinato, delle risorse a disposizione e delle aspettative nei risultati, possono risultare scenari anche molto diversi. E' possibile citare : l'ampiezza del ciclo di vita, le eventuali alternative da considerare, la qualità e l'affidabilità dei dati a disposizione, la scelta dei parametri ambientali con cui riassumere i risultati, il livello di dettaglio a cui arrivare.

E' pertanto particolarmente gradito definire i confini della ricerca e quindi quelli del sistema oggetto dello studio, nonché esprimere i risultati in maniera opportuna; in ultima analisi la definizione del grado di approfondimento cui spingere lo studio.

La fase preliminare di definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione rappresenta uno stadio rilevante nello sviluppo di uno studio chiarendo la ragione principale per la quale si esegue l'LCA, comprendendo anche l'utilizzazione dei risultati, descrivendo il sistema oggetto dello studio e i suoi confini, elencando le categorie dei dati da sottoporre allo studio ed individuando il livello di dettaglio che si intende raggiungere. Fornisce, in sintesi, la pianificazione iniziale per effettuare uno studio di LCA.

Essendo una fase fondamentale, essa possiede una struttura molto articolata entro la quale è necessario definire:

1. *Obiettivo dello studio*, in esso sono contenute: le motivazioni che hanno portato ad eseguire lo studio, le applicazioni previste e i destinatari dello studio, cioè gli utilizzatori interni o esterni dei risultati ottenuti.

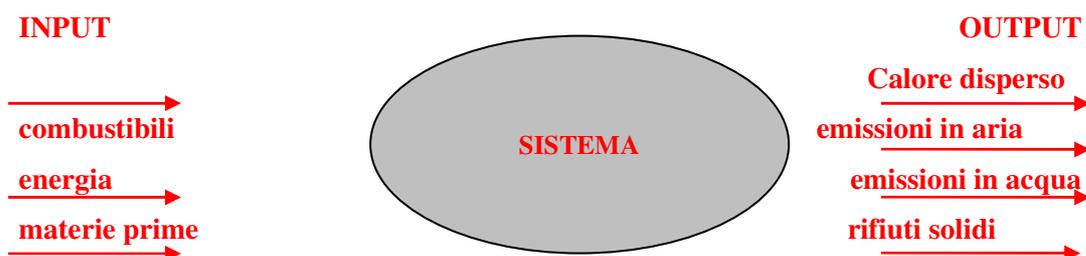
2. *Campo di applicazione dello studio*, esso deve essere definito in maniera opportuna, al fine di assicurare che l'ampiezza, la profondità e il dettaglio dello studio siano compatibili con l'obiettivo stabilito e adeguati per conseguirlo.

Per il campo di applicazione si considerano i seguenti argomenti :

#### **Definizione del sistema e sue funzioni.**

Nell'LCA viene definito "sistema" un qualsiasi insieme di dispositivi che realizzano una o più operazioni industriali aventi una specifica funzione; è determinato da confini fisici rispetto al sistema ambiente e con questo ha rapporti di scambio caratterizzati da una serie di input e di output. Nel caso più generale di un sistema industriale, un sistema i cui input consistono in materie prime e in energia primaria e i cui output in reflui (calore disperso, emissioni in acqua e aria, rifiuti solidi) che ritornano al sistema ambiente (**biosfera**).

Un sistema, quindi, al cui interno sono presenti tutti i processi di trasformazione : dai produttori agli utenti, attraverso i prodotti finali. Trai i suoi output non esistono prodotti utili ma solo reflui.



Tali sistemi contengono un gran numero di operazioni collegate tra loro, anche in modo complesso, dai flussi di materiali, di energia e di prodotti finiti.

Per effettuare un inventario di ciclo di vita di un sistema è necessario definire innanzitutto le singole operazioni che lo compongono in qualità di operazioni unitarie : ognuna di queste riceve i propri input dalle operazioni unitarie a monte, mentre i suoi output serviranno ad alimentare quelle seguenti, secondo lo schema di produzione.

Definire i confini del sistema significa determinare le unità di processo che devono essere considerate dallo studio. Tali unità devono essere esplicitamente elencate per evitare di non paragonare sistemi che non sono confrontabili.

Le funzioni del sistema rappresentano le caratteristiche e le prestazioni del processo e/o prodotto.

### **Definizione dell'unità funzionale.**

Veniamo all'altra operazione preliminare prima di procedere all'inventario. E' infatti importante definire, fin dall'inizio dello studio, un'unità di misura di riferimento, chiamata "unità funzionale", con cui trattare ed esporre i dati e le informazioni di una LCA.

*"L'unità funzionale costituisce una misura della prestazione del flusso in uscita. Il suo scopo principale è di fornire un riferimento a cui legare i flussi in entrata e in uscita. Tale riferimento è necessario per consentire la comparabilità dei risultati di una LCA. Tale comparabilità è particolarmente critica quando si valutano sistemi differenti, perché ci si deve assicurare che i confronti siano fatti su una base analoga. Un sistema può avere un gran numero di funzioni possibili e la funzione scelta per lo studio dipende dall'obiettivo e dal campo di applicazione. La corrispondente unità di misura deve essere definita e misurabile"* (ISO 14040).

L'unità funzionale, quindi, indica il riferimento rispetto al quale normalizzare i dati che compongono il bilancio ambientale del sistema in esame. L'unità funzionale deve essere rappresentativa di una prestazione quantificabile e oggettivamente riscontrabile di un prodotto e/o processo, al fine di consentire la comparabilità dei risultati dell'LCA.

La scelta di tale unità è arbitraria e dipende essenzialmente dallo scopo per cui i sottosistemi e il sistema globale sono stati progettati, e può essere intesa come un indice delle prestazioni svolte dal sistema. La sua definizione risulta quindi fondamentale per la buona riuscita dello studio.

Questa unità è stata anche creata perché le unità di misura normalmente utilizzate, come la massa, il numero di pezzi, il volume ecc. non sono sempre adeguate a rappresentare il rendimento (energetico e ambientale) di un processo produttivo, ma anche perché risultati uguali di uno studio espressi secondo unità funzionali differenti possono portare a conclusioni completamente diverse.

Per esempio se la funzione di un processo è la produzione di imballaggio, l'unità a cui riferire le sue prestazioni sarà la quantità di imballaggio necessaria per contenere un certo volume di prodotto, e non il chilogrammo di vetro o cartone.

Poiché i sistemi studiati contengono molte unità di processo, risulta comodo utilizzare unità funzionali di processo diverse e seconda del sottosistema considerato, per poi far convergere i valori utilizzando l'unità funzionale scelta come rappresentativa dell'intero sistema indagato.

A fianco dell'unità funzionale, la norma ISO 14040 introduce il concetto di “flusso di riferimento” che in pratica è la quantità di bene o di servizio necessario per ottenere l'unità funzionale scelta.

### **I confini del sistema.**

I confini determinano le unità di processo che devono essere incluse nell'LCA e le loro interrelazioni; spesso è utile rappresentarle attraverso un **diagramma di flusso**.

Per determinare, quindi, i confini della ricerca questi vengono definiti con grande cura e attenzione. Tale definizione avviene a seguito di una minuziosa descrizione del sistema in esame e della costruzione del diagramma di flusso del ciclo produttivo (flow chart), effettuate allo scopo di pianificare la raccolta dei dati e delle informazioni, delineando così il campo di azione.

Una prima delimitazione dei confini avverrà nell'ambito della ricerca degli ambienti fisici e dei processi produttivi che si ritiene di dover considerare per l'analisi. Successivamente sarà possibile escludere componenti che si dimostreranno non rilevanti o per cui risulta troppo oneroso ottenere un'informazione dettagliata, oppure includerne altre alle quali inizialmente non si era attribuita un'adeguata importanza.

Resta inteso comunque che la scelta del confine dell'analisi debba essere adeguatamente motivata e sempre segnalata nello studio.

E' possibile ora ribadire che ogni LCA contiene di fatto delle semplificazioni e limitazioni per renderla gestibile rispetto a una LCA dell'intero sistema globale che non sarà mai riproducibile per intero.

Dunque l'obiettivo iniziale di una LCA è quello di ripercorrere a ritroso tutte le filiere produttive del sistema indagato fino all'estrazione delle materie prime nel modo più completo possibile e **stimare l'errore che si compie trascurando alcune unità di processo**. La ISO è molto chiara in proposito : *“i criteri adottati nello stabilire i confini del sistema devono essere identificati e giustificati nel campo di applicazione dello studio”*.

Anche il periodo di riferimento costituisce un vincolo nella scelta dei confini dell'analisi. I dati inoltre possono rappresentare una situazione media di funzionamento del sistema, oppure la migliore tecnologia a disposizione (**BAT** – Best Available Techniques).

Tutte queste informazioni che vanno a costituire le fondamenta su cui impostare l'intera analisi, sono raggruppate secondo la ISO 14040 nel “campo di applicazione dello studio”, che rappresentano una sorta di carta d'identità con requisiti, limiti e ipotesi iniziali.

Gli esperti nel campo stanno investendo notevoli energie per cercare di trovare un codice che consenta di utilizzare contemporaneamente grandezze energetiche, ambientali ed economiche. L'approccio metodologico dell'LCA prevede ora soltanto l'impiego di grandezze energetiche ed ambientali con l'intento di collegarle a quelle economiche solo in un momento successivo e in modo indipendente.

#### **Requisiti di qualità e affidabilità dei dati.**

Tale fase è importante per stabilire l'affidabilità dei risultati dello studio; spesso, infatti, qualora la precisione delle informazioni sia scarsa o nulla, è necessario ricorrere alla letteratura.

Sia nel caso in cui un analista LCA sia dotato di uno strumento di calcolo software che include una base di dati da cui attingere le informazioni, sia nel caso si abbiano a disposizione banche dati che possono essere utilizzate come sorgente di informazioni da inserire nel proprio modello, è importante poter qualificare la rappresentatività statistica del dato, la sua origine e tutti gli elementi necessari a una sua riproducibilità.

#### **4.1.6. Seconda fase di una Lca : analisi di inventario (ISO 14041)**

Essa è indubbiamente la fase più delicata e dispendiosa in termini di tempo di un LCA, in quanto rappresenta la base informativa su cui si innestano le fasi successive.

Seguendo la definizione della ISO 14041, è proprio in questa fase che sono *“[...] individuati e quantificati i flussi in ingresso e in uscita da un sistema - prodotto, lungo tutta la sua vita [...]”*. Saranno quindi identificati e determinati i consumi di risorse (materie prime, prodotti riciclati e acqua), di energia (termica ed elettrica) e le emissioni in aria, acqua e suolo. Al termine la struttura assumerà l'aspetto di un vero e proprio **bilancio ambientale**.

Il procedimento per condurre l'analisi d'inventario è iterativo. Man mano che i dati raccolti diventano più approfonditi ed il sistema è meglio conosciuto, possono essere identificati nuovi requisiti o limitazioni, che potranno anche comportare cambiamenti nelle procedure di raccolta dei dati, affinché siano ancora soddisfatti gli obiettivi dello studio.

L'inventario può essere suddiviso in quattro moduli:

1. **Diagramma di flusso del processo** (*Process flow-chart*): il diagramma di flusso del processo consiste in una rappresentazione grafica e qualitativa di tutte le fasi rilevanti e di tutti i processi coinvolti nel ciclo di vita del sistema analizzato. È composto da sequenze di processi (*boxes*), collegati da flussi di materiali (*arrows, frecce*). La sua caratteristica fondamentale è quella di dividere un sistema in vari sottosistemi, esplicitare azioni d'interconnessione (le uscite di un sottosistema a monte sono le entrate di un sottosistema a valle) ed individuare le parti del processo dotate di maggiore rilevanza, soprattutto in termini ambientali, per evitare di attribuire il medesimo grado di attenzione indiscriminatamente a tutte le fasi;
2. **Raccolta dati** (*Data collection*): la raccolta dei dati richiede un impegno molto elevato, in termini di tempo e di risorse, a causa della notevole mole di informazioni, spesso di difficile reperibilità, necessarie a caratterizzare tutte le fasi del processo produttivo.

I dati raccolti possono essere distinti in tre categorie:

- dati primari, provenienti da rilevamenti diretti;
- dati secondari, ricavati sia dalla letteratura, come database di software specifici (BUWAL, CETIOM, CBS, IVAM) e manuali tecnici, sia da altri studi e da calcoli ingegneristici;
- dati terziari, provenienti da stime e da operazioni analoghe, da dati relativi a test realizzati in laboratorio, da statistiche ambientali e da valori medi.

Quando si raccoglie il set di dati è necessario controllare che questi siano concreti e coerenti: un metodo di valutazione semplice consiste nell'effettuare un bilancio per ogni processo, tenendo conto del fatto che l'ammontare degli input deve essere pari al rilascio degli output.

Oltre agli impatti relativi al processo, devono essere definiti anche i dati riguardanti:

- impatti e consumi relativi all'energia elettrica importata nel sistema: è necessario chiarire quale sia il contesto di riferimento (Regionale, Nazionale, Comunitario) per procedere alla valutazione del mixing di combustibili che concorrono alla produzione del kW elettrico sfruttato, l'efficienza globale del sistema ed i relativi impatti sull'ambiente;
- impatti e consumi relativi al sistema di trasporto: i prodotti possono essere trasportati con differenti mezzi, a ciascuno dei quali corrisponde un certo impatto per unità di prodotto trasportato.

1. **Definizione delle condizioni al contorno** (*System boundaries*): in questa fase si definiscono:

- il confine tra il sistema studiato e l'ambiente; deve essere inoltre specificato il carico sull'ambiente, rappresentato da tutte le estrazioni e le immissioni che avvengono durante l'intero ciclo di vita;
- il confine fra i processi ritenuti rilevanti e quelli irrilevanti: in questa fase si decide l'estensione dello studio, stabilendo ciò che deve essere incluso e ciò che invece deve essere trascurato. Si tiene in considerazione lo scopo dello studio, precedentemente definito, e ci si basa su considerazioni pratiche, fondate sull'opportunità di non coinvolgere elementi che di fatto non hanno alcuna rilevanza sostanziale sui risultati finali.

2. **Elaborazioni dei dati** (*Data Processing*): raccolti i dati, questi vengono correlati a tutte le unità di processo che concorrono alla produzione dell'unità funzionale in studio dove, per ciascuna unità di processo, si determinerà un'appropriata unità di misura per il flusso di riferimento. Successivamente i dati riguardanti l'impatto vengono trasformati e riferiti all'unità funzionale di prodotto, attraverso la definizione di un fattore di contribuzione che esprime il contributo di ciascun processo rispetto alla produzione di un'unità funzionale, espressa attraverso l'unità di misura prescelta.

Questo procedimento dovrà essere eseguito per tutte le sostanze presenti in ciascun processo. Un problema che può presentarsi durante questa fase riguarda la ripartizione dei consumi e degli impatti relativi a prodotti differenti generati da uno stesso processo produttivo. È evidente l'importanza della conoscenza nel dettaglio del processo produttivo al fine di poter **attribuire ad ogni prodotto ottenuto la quota spettante di materia prima ed energia consumata, quindi i rispettivi impatti in aria, acqua e rifiuti solidi**. Quando ciò non risulti possibile, perché ad esempio, in uno stesso processo sono lavorate più categorie di prodotti, si procede ad una ripartizione dei consumi e dei relativi impatti attraverso una suddivisione che può tenere conto dei seguenti criteri:

- le quantità consumate sono assegnate in base al peso dei diversi prodotti, cioè per via ponderale;
- in base al valore economico di ciascun prodotto;
- in funzione dell'importanza dei vari prodotti.

I trasporti costituiscono un elemento vitale per la maggioranza dei processi produttivi industriali e spesso la quantità di energia a essi legata (e le conseguenti emissioni) rappresenta una parte significativa dell'energia complessiva spesa nel processo in esame. Possono essere considerati come mezzi di trasporto i camion, gli autocarri, autoarticolati, trattori, attrezzature che consumano gasolio come le scippatrici, ecc.

E' stato comunque dimostrato, attraverso compiuti studi sull'argomento, che **se il trasporto su strada è contenuto entro i 100 km l'impatto ambientale che ne risulta non è molto significativo e non incide particolarmente sugli impatti del sistema nella sua interezza.**

E' possibile suddividere l'apporto di diversi contributi, e per quelli energetici riguarda : contenuto energetico dei combustibili consumati direttamente dal mezzo considerato, più la quota indiretta necessaria a produrre il combustibile, di solito è proporzionale alla distanza percorsa e dipende dal sistema di trasporto, dalla portata del mezzo, dal tipo di viaggio ecc.; energia necessaria alla costruzione e manutenzione del mezzo; energia necessaria a realizzare le infrastrutture per permettere il viaggio e al loro mantenimento.

E' chiaro che per l'impatto ambientale dei sistemi di trasporto, le emissioni atmosferiche legate alla fase diretta di consumo energetico risultano essere quelle più importanti da conoscere e valutare.

Le informazioni relative ai consumi energetici e alle emissioni dei mezzi di trasporto sono disponibili in forma di dati statistici nazionali relativi a una certa categoria di mezzo, o in forma di dati forniti dal costruttore del mezzo stesso.

Le unità di misura da impiegare per esprimere i quantitativi di energia legati ai trasporti, tenendo conto della capacità di carico dei mezzi di trasporto, è possibile adottare l'unità di energia per tonnellata x chilometro; oppure nel caso di mezzi di trasporto che non compiono il trasporto a pieno carico è l'energia per veicolo x chilometro. Per le emissioni, l'unità di massa della sostanze emessa (per esempio mg di CO<sub>2</sub>) viene riferita alle unità utilizzate per l'energia.

Il sistema di trasporto stradale è il sistema più usato per il trasporto di cose e persone; è possibile stimare che circa il 60% di energia associata a questo trasporto è da attribuire al consumo di combustibile, il 30% circa alla costruzione e manutenzione e circa il 10% alla realizzazione delle infrastrutture.

Il consumo di combustibile di autocarri dipende da diversi fattori : lo stato del mezzo, le condizioni di guida, la tipologia di processo, la qualità del combustibile, le condizioni climatiche, ecc.

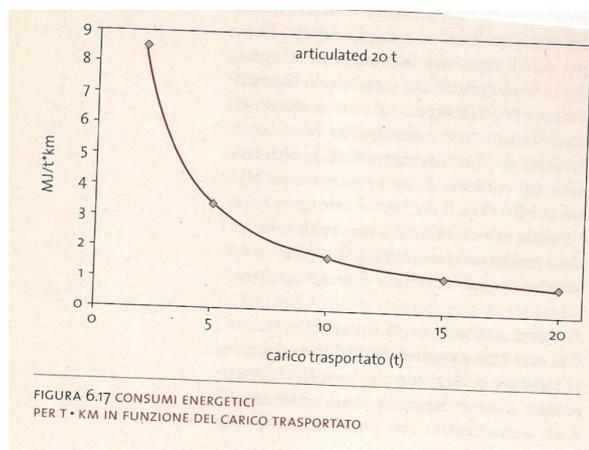
Particolare attenzione deve essere dedicata all'utilizzo di unità di misura adottate. Normalmente si utilizza la **tonnellata x chilometro**, che riferisce gli input (carburante) e gli output (emissioni) al trasporto di 1 tonnellata per 1 chilometro; qui è sempre opportuno specificare la massa trasportata e la distanza percorsa, **ipotizzando che viaggi a pieno carico**. Un'utile accorgimento utilizzato in un'analisi LCA riguarda i chilometri percorsi con mezzo a pieno carico o mezzo a vuoto (in quanto spesso per raccogliere materiale si deve anche eseguire un certo percorso a vuoto prima di caricare la merce); per questo problema l'LCA considera una **media dei chilometri totali percorsi**, tra viaggi a vuoto e viaggi a pieno carico, per realizzare il percorso di trasporto. Tale media di chilometri percorsi viene **moltiplicata per un coefficiente sperimentale pari a 1,7**, il quale tiene implicitamente conto sia dei viaggi a pieno carico che di quelli a vuoto.

Si può notare, da studi effettuati, che all'aumentare delle dimensioni dei veicoli corrisponda un rapido incremento dei consumi e come i mezzi di trasporto a benzina presentino un'efficienza inferiore rispetto a quelli a gasolio.

L'utilizzo di una simile unità di misura potrebbe risultare fuorviante; bisogna quindi esprimere le prestazioni energetiche in modo più chiaro, esplicitando **l'energia richiesta per trasportare un'unità di massa per un chilometro**, e cioè **dividendo i valori per il carico trasportato**.

La figura sottostante mostra l'andamento dei consumi per t x km in funzione del carico trasportato (e non della portata utile). Si può notare come la curva presenta **il minimo proprio in corrispondenza della portata massima : l'efficienza energetica si persegue cercando di far viaggiare i mezzi a pieno carico**, saturandoli in peso.

Poiché il consumo energetico per chilometro di un mezzo poco carico è inferiore a quello dello stesso mezzo a pieno carico, il non considerarlo porterebbe a sovrastimare l'energia per unità di massa trasportata.



Altro fattore da considerare è quello relativo alle condizioni di traffico e cioè se il trasporto avviene prevalentemente in strade urbane o extraurbane. Di solito **i valori forniti dalle banche dati si riferiscono a situazioni di utilizzo extraurbano, però se ci si trova in condizioni urbane il consumo può essere aumentato del 30%**.

Le banche dati contenute nei programmi software per la redazione di LCA attualmente disponibili contengono le informazioni complete riguardanti tutti i possibili mezzi di trasporto su strada, fornendo dati particolareggiati sui consumi diretti e indiretti e semplificando lo svolgimento dei calcoli.

Un ulteriore aspetto molto importante poi è quello che riguarda la quantificazione degli aspetti positivi associati al recupero di alcune tipologie di rifiuti.

Per valutare i benefici del recupero di materia o di energia è consueto l'utilizzo della metodologia degli **"impatti evitati"**. Dato un sistema che permette un recupero, mediante questo approccio si sottraggono dagli impatti ambientali generati quelli associati alla produzione dei flussi recuperati.

Il risultato di questo approccio è quindi la valutazione degli impatti ambientali di un sistema tenuto conto anche, in termini quantitativi, dei benefici associati agli eventuali recuperi. A tal proposito è ancora da osservare come dovendo effettuare una sottrazione di impatti possa verificarsi un risultato negativo. Ovviamente questo dato deve essere interpretato osservando che in presenza di valore negativo il sistema produce minori impatti rispetto al sistema tradizionale.

Uno dei temi più dibattuti relativamente allo studio degli impatti ambientali è quello dell'effetto serra; tra le principali sostanze responsabili di tale fenomeno la CO<sub>2</sub> assume sicuramente il maggior rilievo.

Mentre è assodato che l'anidride carbonica emessa dalla combustione di sostanze fossili contribuisce a tale effetto; le emissioni di CO<sub>2</sub> generate dalla combustione di sostanze biologiche fanno parte di un ciclo biologico naturale, sarebbero destinate a generarsi (morte e decomposizione di un albero per esempio) e ne sarebbe garantito il loro riassorbimento da parte della natura (crescita di un nuovo albero) rendendo così nullo il loro contributo all'effetto serra.

Per quanto tale approccio sia basato su un corretto fondamento scientifico, si dovrebbe però tenere in considerazione la cinetica con la quale avvengono gli scambi di carbonio tra i vari compartimenti ambientali. In particolare il comparto vegetale, l'atmosfera e la fase fossile.

Quindi la combustione di una fonte rinnovabile non provoca l'effetto serra. Importante però è accertarsi che la velocità di rinnovamento della fonte considerata sia in linea con le cinetiche dei fenomeni di consumo e di riassorbimento.

Per esempio consideriamo la crescita del legno, trascurando le emissioni di CO<sub>2</sub> generate da tutte le altre attività della filiera produttiva così ragioniamo solo sul bilancio legato alla crescita del legno (considerare la quantità di carbonio, espresso in CO<sub>2</sub>, che il legno ha assorbito durante la sua crescita, fotosintesi cioè).

Si può considerare che il sistema prenda origine da un prato nudo sul quale si pianta un albero nella cui fasi di crescita sarà in grado di fissare carbonio, e quindi CO<sub>2</sub>. Risulta chiaro, quindi, come l'albero possiede una sorta di “**credito di CO<sub>2</sub>**” quantificabile nella CO<sub>2</sub> da esso assorbita durante la sua crescita. Tale credito può essere considerato intrinseco al materiale e quindi conservato anche nei manufatti che prendono origine da quel legno, sia direttamente sia dopo attività di riciclo. Questo credito rimane intrappolato nel materiale sino a quando non intervenga un processo di combustione a liberare la CO<sub>2</sub> e quindi a immettere di nuovo in atmosfera la quantità di carbonio precedentemente assorbita.

#### **4.1.7. Terza fase di una Lca : la valutazione d'impatto (ISO 14042)**

La norma ISO definisce “*impatto ambientale una qualsiasi modificazione causata da un dato aspetto ambientale, ossia da qualsiasi elemento che può interagire con l'ambiente*”.

Un impatto è associato a uno o più effetti ambientali : per esempio la CO<sub>2</sub> emessa durante la combustione di una certa quantità di carbone provoca un impatto che contribuisce all'effetto serra.

Poiché non è possibile correlare inequivocabilmente uno specifico impatto ai suoi effetti ambientali, ci si deve limitare ad affermare che l'impatto è ciò che prelude a un effetto, senza pretende di poter quantificare rigorosamente il secondo sulla base del primo. Mentre possiamo ottenere il valore numerico degli impatti dai risultati della fase di analisi di inventario, i corrispondenti effetti ambientali potranno essere stimati sulla base di ipotesi e convenzioni.

Gli effetti dovuti alle sostanze rilasciate nell'ambiente si verificano nelle immediate vicinanze del punto di emissione oppure possono avere una ricaduta su tutto il pianeta. Quindi, gli effetti ambientali si suddividono in effetti globali, regionali o locali. Prendendo sempre ad esempio le emissioni di CO<sub>2</sub> responsabili dell'effetto serra :

analizzandone il tempo di permanenza in atmosfera è possibile classificare l'effetto serra come un effetto a scala globale in quanto è stato appurato che l'emissione di gas serra in un punto contribuisce all'effetto su tutto il pianeta; per le emissioni di rumore invece è chiaro che queste debbano essere considerate solo a scala locale.

E' quindi opportuno evidenziare che un eventuale giudizio di valore sul significato ambientale degli impatti può riguardare solo gli effetti globali, intendendo quelli che si manifestano a scala planetaria o regionale.

Il peso globale di un determinato inquinante è infatti il risultato di numerosi contributi spesso provenienti da diverse aree geografiche della terra, e gli output riferiti a diversi periodi di tempo. Dunque i risultati di un'analisi di inventario possono essere utilizzati per la valutazione di effetti su scala globale.

Inoltre le sostanze emesse durante la trasmissione possono subire trasformazioni chimiche, fisiche o biologiche dando origine ad altri composti. Per esempio la formazione di ossidanti fotochimici derivanti dall'interazione che la luce del sole ha con gli idrocarburi emessi in atmosfera, portando alla formazione di molecole di ozono; oppure se considero il totale delle emissioni di SO<sub>2</sub> provenienti dai risultati di inventario, le piogge acide, l'acidificazione conseguente e l'eventuale perdita di biodiversità in un lago sono le conseguenze ipotizzabili immediatamente.

Comprendere i fenomeni di interazione dell'attività antropica con l'ambiente costituisce un obiettivo importante per promuovere in ambito industriale la nuova cultura della produzione basata sul concetto di sviluppo sostenibile. L'obiettivo sarà anche di scoprire, nell'ambito del sistema in esame, dove e come intervenire per ottenere una minimizzazione dell'impatto dovuto a tali processi analizzati.

La valutazione di impatto del ciclo di vita consiste in un processo tecnico-quantitativo e/o qualitativo per la caratterizzazione e la valutazione degli impatti ambientali delle sostanze identificate nella fase di inventario. In questo step sono **valutati gli effetti sulla salute e sull'ambiente**, indotti dal processo o dal prodotto durante il corso del suo ciclo di vita.

La struttura concettuale della Valutazione di Impatto fa riferimento alla norma ISO 14042 che la definisce e la standardizza nelle fasi descritte di seguito :

1. **Selezione e definizione delle categorie di impatto:** in questa prima fase sono identificate le categorie d'impatto prodotte dal sistema in esame. Per la definizione di queste categorie occorre rispettare tre caratteristiche:

- completezza: comprendere tutte le categorie, a breve e a lungo termine, su cui il sistema potrebbe influire;
- indipendenza: evitare intersezioni tra le categorie, che comporterebbero conteggi multipli;
- praticità: la lista formulata non dovrà spingersi ad un dettaglio elevato, contemplando un numero eccessivo di categorie.

Per la scelta delle categorie può essere utile consultare il *Working Group on LCIA* della SETAC, all'interno della quale sono proposte e descritte numerose tipologie di impatto, come:

- estrazione di risorse abiotiche, al cui interno sono incluse tre differenti tipologie di elementi naturali: *i depositi* di combustibili fossili e minerali, considerati risorse limitate in quanto non rinnovabili nel breve periodo; *le risorse*, quali acque sotterranee, sabbia e ghiaia; *le risorse rinnovabili* come le acque superficiali, l'energia solare, il vento, le correnti oceaniche; estrazione di risorse biotiche, cioè tipologie specifiche di biomassa raccolte sia in maniera sostenibile, sia in maniera non sostenibile;
- uso del territorio, la cui gestione errata porta ad una riduzione del numero di specie animali e vegetali presenti, rispetto alle condizioni naturali;
- effetto serra, che comporta un aumento della temperatura nella bassa atmosfera conseguenza della presenza di alcuni gas, quali l'anidride carbonica, il metano, il biossido di azoto, che intrappolano le radiazioni infrarosse;
- ecotossicità, provocata dalle emissioni dirette di sostanze tossiche, come metalli pesanti, idrocarburi, pesticidi e sostanze liberate nel corso della degradazione dei prodotti, che danno luogo ad impatti sulle specie e sugli ecosistemi;
- smog fotochimico, in cui si considerano tutti gli impatti derivanti dalla formazione di ozono troposferico, causata dalle reazioni di componenti organici (VOC) in presenza di luce e di ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>);
- tossicità umana, imputabile alla presenza di sostanze chimiche e biologiche, e dipendente sia dal tipo di esposizione, sia dalla metodologia attraverso la quale avvengono le emissioni nell'ambiente;
- acidificazione, causata dal rilascio di protoni negli ecosistemi acquatici e terrestri, principalmente attraverso la pioggia; gli effetti sono evidenti nelle foreste di legno dolce, dove si manifestano in termini di crescita insufficiente;

fenomeno particolarmente presente nella penisola scandinava e nelle regioni dell'Europa centro orientale. Negli ecosistemi acquatici si ha un abbassamento del pH delle acque, situazione deleteria per lo sviluppo della vita. Le conseguenze dell'acidificazione si rendono evidenti, inoltre, negli edifici, nelle opere d'arte e in tutte le costruzioni in genere attraverso l'erosione delle pietre calcaree.

- arricchimento in nutrienti, causato da un eccesso di nitrati, fosfati, sostanze organiche degradabili e di tutti quegli elementi nutritivi che portano ad un incremento nella produzione di plancton, alghe e piante acquatiche in genere.
2. **Classificazione:** è la fase di assegnazione dei dati raccolti nell'inventario ad una o più categorie di impatto ambientale (*impact categories*), noti gli effetti e i danni potenziali delle emissioni alla salute umana, all'ambiente, all'impoverimento delle risorse, ecc. Alla fine di questa fase, all'interno di ciascuna categoria di impatto, saranno contenuti **tutti gli input e output del ciclo di vita che contribuiscono allo sviluppo dei diversi problemi ambientali**. La stessa sostanza o materiale potrebbe essere contenuta all'interno di più categorie di impatto.
  3. **Caratterizzazione:** essa si affianca alla fase della classificazione ed ha lo scopo di **quantificare l'impatto** generato. Essa trasforma, attraverso una serie di calcoli, le sostanze presenti nell'inventario, e precedentemente classificate, in indicatori di carattere numerico, attraverso la definizione del contributo relativo di ogni singola sostanza emessa o risorsa usata. L'operazione viene effettuata moltiplicando i pesi delle sostanze emesse, o consumate nel processo, per i relativi fattori di caratterizzazione (*weight factors*), propri di ogni categoria di impatto. In sintesi, il fattore di caratterizzazione misura l'intensità dell'effetto della sostanza sul problema ambientale considerato, ed è stabilito da un'Authority sulla base di considerazioni di carattere prettamente scientifico.

Di seguito sono elencati i fattori peso per le varie categorie di impatto proposti da CML, nell'ottobre 1992:

- Per la categoria estrazione di risorse abiotiche, il *rapporto utilizzo/riserva*  $W_j$ , espresso dalla relazione:  $W_j = G_j/R_j$

dove:

$G_j$  è il consumo corrente globale del minerale  $j$ ;

$R_j$  è la riserva del minerale  $j$ .

- Per la categoria estrazione di risorse biotiche, non è ancora stata realizzata una determinazione attendibile: si potrebbe definire un indicatore basato sulla rarità e sul tasso di rigenerazione della risorsa.
- Per l'effetto serra viene usato il parametro *Potenziale di Riscaldamento Globale* (*Global Warming Potential, GWP*), che definisce la potenziale influenza di una sostanza, valutata in termini relativi rispetto alla CO<sub>2</sub>, secondo orizzonti temporali di 20, 100 e 500 anni; questo per tenere conto del fatto che le varie sostanze si decompongono e inattivano solo in periodi di tempo molto lunghi.
- Per l'impoverimento dell'ozono è stato introdotto il parametro *Potenziale di Riduzione dell'Ozono stratosferico* (*Ozone Depletion Potential, ODP*): la sostanza di confronto rispetto alla quale si valuta l'effetto delle altre è il CFC11.
- Per l'effetto dell'ecotossicità sono stati introdotti i seguenti parametri:
  - ECA (*Aquatic Ecotoxicity*) [m<sup>3</sup>/kg], per la valutazione della tossicità delle acque;
  - ECT (*Terrestrial Ecotoxicity*) [m<sup>3</sup>/kg], per la valutazione della tossicità del terreno.
- Per la tossicità umana sono stati ideati gli indici:
  - HCA (*Human-toxicological Classification value for Air*), indice di classificazione per le sostanze emesse in aria;
  - HCW (*Human-toxicological Classification value for Water*), indice di classificazione per le sostanze emesse in acqua;
  - HCS (*Human-toxicological Classification value for Soil*), indice di classificazione per le sostanze emesse nel terreno.

Essi forniscono un'indicazione di massima e non hanno la pretesa di essere del tutto precisi e affidabili.

- Per lo smog fotochimico si usa il parametro *Potenziale di Creazione di Ozono Fotochimico* (*Photochemical Ozone creation potentials, POCP*), per i componenti organici. Tale parametro è espresso per le diverse sostanze in termini di equivalenza con l'etilene (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>).
- Per la categoria acidificazione è usato il fattore *Potenziale di Acidificazione* (*Acidification Potential, AP*), stimato per ogni sostanza in termini di SO<sub>2</sub> oppure in termini di mole di H<sup>+</sup>.
- Per l'eutrofizzazione si usa il *Potenziale di Eutrofizzazione* (*Eutrophication Potential, EP*) espresso in termini di impoverimento in O<sub>2</sub>, oppure in PO<sub>4</sub>.

**Gli indicatori citati, sono, per la maggior parte, gli stessi utilizzati all'interno del metodo degli Eco-indicator 99, presente all'interno del codice di calcolo Sima Pro 6.0, utilizzato nello studio.**

Il risultato della fase di caratterizzazione è il profilo ambientale, costituito da una serie di punteggi di impatto ambientale relativi a ciascuna categoria, ottenuti sommando tra loro tutti i singoli contributi precedentemente calcolati. Solitamente viene rappresentato graficamente attraverso una serie di **istogrammi oppure** attraverso un **network** con frecce di diverso spessore a indicare quale attività comporta l'impatto maggiore.

4. **Normalizzazione:** in questa fase i **valori** ottenuti dalla caratterizzazione vengono normalizzati, cioè **divisi per un "valore di riferimento"** o "effetto normale" rappresentato generalmente da dati medi su scala mondiale, europea o regionale, riferiti ad un determinato intervallo di tempo. Attraverso la normalizzazione si può stabilire la magnitudo, ossia **l'entità dell'impatto ambientale del sistema studiato rispetto a quello prodotto nell'area geografica prescelta come riferimento.**

Nella Tabella sottostante sono riportati i valori relativi ad un anno di produzione industriale mondiale. La normalizzazione avviene, ad esempio, dividendo i risultati dell'operazione di caratterizzazione con quelli qui di seguito riportati.

<b>TEMI AMBIENTALI</b>	<b>UNITA'</b>	<b>VALORI MONDIALI</b>
Esaurimento fonti energetiche	$GJ \cdot (anno^{-1}) \cdot 10^9$	235
Effetto serra	$kg \cdot (anno^{-1}) \cdot 10^{12}$	37.7
Ossidanti fotochimici	$kg \cdot (anno^{-1}) \cdot 10^9$	3.74
Acidificazione	$kg \cdot (anno^{-1}) \cdot 10^9$	286
Tossicità umana	$kg \cdot (anno^{-1}) \cdot 10^9$	576
Ecotossicità dell'acqua	$m^3 \cdot (anno^{-1}) \cdot 10^{12}$	1160
Ecotossicità del suolo	$kg \cdot (anno^{-1}) \cdot 10^{12}$	1160
Eutrofizzazione	$kg \cdot (anno^{-1}) \cdot 10^9$	74.8

I dati riportati in tabella sono del tutto generali, pertanto per un'analisi più dettagliata è necessario utilizzare indici relativi alle diverse aree geografiche in cui avviene la produzione in esame. Secondo le norme ISO la fase di normalizzazione non è obbligatoria per un LCA completo.

5. **Valutazione:** l'obiettivo della fase di valutazione è quello di poter esprimere, attraverso un indice finale, l'impatto ambientale associato al prodotto nell'arco del suo ciclo di vita. **I valori degli effetti normalizzati vengono perciò moltiplicati per i "fattori di peso" della valutazione**, relativi alle varie categorie di danno, spesso riportati in guide tecniche, che esprimono l'importanza intesa come criticità, attribuita a ciascun problema ambientale.

Alla base del calcolo di tali fattori vi è il principio della "distanza dallo scopo": essa afferma che **quanto più è grande il divario tra lo stato attuale e quello ideale cui si tende, tanto maggiore risulta la gravità di un effetto.**

È evidente quanto sia soggettivo tale giudizio, che può variare per aree geografiche, sensibilità e scuole di pensiero differenti. In alcuni casi si utilizzano fattori di peso tutti uguali tra loro, in alternativa si assumono quelli forniti da alcune banche dati.

Sommando i valori degli effetti così ottenuti si ottiene un unico valore adimensionale, l'indice ambientale finale, detto ecoindicatore, che quantifica l'impatto ambientale associato al prodotto.

La fase di Valutazione d'Impatto, a differenza della fase di Inventario che ha raggiunto un buon grado di standardizzazione, è ancora caratterizzata da aspetti controversi che necessitano di ulteriori approfondimenti scientifici. Inoltre la soggettività legata alla scelta dei metodi di Valutazione d'Impatto difficilmente consentirà di raggiungere un consenso internazionale. Un tentativo di rispondere alle esigenze di standardizzazione e di uniformazione dei contenuti degli studi di LCA è stato realizzato da ANPA in un documento in cui sono descritti i requisiti necessari all'esecuzione di tutte le fasi di una valutazione del ciclo di vita e identificate una serie di categorie d'impatto predeterminate.

#### **4.1.8. Quarta fase di una Lca : interpretazione e miglioramento (ISO 14043)**

All'interno di questa fase, attraverso un'analisi di sensibilità, sono interpretati e rappresentati i risultati delle fasi di inventario e di valutazione degli impatti, in modo da avere una percezione dello studio facilmente fruibile e comprensibile. Ad essa è accompagnata quasi sempre l'identificazione delle fasi dell'LCA nelle quali, dopo aver individuato gli ambiti più critici, vengono valutate e selezionate le opzioni e i miglioramenti atti alla riduzione degli impatti e dei carichi ambientali dell'unità funzionale in studio. Si possono, in questa sezione, rappresentare anche scenari diversi da quello considerato e confrontare così i risultati ottenuti.

Tale fase non ha ancora raggiunto un livello metodologico pari a quello delle precedenti, tuttavia rimane un momento importante poiché consente, ove possibile, un miglioramento dell'impatto ambientale in termini di diminuzione della richiesta d'energia, delle emissioni, dell'uso di risorse, ecc.

È importante rilevare che l'LCA, come tutte le metodologie basate sul confronto, non propone una soluzione assoluta, ma identifica un insieme di alternative tra le quali poi, il decisore, sceglierà a suo giudizio la migliore.

L'analisi del ciclo di vita, infatti, può essere utilizzata per il miglioramento dei processi, l'innovazione dei prodotti secondo standard di produzione sostenibile, sviluppo di strategie di politica ambientale.

Di solito questa fase consente di individuare e apportare puntuali modifiche o di adottare azioni necessarie alla riprogettazione dell'intero sistema, al fine di migliorarne lo stato di fatto. Lo scopo ultimo è tuttavia quello di ricercare la massima ecoefficienza.

La norma ISO definisce questa fase dell'LCA come il momento in cui realizzare una valida correlazione tra i risultati dell'analisi di inventario e di quella degli impatti. La norma inoltre richiama fortemente il fatto che solo una chiara e comprensibile, completa e consistente presentazione dei risultati della fasi precedenti è in grado di fornire quelle indicazioni utili a impostare i possibili miglioramenti del sistema in esame.

In particolare indica le fasi operative : identificazione degli aspetti principali evidenziati dai risultati delle fasi precedenti; controllo ulteriore tramite analisi di sensibilità; conclusioni evidenziando i limiti, raccomandazioni.

Oltre ai risultati di inventario e quelli di valutazione degli impatti, è opportuno evidenziare il contributo delle diverse fasi del processo in esame identificando le aree di intervento e miglioramento. Va evidenziato come la fase di interpretazione possa essere condotta su tutti i solo su parte degli indicatori ambientali, anche in relazione ai parametri su cui si intende incentrare le proprie attività. Per esempio un indicatore specifico da monitorare che potrà costituire un parametro di miglioramento su cui focalizzare l'attenzione.

#### **4.1.9 Il metodo degli Eco-Indicator99**

*Eco-indicators* è una metodologia sviluppata dalla Pré (*Product Ecology Consultants*) per conto del Ministero dell'Ambiente Olandese: essa costituisce un potente strumento per i progettisti utile ad aggregare i risultati di un LCA in grandezze o parametri facilmente comprensibili ed utilizzabili, chiamati appunto Eco-indicatori.

I progettisti, infatti, pur non essendo solitamente esperti in materie ambientali, si trovano a prendere decisioni che influenzano fortemente le proprietà di un prodotto e l'impatto che esso determinerà sull'ambiente circostante.

Due rilevanti ostacoli, in modo particolare, impedivano l'effettivo utilizzo dell'LCA nella progettazione: innanzitutto l'esecuzione di un LCA richiedeva tempi troppo lunghi per risultare utile ai progettisti e, secondariamente, i risultati ottenuti erano spesso di difficile interpretazione.

La metodologia degli eco-indicatori risolve questi problemi grazie all'**aggregazione dei risultati dei danni in tre sole categorie** principali.

La versione seguita nell'ambito del presente studio è la più recente in ordine di tempo, risale infatti al 1999, e risulta di gran lunga migliore delle precedenti poiché, adottando un sistema di calcolo estremamente più articolato, comprende diversi aspetti altrimenti trascurati.

Nel procedere allo sviluppo di tale metodologia si è ritenuto importante partire dalla fase più critica e maggiormente controversa dello studio, quella finale. È proprio in questa fase che vengono attribuiti differenti **pesi alle diverse categorie di danno**, le quali sono perciò individuate in un numero sufficientemente ristretto e riguardano aspetti concreti e facilmente comprensibili. Lo schema principale del metodo valuterà esclusivamente tre tipi di danno ambientale:

1. Human Health (Salute umana)
2. Ecosystem Quality (Qualità dell'ecosistema)
3. Resources (Sfruttamento delle risorse)

Sono stati poi sviluppati dei modelli che legano tali categorie di danno alle sostanze individuate nello studio del ciclo di vita del prodotto.

Il metodo dell' LCA richiede in primo luogo un inventario di tutte le emissioni e di tutti i consumi di risorse da attribuire al prodotto nel suo intero ciclo di vita; il risultato di questo inventario è un elenco di emissioni, di consumi di risorse e di impatti di altro genere che, opportunamente organizzato, prende il nome di *inventory result*. Data la grande quantità di dati, al fine di rendere la procedura più comprensibile e facilmente interpretabile, è pratica comune raggruppare i tipi di impatto per categorie e calcolarne un punteggio globale, riferendosi così alle categorie di impatto piuttosto che alle differenti tipologie di impatto riscontrate.

Nello sviluppare i progetti *Eco-indicator 99* e *95* è stato utilizzato un approccio *top-down* attraverso il quale sono stati dapprima definiti i risultati richiesti dalla valutazione, nel caso specifico le tre categorie di danno precedentemente definite.

Ciò ha implicato la necessità di una definizione chiara e univoca del termine “ambiente” e dell’approccio con cui affrontare e valutare i diversi problemi ambientali.

Quando si applicano gli *Eco-indicator 99* ad un LCA è necessario considerare che tutte le emissioni e tutte le forme di sfruttamento del territorio sono valutate con riferimento all’Europa.

I risultati ottenuti devono essere inoltre considerati come marginali, nel senso che riflettono l’incremento del danno che si aggiunge ad un livello di danno corrente già presente.

L’LCA si sviluppa attraverso tre campi della conoscenza umana, definiti come “spheres”:

- *Technosphere*, che riguarda la descrizione del ciclo di vita, le emissioni derivanti dai processi e tutte le procedure basate su relazioni di causa-effetto;
- *Ecosphere*, che comprende la modellizzazione dei cambiamenti, ossia dei danni arrecati all’ambiente;
- *Valuesphere*, che contempla la valutazione della gravità dei danni arrecati.

Le prime due “sfere” si basano su conoscenze scientifiche e naturali, la “Valuesphere”, invece, appartiene alla sfera delle scienze sociali, nelle quali non può esistere una verità univoca. Nelle valutazioni relative alla “Technosphere” le percentuali di incertezza sono relativamente basse, mentre in quelle relative alla “Ecosphere” i modelli utilizzati sono piuttosto incerti e difficilmente verificabili, inoltre i dati in ingresso sono spesso affetti da errori.

Comprendere il legame esistente fra queste tre “sfere” è essenziale per comprendere la metodologia degli *Eco-indicator 99*. Il ciclo di vita, infatti, viene costruito nell’ambito della “Technosphere” e il suo risultato è l’inventario. Il legame tra i dati presenti nell’inventario e le tre categorie di danno avviene attraverso il modello realizzato nella “Ecosphere”. Il modello della “Valuesphere” viene utilizzato per pesare le tre categorie di danno secondo un unico indicatore.

Il campo di indagine è *l’ambiente* in senso generale, considerato come *un sistema il cui stato è definito da un insieme di parametri fisici, chimici e biologici influenzati dall’uomo*, legati a loro volta a condizioni necessarie alla sopravvivenza dell’uomo stesso e della natura.

Queste condizioni includono la salute umana, la qualità dell’ecosistema e il reperimento delle risorse.

Il concetto di salute umana (*Human Health*) si basa sull'assunzione che tutti gli esseri umani, nel presente o nel futuro, saranno esenti da malattie, invalidità o morti premature causate dalla qualità dell'ambiente circostante. La presenza di una buona qualità dell'ecosistema (*Ecosystem Quality*) implica che le specie animali e vegetali interessate non siano soggette a cambiamenti indotti che alterino la loro presenza e collocazione geografica. La categoria relativa al reperimento delle risorse (*Resources*) considera il concetto che la scorta di sostanze essenziali per lo sviluppo della civiltà odierna possa essere o meno disponibile anche per le generazioni future.

Si può notare come sarebbe stato possibile selezionare anche altre categorie di danno, oltre alle precedenti, come, ad esempio, la prosperità, la felicità, l'uguaglianza, la sicurezza. Questi aspetti non sono stati presi in considerazione, sia perché troppo complessi da definire all'interno di un modello, sia perché, generalmente, l'effetto di alcuni prodotti su queste categorie è talmente ambiguo da risultare difficilmente interpretabile.

### Inventario

La metodologia Eco-indicator 99 necessita di alcune specificazioni per la definizione dell'inventario, in cui sono prese in considerazione emissioni in aria, acqua e suolo:

- un parametro da considerare e specificare è la concentrazione delle polveri fini;
- gli effetti dei fertilizzanti utilizzati in agricoltura non sono da considerare come emissioni nel suolo poiché già inclusi nei dati sullo sfruttamento del terreno;
- i quantitativi di pesticidi, fungicidi e erbicidi direttamente applicati al suolo vengono considerati come emissioni al suolo coltivato. Nell'analisi di previsione viene calcolata la quantità di tali sostanze che emigrano verso altri comparti (aria, acqua, suolo naturale e industriale): la parte rimanente che resta sul suolo coltivato non è modellata ma è inclusa nei dati sul *land-use*;
- l'azione delle sostanze radioattive, classificate in isotopi, è valutata in *becquerel*;
- i minerali e i combustibili fossili non vengono considerati come materiali grezzi;
- l'uso del territorio viene definito come prodotto dell'area per il tempo di occupazione, ed è dipendente dal tipo di uso; se è oggetto di trasformazioni deve essere specificata la destinazione originale e quella ottenuta dopo la modifica.

### La Caratterizzazione

Il metodo utilizza quattro differenti procedure per **collegare l'inventario alle tre categorie di danno** principali; tali connessioni permettono di individuare e pesare all'interno di una singola categoria il tipo di danno relativo alla sostanza emessa o alla risorsa usata. Vengono in questo modo determinati dei fattori specifici da moltiplicare per il peso della sostanza emessa o consumata.

Per la categoria Human Health vengono eseguite le seguenti analisi:

- *fate analysis*, che lega la sostanza emessa alla variazione della sua concentrazione nel tempo;
- *exposure analysis*, che lega questa variazione di concentrazione ad una dose;
- *effect analysis* che lega la dose di emissione agli effetti sulla salute umana come il numero e la tipologia di tumore e gli effetti respiratori;
- *damage analysis*, che lega gli effetti sulla salute al numero di anni vissuti dall'uomo ammalato (YLD) e al numero di anni di vita persi (YLL).

Per la categoria Ecosystem Quality vengono considerati due tipi di impatto: le emissioni tossiche (*ecotoxicity*) e quelle che modificano l'acidità e i livelli nutritivi (*acidification and eutrophication*). Per tali categorie di impatto si segue la seguente procedura di analisi:

- *fate analysis*, che lega le emissioni alle concentrazioni;
- *effect analysis*, che lega le concentrazioni alla tossicità, ai livelli di acidità o all'incremento delle sostanze nutritive disponibili;
- *damage analysis*, che collega questi effetti all'incremento potenziale della scomparsa di piante.

Inoltre considera l'uso e la trasformazione del territorio (*land use*), sulla base di dati empirici relativi alla qualità degli eco-sistemi, in funzione del tipo di uso del territorio e del valore della sua area.

Per la categoria Resources vengono seguite due fasi:

- *resource analysis*, che lega l'estrazione di una risorsa alla riduzione della sua concentrazione;
- *damage analysis*, che lega la minore concentrazione di risorse all'aumento dell'energia spesa per la loro estrazione in futuro.

## **Human Health**

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO) ha dichiarato che la salute “*non è semplicemente assenza di malattie o infermità, ma riflette uno stato di completo benessere fisico, mentale e sociale*”; essa afferma inoltre che “*la salute ambientale degli uomini include sia gli effetti patologici delle sostanze chimiche, della radioattività e di alcuni agenti biologici, sia gli effetti, spesso indiretti, dell'ambiente fisico, psicologico, sociale ed estetico comprendendo il problema degli alloggi, lo sviluppo urbano, l'uso del territorio ed i trasporti*”.

Nella metodologia *Eco-indicator99* si esaminano solamente alcuni aspetti di un problema così sfaccettato ed in particolare:

- si considereranno esclusivamente le emissioni antropogeniche in atmosfera, idrosfera e geosfera, escludendo le condizioni nei posti di lavoro e negli alloggi, gli incidenti stradali, i danni causati dall'abuso di alcol e del fumo, ecc.;
- i problemi di salute derivanti da disastri naturali, eruzioni vulcaniche, microrganismi non riguardano questo studio;
- non verranno considerati gli aspetti economici legati al benessere umano.

Da queste limitazioni consegue che la definizione di Human Health contemplata nell'LCA è molto più restrittiva di quella considerata dal WHO: per salute umana si intende in questo contesto l'assenza di morti premature, malattie o irritazioni causate da emissioni derivanti da processi agricoli o industriali nell'aria, nell'acqua e nel suolo.

Se si vuole quantificare il danno arrecato alla salute umana è necessario considerare una scala che sia capace di misurare la salute della popolazione; essa dovrà comprendere il numero di individui interessati dal problema, il tempo sottratto a ciascun individuo da infermità o morte prematura e la gravità della malattia.

A livello internazionale, un indicatore in grado di stimare il carico totale da attribuire a ciascun problema di salute, è stato sviluppato da Murray nel “*Global Burden of Disease Study*”. Esso esprime il numero di *Disability-Adjusted Life Years* (DALYs), misurando il peso di una infermità dovuta ad una invalidità o a una morte prematura attribuibili a ciascuna malattia. Il concetto di DALY distingue gli anni trascorsi da ammalato (YLD: *Years Lived Disabled*) da quelli persi per morte prematura (YLL: *Years of Life Lost*).

Sono stati stabiliti valori che rappresentino il grado di infermità o sofferenza associato a ciascun disturbo, essenziali per il confronto tra le diverse malattie.

In base a tali valori si è istituita una gerarchia di sette classi di infermità a ciascuna delle quali si associa un peso che va da 0 (salute perfetta) a 1 (morte). Per calcolare il danno che deriva dalla ciascuna malattia, i DALY vengono determinati come prodotto tra il *rating* di quella malattia (coefficiente di infermità) e gli anni di vita persi a causa della stessa, ottenuti da studi statistici.

Nello sviluppare la metodologia non è stata valutata la differenza fra danni immediati e danni futuri, mentre si è inserito un peso per tenere conto del fatto che la salute umana assume una diversa importanza a seconda dell'età dell'individuo ammalato: tale valore cresce dalla nascita fino all'età di 25 anni alla quale comincia un lento decremento.

#### Il danno alla salute umana causato da sostanze cancerogene

Rintracciare un legame di causa-effetto tra l'esposizione ad una sostanza e l'incidenza di tumori sulla popolazione umana è un compito molto complesso che richiede considerazioni su dati sperimentali e studi epidemiologici.

L'Associazione Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha sviluppato un sistema di classificazione delle sostanze basato sul maggiore o minore effetto cancerogeno riscontrato sugli animali e sull'uomo. Il calcolo del danno alla salute umana è realizzato attraverso una lista di sostanze, funzione della prospettiva culturale adottata, e si sviluppa in tre fasi distinte:

- *Fate analysis*: dall'emissione alla concentrazione;
- *Effect analysis*: dalla concentrazione ai casi di cancro per kg di emissione;
- *Damage analysis*: dai casi di cancro ai DALYs per kg di emissione.

#### Il danno alle vie respiratorie

Risulta evidente dagli studi epidemiologici il fatto che alcune sostanze inorganiche e numerose polveri possano essere ritenute responsabili di danni all'apparato respiratorio. Tra di esse le principali sono: particolato (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>), nitrati e solfati, SO<sub>3</sub>, O<sub>3</sub>, CO, NO<sub>x</sub>. La presenza di tali sostanze nell'ambiente non deriva sempre da emissioni dirette in atmosfera poiché esse possono formarsi anche indirettamente attraverso reazioni chimiche tra altri inquinanti, denominati a tale proposito primari (polveri sospese TSP, NO<sub>x</sub>, CO, VOCs, NH<sub>3</sub>, SO<sub>x</sub>) e per questo anch'essi da considerare nella *Fate analysis*.

La procedura di previsione del danno è simile a quella sviluppata per le sostanze cancerogene ma, in questo caso, non completamente dimostrabile a causa del fatto che, seppure la stima dei DALYs possa essere molto precisa, gli effetti sulla salute umana risultano piuttosto variabili. In questa parte dello studio è stato usato un approccio epidemiologico il quale, pur presentando limitazioni dal punto di vista della ricerca di nessi di causalità e correlazione, risulta comunque migliore di uno che privilegi gli effetti tossicologici, i quali non sono in grado di produrre risultati apprezzabili alle basse concentrazioni ambientali.

Il calcolo del *fate factor* adotta un modello che considera dati circa il tempo di residenza nell'atmosfera e l'altitudine raggiunta.

Le funzioni che legano l'esposizione alle sostanze con la malattia sono determinate utilizzando le informazioni sulle concentrazioni ambientali, la densità di popolazione nell'area dello studio, i ricoveri ospedalieri per affezioni respiratorie e il rischio relativo. Esse sono da considerarsi relazioni molto più incerte e sperimentali rispetto al caso delle sostanze cancerogene.

#### I danni causati dai cambiamenti climatici

Esistono diversi problemi da affrontare nel modellare le conseguenze sulla salute derivanti dall'effetto serra:

- i cambiamenti di clima non comportano danni immediati rilevabili nel presente ed è necessario affidarsi a scenari più o meno probabili;
- la vulnerabilità dei sistemi dipende dallo sviluppo dell'economia e della società;
- le variazioni di temperatura possono apportare anche effetti positivi sulla salute;
- il danno non può essere confinato: le emissioni di gas serra in Europa causano danni in tutto il pianeta.

Risultato di queste considerazioni è l'ampio disaccordo sulle conseguenze reali dell'effetto serra. Nello sviluppo del modello ci si è perciò dovuti confrontare con un problema che potrebbe causare danni molto seri e con l'altissima incertezza che essi si possano verificare o meno.

Il danno alla salute umana dovuto ai cambiamenti climatici avviene attraverso numerose vie d'impatto. Nello sviluppo della metodologia non è stato possibile comprendere tutti gli aspetti, poiché molti di questi presentano delle incertezze troppo ampie per poter essere quantificati; nel metodo *Eco-indicator99* sono stati perciò considerati esclusivamente gli effetti meno incerti.

Nel caso specifico si è interessati a conoscere l'incremento del danno per tonnellata di gas serra (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) emessa; per questo si è utilizzato un procedimento che calcola il danno incrementale dovuto ad un flusso addizionale di 1 Mt all'anno dei tre gas serra specificati includendo le morti causate da malattie infettive trasmissibili attraverso vettori, le affezioni cardiovascolari e respiratorie dovute a variazioni della temperatura media, ed i disagi procurati da emigrazioni di popolazioni dalle zone costiere sommerse dall'innalzamento del livello dei mari. Tutti questi parametri, trasformati in seguito in DALYs/tonnellata, sono valutati per tutte e nove le regioni del mondo, poiché, le emissioni europee contribuiscono ad un danno di livello globale.

È necessario sottolineare quanto sia difficile quantificare fino a che punto gli effetti riscontrati dipendano da cambiamenti climatici o possano essere associati ad altri fattori igienici e sociali.

#### Il danno provocato dalle radiazioni ionizzanti

Questa sezione considera il danno arrecato alla salute umana da rilasci uniformi di materiale radioattivo nell'ambiente. Nello studio non sono incluse le emissioni radioattive derivanti dall'estrazione di alcuni tipi di sostanze o da rilasci dovuti ad eventi accidentali.

Il modello inizia la valutazione partendo da un rilascio espresso in *Becquerel* [Bq], unità pari all'attività di una sostanza che subisce un decadimento al secondo.

Il *fate model* utilizzato è basato sulle emissioni atmosferiche e gli scarichi di liquidi radioattivi non accidentali nella produzione di energia in Francia. I dati circa i rilasci e le condizioni ambientali circostanti sono riferiti alla realtà francese. Il modello impiega un orizzonte temporale molto lungo (100.000 anni) in modo da poter includere tutti gli effetti dei diversi percorsi possibili di esposizione.

Nell'*Exposure analysis* si stima quale sia la dose realmente assimilata dagli individui in base al livello di radioattività riscontrato nell'analisi precedente. La misura della dose effettiva viene valutata in *Sievert* [Sv], unità di misura dell'equivalente della dose assorbita di una qualsiasi radiazione ionizzante, che abbia la stessa efficacia biologica di 1 *Gray* [Gy] di raggi x. Allo scopo di collegare le emissioni [Bq] all'assorbimento di energia [Sv] sono stati definiti i due percorsi attraverso i quali si manifesta l'esposizione a sostanze radioattive, suddividendo i rilasci in atmosferici e liquidi.

La stima del danno si concentra sugli effetti cancerogeni ed ereditari dell'esposizione alla radioattività, i quali sembrano essere i più significativi. Due scopi sono ritenuti fondamentali: valutare il numero di casi che si manifestano come risultato di una esposizione e stabilire il numero di DALYs per ciascun caso.

### Il danno causato dall'assottigliamento dello strato di ozono

La dimensione della fascia di ozono nella stratosfera sta raggiungendo i livelli più bassi mai apprezzati dall'inizio delle misurazioni, nel 1970. La ragione principale dell'assottigliamento è l'incremento delle concentrazioni di cloro e bromo dovute al rilascio di sostanze, come i CFC, con un lunghissimo tempo di residenza nell'atmosfera. Il ridotto potere filtrante dell'ozono associato all'assottigliamento comporta un incremento delle radiazioni UV.

Ad oggi la produzione e il rilascio di composti del cloro e del bromo, aventi un lungo tempo di residenza in atmosfera, continua ancora, seppure in maniere ridotta. Forti del successo ottenuto nella limitazione delle emissioni si potrebbe pensare che questo argomento, nel lungo periodo, non costituirà più un elemento di preoccupazione per le sorti del pianeta: ciò non è vero, in realtà tutte le emissioni, seppure ridotte, contribuiscono a procurare danni alla salute umana.

La modellizzazione del danno dovuto all'assottigliamento dello strato di ozono ha incontrato diverse difficoltà:

- molti studi hanno analizzato gli effetti della riduzione delle emissioni, ma nessuno studio ha mai valutato il risultato del rilascio addizionale di 1 kg di CFC;
- non è ancora chiaro come e fino a che punto l'assottigliamento dello strato di ozono contribuisca al danno sul sistema immunitario e sull'ecosistema;
- è relativamente semplice per l'uomo evitare l'esposizione ai raggi solari attuando cambiamenti nei comportamenti abituali;
- l'incremento delle radiazioni UV dipende dalla latitudine;
- alcuni effetti riguardano solo una parte dell'umanità (solo le persone con pelle chiara, ad esempio, soffrono di disturbi associabili all'esposizione ai raggi UV).

Le sostanze contenenti cloro diluite nella troposfera raggiungono la stratosfera in un tempo medio di circa quattro anni, dove contribuiscono, attraverso note reazioni chimiche, alla disgregazione dello strato di ozono. Il tempo di residenza nell'atmosfera (variabile tra 1 e 1.000 anni) diventa perciò un fattore di discriminazione estremamente importante: sostanze con un valore inferiore ai quattro anni non riescono a spingersi fino alla stratosfera e non costituiscono perciò un pericolo per l'incolumità della fascia di ozono. È chiaro come la valutazione del danno dipenda fortemente dall'orizzonte di tempo considerato, in quanto, stabilito un limite, saranno ignorati tutte i composti potenzialmente dannosi con una vita in atmosfera superiore.

Nel procedere alla valutazione, non avendo trovato *fate models* adatti allo scopo, si è scelto di ricavare il *fate factor* da uno studio sugli effetti di un emendamento di Londra. In esso la produzione residua di CFC11 è correlata alla corrispondente concentrazione in atmosfera. Per tutte le altre sostanze sono stati utilizzati dei fattori di equivalenza.

La radiazione UV che raggiunge la terra causa effetti discordanti sulla salute umana. Alle conseguenze positive, come la formazione della vitamina D, si associano effetti negativi come scottature, invecchiamento della pelle, danni alla vista, tumori della pelle e della cataratta.

L'impatto sulla crescita nei casi di queste malattie è quantificato in termini di *Biological Amplification Factor* (BAF), definito come l'incremento percentuale di incidenza risultato di un aumento dell'1% di radiazione UV nell'ambiente. Un altro valore è il *Radiation Amplification Factor* (RAF) che esprime in percentuale l'incremento di radiazione UV rapportato alla frazione di assottigliamento dello strato di ozono

### **Ecosystem Quality**

Nonostante numerosi trattati e dichiarazioni internazionali abbiano cercato di stabilire le condizioni in grado di descrivere il benessere di un ecosistema, gli ecosistemi rimangono comunque strutture molto eterogenee e complesse da monitorare.

Un metodo per descriverne la qualità è quello di considerare i flussi di massa e di informazioni che lo attraversano. In un buon ecosistema, infatti, tali flussi non sono in alcun modo intralciati da attività di origine umana.

Nella stesura della metodologia di valutazione si è deciso di considerare esclusivamente la trasmissione di informazioni a livello di specie: ciò significa che si è assunta **la diversità delle specie come un valore adeguato alla rappresentazione della qualità dell'ecosistema**. Quasi tutte le specie possono essere affette dall'influenza delle attività antropiche, quindi essendo impossibile effettuare un monitoraggio che le comprenda tutte, sarà necessario scegliere i gruppi di specie che meglio rappresentano la qualità dell'ecosistema. Per questo motivo si distingue:

- la completa ed irreversibile estinzione della specie;
- la reversibile o irreversibile scomparsa o livello di stress di una specie in una delimitata zona durante un certo intervallo temporale.

Il primo tipo di danno è probabilmente il più importante nella qualità dell'ecosistema, ed è tuttavia estremamente difficile da modellare nel contesto dell'LCA. È necessario infatti considerare che l'estinzione completa di una specie è un fenomeno che si verifica come

conseguenza di un insieme di diversi fattori, ciò implica che non sarà il ciclo di vita di un solo prodotto a causare l'estinzione, ma l'insieme di numerosi cicli di vita.

Nella seconda opzione si assume che i danni causati dal ciclo di vita di un singolo prodotto provocano un danno temporaneo all'equilibrio dell'ecosistema, questo potrà poi essere una delle cause che insieme ad altri fattori potranno provocare la completa estinzione di una specie.

La misura del danno su un Ecosistema può essere esprimibile mediante la relazione:

*Diminuzione relativa del Numero di Specie (espressa in forma di frazione)\* Area \* Tempo*

Sfortunatamente non si è riusciti ad ottenere un unico parametro che rappresentasse l'effetto su un gruppo di specie; si utilizzano, perciò due differenti espressioni:

- *Potentially Affected Fraction (PAF)*: è un parametro utilizzato per valutare il danno arrecato da sostanze tossiche all'ecosistema. Si applica per lo più ad organismi molto semplici, sia acquatici, sia terrestri. Può essere interpretato come la frazione percentuale di specie esposta ad una concentrazione equivalente o superiore al NOEC (*No Observed Effect Concentration*). È perciò una misura dello stress tossico, non ancora realmente diventato un danno.
- *Potentially Disappeared Fraction (PDF)*: viene usato per la valutazione dell'effetto di acidificazione, eutrofizzazione e uso del territorio sulla popolazione di piante vascolari in un certa area. Può essere interpretato come la frazione percentuale di specie che hanno una alta probabilità di non sopravvivere nell'area considerata, a causa di sfavorevoli condizioni di vita. In maniera totalmente speculare si definisce il POO (*Probability of Occurrence*), per cui  $PDF=(1-POO)$ .

Ciò implica che non esiste una unica categoria di danno per la determinazione della qualità dell'ecosistema, al pari di quella utilizzata per la sfera Human Health. Si presentano quindi due diversi problemi:

- si utilizzano due diversi gruppi di specie come rappresentativi dell'ecosistema nella sua totalità: le piante vascolari per l'acidificazione, l'eutrofizzazione e l'uso del suolo, e un'ampia serie di organismi acquatici e bentonici per gli effetti tossici.
- si utilizzano due livelli di danno diversi per determinare l'effetto sull'ecosistema, il livello per il quale le specie sono irreparabilmente danneggiate e il livello per il quale le specie si estinguono.

Le specie superiori come rettili, uccelli e mammiferi non sono state incluse. La valutazione sarebbe risultata troppo gravosa a causa dei loro comportamenti difficilmente schematizzabili in un modello. È evidente, tuttavia, quanto la sopravvivenza degli animali sia legata a quella degli organismi più semplici, i quali provvedono a fornire l'habitat ideale ed il sostentamento, attraverso il cibo, agli organismi più complessi.

Le differenze tra PAF e PDF non consentono di esprimere il valore del danno inferto alla qualità dell'ecosistema mediante una semplice somma dei due valori. Il problema più rilevante è la differenza tra i livelli di danno per i quali le specie risultano affette e quello per il quale le specie si estinguono.

#### Il danno all'ecosistema causato da sostanze tossiche

La *fate analysis* produce come risultato un legame tra l'emissione di una sostanza in aria, acqua, suolo agricolo e industriale e una concentrazione nelle acque superficiali e di falda.

Il metodo utilizzato per stimare il danno è fondato su di un algoritmo; esso fornisce come risultato la frazione di specie esposta ad una concentrazione maggiore o uguale al NOEC. Il percorso principale di esposizione sono le acque superficiali per gli ecosistemi acquatici, e le falde acquifere per i terrestri, mentre l'assunzione tramite il cibo è considerata irrilevante.

Per ciascuna sostanza è possibile stimare una curva rappresentativa della risposta degli organismi alle diverse dosi di sostanza.

Il problema da affrontare, in questo tipo di valutazione, è che il danno attribuibile ad un incremento marginale della concentrazione di una specifica sostanza dipende non solo dall'entità dell'incremento stesso, ma anche dal livello di danno attualmente raggiunto nell'ecosistema, dovuto alla combinazione delle sostanze già presenti nell'ambiente.

#### Il danno all'ecosistema causato da acidificazione ed eutrofizzazione

Acidificazione ed eutrofizzazione sono fenomeni causati da deposizioni di sostanze inorganiche come solfati, nitrati e fosfati. Le deposizioni, che derivano principalmente da emissioni atmosferiche o da immissioni dirette nell'acqua, hanno come effetto principale la variazione dei livelli di nutrienti e dell'acidità del suolo.

Mentre nel caso delle sostanze tossiche era sufficientemente chiaro il legame tra l'incremento della concentrazione di una sostanza e il livello di danno arrecato, in questo contesto la questione risulta molto più delicata e sottile.

Per la maggior parte delle specie di piante è stato definito un livello ottimale di combinazione tra i livelli nutritivi e l'acidità del suolo. La modificazione dei livelli di nutrienti e di acidità da questi valori ottimali non comporta un danno visibile e concreto, ma soltanto uno squilibrio fra le popolazioni delle diverse specie presenti nell'ecosistema considerato. Il problema è perciò stimare fino a che punto uno scostamento dell'equilibrio fra le specie possa essere valutato come un danno, e attribuire a ciascuna specie un giudizio gerarchico distinguendo tra quelle più o meno "desiderabili". Nello sviluppare la metodologia è stata stilata una lista di specie target per più di 40 ecosistemi, utilizzando un criterio di scelta che privilegiasse la tipicità e la rappresentatività di ciascuna specie all'interno del proprio ecosistema.

Si è quindi in grado di monitorare gli effetti delle deposizioni su queste specie target; questo può essere fatto solamente per alcuni ecosistemi, di qui la necessità di integrare il modello con un GIS (*Geographic Information System*). Selezionando l'ecosistema 'progettato' in ogni cella, sarà possibile modellare gli effetti della deposizione in termini di PDF tramite le specie target presenti nella cella considerata.

Per l'analisi del danno, si ricorre a un particolare *fate model*, basato sui preesistenti livelli caratteristici di ogni cella.

Nel modello utilizzato si tengono in considerazione solamente i cambiamenti nelle aree naturali; le variazioni di acidità e di livelli nutritivi nelle aree agricole sono considerate poco rilevanti.

Al momento un problema è dato dalla mancanza di un modello che quantifichi l'eutrofizzazione e l'acidificazione nei modelli acquatici. Finora l'unico modello utilizzabile è in grado di creare una relazione tra l'incremento di deposizione e la variazione del PDF per le piante nel territorio olandese.

Soluzione temporanea è quindi quella di assumere che le aree naturali olandesi siano caratterizzate da un livello di sensibilità paragonabile a quelle europee. Naturalmente questa ipotesi comporta un certo numero di errori dovuti alle particolari caratteristiche geo-morfologiche del territorio olandese.

#### Il danno all'ecosistema causato dal land-use

L'impatto sugli ecosistemi a seguito dei cambiamenti nello sfruttamento del territorio è certamente molto significativo, soprattutto in molte parti dell'Europa. Lo studio dell'impatto risulta estremamente delicato poiché tali cambiamenti non inducono effetti localizzati esclusivamente nell'area in cui si verificano, ma possono coinvolgere anche le

regioni limitrofe. Inoltre sarà necessario distinguere tra occupazione permanente del territorio e trasformazione.

Diversamente dagli altri modelli utilizzati, in questo caso si utilizzeranno esclusivamente dati sperimentali, come osservazioni sul numero delle specie presenti, oltre ad informazioni provenienti da sperimentazioni di laboratorio o simulazioni computerizzate. Questi aspetti influenzano in modo rilevante il modello:

- il numero di specie osservato è il risultato dell'influenza di una serie di fattori, quali la concentrazione delle sostanze tossiche, il livello di acidità o di nutrienti, il cambiamento di clima, ecc. Questo implica che non è possibile separare gli effetti dei cambiamenti dell'uso del suolo dalle altre categorie di impatto;
- esistono diversi tipi di copertura del suolo, e per ciascun tipo il numero di specie presenti può variare ampiamente nelle diverse zone d'Europa;
- la disponibilità di informazioni provenienti da osservazioni sul campo è un problema sostanziale per due motivi:
  - vi sono sufficienti informazioni solo per pochi tipi di uso del suolo;
  - i tipi di uso del suolo per cui sono disponibili le informazioni non sono sempre adattabili con facilità alle applicazioni pratiche dell'LCA.

### **L'esaurimento delle risorse**

La categoria di danno "*Resources*" è stata introdotta per la prima volta con la nuova versione della metodologia. Diversamente dalle altre categorie di danno non è stato possibile trovare uno standard di valutazione internazionalmente accettato che potesse esprimere il danno arrecato, perciò si è dovuto sviluppare un approccio del tutto originale:

- nella prima parte della valutazione è modellizzato il decremento della concentrazione della risorsa a causa dell'estrazione di materiale grezzo;
- nella seconda, le concentrazioni decrescenti vengono collegate al concetto di "*surplus energy*".

Con il termine risorse si è soliti indicare le risorse minerali, i materiali sfusi (sabbia, ghiaia, ecc.), le risorse energetiche, le risorse rinnovabili, le risorse ambientali (suolo, aria e acqua), le risorse biologiche (come la biodiversità) e prodotti naturali.

In generale, tre sono stati i problemi affrontati durante lo sviluppo della metodologia:

- l'ammontare delle risorse è fortemente correlato allo sforzo erogato per l'estrazione;
- fino ad un certo punto, la maggior parte delle risorse sono sostituibili;
- alcuni tipi di risorse non sono consumate, nel senso che non scompaiono dopo l'uso. Si distinguerà allora, tra risorse dissipative e non-dissipative.

Il modello sviluppato avrebbe dovuto rispondere ad alcuni di requisiti:

- non basarsi sul quantitativo di risorse rimaste, poiché è impossibile determinare una quantità senza definire una qualità della risorsa richiesta. Quindi, nella valutazione, il fattore determinante non è la quantità bensì la qualità della risorsa;
- non basarsi su scenari futuri, impossibili da predire con una certa significatività;
- riflettere la vera ragione per la quale l'umanità si preoccupa del consumo di risorse minerali e fossili.

Il metodo proposto tiene in considerazione il fatto che, se la qualità di una risorsa si riduce, dall'altra parte, cresce lo sforzo per l'estrazione della risorsa rimanente. Si sa che l'umanità tende ad estrarre per prime le risorse di qualità migliore, quindi, per ogni kg di risorsa utilizzata, decresce la qualità delle risorse rimanenti e, dunque, aumenta lo sforzo necessario alle successive estrazioni. Il decremento della qualità di una risorsa ed il corrispettivo incremento dello sforzo futuro necessario all'estrazione sono i parametri utilizzati per la valutazione del danno alle risorse.

A tutto ciò va aggiunto il fatto che i processi di formazione delle risorse minerali e fossili sono completamente differenti, pertanto la modellizzazione avverrà separatamente:

- per le risorse minerali il parametro che ne determina la qualità è la concentrazione;
- per le risorse fossili il parametro è lo di sforzo di estrazione.

Il modello presenta alcuni punti deboli:

- tutti i minerali vengono considerati parimenti importanti per l'umanità;
  - non è considerata la possibilità di sostituzione di un minerale con un altro;
- ma anche alcune vantaggi fondamentali:
- il modello non dipende direttamente dalle stime di consumi annuali, fortemente influenzate da riciclo, sostituzione o fattori di congiuntura economica;
  - l'incremento atteso nello sforzo di estrazione di una risorsa sembra essere un concetto che riesce a riflettere le reali preoccupazioni dell'umanità.

La valutazione del danno causato dall'esaurimento dei minerali e dei combustibili fossili avviene attraverso il concetto di *surplus energy*. Esso è definito come la differenza fra l'energia necessaria attualmente all'estrazione di una risorsa e quella indispensabile in un istante futuro. Si calcola il surplus di energia, valutato in [MJ], che sarà necessario per estrarre 1 kg di materiale nel momento in cui il consumo di quel materiale sarà cinque volte superiore a quello estratto dall'umanità prima del 1990.

### **La stima del danno**

Il calcolo del punteggio totale per le tre categorie di danno conclude la struttura del modello di valutazione. Per ottenere la stima del danno sono ancora necessarie due fasi: la **normalizzazione**, che rende le diverse categorie di danno confrontabili fra di loro, e la **valutazione**, che attribuisce ai valori ottenuti dalla fase precedente i pesi relativi alla prospettiva prescelta.

### **Normalizzazione**

Per la valutazione del danno occorre confrontare fra di loro i valori ottenuti per le tre categorie. Poiché essi sono caratterizzati da tre differenti unità di misura (DALY, PDF, MJ surplus), si rende necessaria la fase di normalizzazione, nella quale **i risultati ottenuti saranno rapportati ad un medesimo valore di riferimento**.

Il valore di riferimento può essere scelto con modalità differenti, ma, solitamente, esso rappresenta la somma di tutte le emissioni e le estrazioni di risorse riferita ad un certo territorio, in un dato periodo di tempo.

Per la determinazione dei fattori peso della normalizzazione delle categorie Human Health e Ecosystem Quality il metodo degli *Eco-indicator 99* segue la seguente procedura:

- esegue l'LCA calcolando il danno dovuto alle emissioni, alle radiazioni e all'uso del territorio riferendosi a tutta Europa nel periodo di un anno;
- calcola, per ogni categoria di impatto, la somma dei danni relativi ai quattro compartimenti di emissione considerati (aria, acqua, suolo industriale e agricolo);
- valuta, per ogni categoria di danno, il danno totale, somma dei danni di ciascuna categoria di impatto;
- divide il valore totale di ciascuna categoria di danno per il numero di cittadini europei, ottenendo il danno medio subito dal cittadino europeo in un anno;

- assume l'inverso di tale valore come il fattore peso della normalizzazione delle categorie di impatto afferenti la categoria di danno considerata.

Per la determinazione dei fattori peso della normalizzazione della categoria *Resources* il metodo degli *Eco-indicator 99* procede, suddividendo le due categorie di impatto, secondo il seguente schema:

#### Minerali

- considera i dati di consumo dei minerali negli USA;
- divide tale valore per il numero degli abitanti USA ( $266 \times 10^6$ ) e lo moltiplica per il numero di abitanti dell'Europa;
- calcola il surplus di energia necessario per estrarre 1 kg di ciascun minerale nel momento in cui la quantità estratta sarà cinque volte quella estratta fino al 1990;
- moltiplica il surplus unitario per il consumo dei minerali del cittadino europeo.

#### Combustibili fossili

- considera i dati di consumo dei combustibili fossili in Europa;
- divide tale valore per il numero degli abitanti dell'Europa;
- calcola il surplus di energia necessario per estrarre 1kg di ciascun combustibile fossile nel momento in cui la quantità estratta sarà cinque volte quella estratta fino al 1990;
- moltiplica il surplus unitario per il consumo dei combustibili del cittadino europeo.

Al fine di calcolare un valore di normalizzazione unitario per la categoria *Resources* si effettuano le seguenti operazioni:

- si sommano i surplus di energia per cittadino medio europeo relativi all'estrazione dei minerali e dei combustibili fossili
- si assume l'inverso di tale valore come il fattore peso per la normalizzazione relativo ad entrambe le categorie di impatto afferenti a *Resources*.

#### **La Valutazione**

Per risolvere il problema del livello di scientificità richiesto dallo studio del LCA e quindi del livello di soggettività ammesso, il metodo degli *Eco-indicator 99* segue il modello della *Cultural Theory* proposto da Thompson.

PROSPETTIVA	Salute umana	Qualità dell'ecosistema	Risorse
Gerarchica	40%	40%	20%
Ugualitaria	30%	50%	20%
Individualista	55%	25%	20%

**Contributi in peso delle categorie di danno nelle tre diverse prospettive culturali.**

Per la stima dei parametri di valutazione si è costituito un campione di individui, rappresentativo delle diverse prospettive culturali, al quale sottoporre un questionario. Tale procedura non risulta statisticamente corretta a causa della scarsa dimensione del gruppo, ma l'approssimazione ottenuta risulta accettabile ai fini dello studio.

Si possono inoltre calcolare i contributi percentuali delle diverse categorie di impatto relative alle tre categorie di danno nelle tre differenti prospettive culturali (gerarchica, ugualitaria ed individualista). Tali contributi tengono conto, per ogni categoria di impatto, dei diversi pesi attribuiti alle emissioni e alle risorse nelle fasi di normalizzazione e valutazione.

#### **4.1.10. Il metodo Edip-Umip96**

Il metodo EDIP si sviluppa attraverso quattro fasi, ognuna delle quali risponde ad un certo numero di domande:

<b>1) definizione della meta</b>	Qual è lo scopo dello studio LCA? Qual è il gruppo target? Quali decisioni deve supportare lo studio LCA? Quale grado di approfondimento si deve raggiungere?
<b>2) definizione dello scopo</b>	Quale prodotto deve essere valutato? Che funzione assolve il prodotto? Quanta parte del ciclo di vita del prodotto deve essere incluso nell'LCA? Quali cambiamenti ambientali devono essere attribuiti al sistema prodotto?
<b>3) inventario</b>	Quali dati sono necessari? Quanto sono attendibili i dati raccolti? Com'è modellato il sistema prodotto? Come sono aggregati i dati e come sono trattate le incertezze?
<b>4) valutazione dell'impatto</b>	A quali impatti ambientali e al consumo di quali risorse contribuisce il prodotto? Quali di questi contributi sono più rilevanti? Quali risorse sono più importanti? Quali lacune nei dati sono più rilevanti?

### **Definizione della meta**

La prima fase dell'LCA consiste nella definizione dei suoi obiettivi. Questo comporta la determinazione dell'uso al quale l'analisi ambientale verrà destinata e allo stesso tempo la stima di ciò per cui può o non può essere utilizzata.

Il metodo EDIP identifica quattro principali applicazioni dell'LCA nello sviluppo del prodotto che sono raccolte in due principali obiettivi, chiamati *focusing* e *selecting*.

- *Focusing* è utilizzato nell'LCA per:

- generare le informazioni ambientali relative al ciclo di vita del prodotto;
- identificare i miglioramenti potenziali, includere un confronto con le alternative, designare un punto focale riferito all'ambiente e determinare dove esso risiede nel prodotto.

- *Selecting* è utilizzato nell'LCA per:

- confrontare le soluzioni alternative a livello di concetto;
- confrontare le soluzioni alternative a livello di dettagli.

### **Definizione dello scopo**

La definizione dello scopo identifica e definisce l'oggetto della valutazione e introduce i confini atti ad includere ciò che è significativo per la meta dell'LCA. La definizione dello scopo si propone di:

- definire l'oggetto dello studio includendo la definizione dell'unità funzionale;
- selezionare uno o più prodotti di riferimento o sistemi di riferimento per rappresentare l'oggetto dello studio;
- scegliere i parametri di valutazione ambientale che sono importanti per la meta dell'LCA;
- identificare i processi significativi dal punto di vista ambientale nel sistema del prodotto, prestando attenzione alla meta dell'LCA; proporre un modello per il sistema di prodotto sulla base dei riferimenti selezionati, che includeranno i processi più significativi escludendone altri; determinare l'ossatura geografica del sistema del prodotto;
- definire l'orizzonte temporale entro cui le decisioni basate sull'LCA sono applicate; definire l'orizzonte temporale al di sotto del quale l'impatto ambientale dovrebbe essere visto;
- distribuire gli scambi ambientali presenti in un sistema prodotto tra l'oggetto studiato e gli altri servizi a cui i processi del sistema del prodotto contribuiscono.

Nell'applicazione dell'LCA che implica un confronto tra soluzioni alternative, prodotti o tecnologie, l'oggetto della valutazione è generalmente il servizio fornito all'utente. Questo servizio deve essere definito e quantificato. Nella terminologia dell'LCA è chiamato *unità funzionale* del prodotto.

#### L'unità funzionale

L'unità funzionale deve includere sia una descrizione qualitativa del servizio, sia una quantificazione. La descrizione qualitativa deve definire il livello di qualità del servizio, cosicché i prodotti possono essere confrontati a un livello di qualità abbastanza uniforme. La descrizione quantitativa deve specificare la grandezza e la durata del servizio, includendo il periodo di vita del prodotto. Nel confronto ambientale delle alternative, la durata del servizio deve essere la stessa, e il servizio deve essere sperimentato come confrontabile dall'utente, rispettando le caratteristiche quantitative e qualitative.

#### Criteri di valutazione

Per quanto riguarda i criteri di valutazione, il metodo Edip comprende le seguenti generali **categorie di danno**:

- impatto ambientale
- consumo delle risorse
- impatto nell'ambiente di lavoro

Queste tre categorie hanno tra loro la medesima importanza.

Gli impatti interni a queste categorie principali sono ulteriormente divisi a seconda della loro estensione geografica, in impatti globali, regionali e locali. Questa suddivisione è significativa nella parte finale della valutazione, dove i contributi alle varie categorie di impatto sono normalizzati e pesati, in quanto il carattere e la modalità d'azione differiscono a seconda dell'estensione geografica considerata.

#### *Impatto ambientale*

L'impatto ambientale include gli impatti sull'ambiente esterno, e tra questi, la salute umana. Nella definizione di ciò che costituisce un impatto ambientale, è possibile riferirsi agli impatti che presto o tardi sono presenti nella catena di cause-effetti.

Per alcuni impatti ambientali, il contributo a uno degli impatti può escludere il contributo agli altri.

Il ciclo di vita del prodotto può anche causare degli scambi che a livello locale hanno un impatto fisico sull'ambiente. Tuttavia questo tipo di impatto è stato sino ad ora trascurato dal metodo Edip.

#### *Consumo delle risorse*

Le “risorse” sono considerate per identificare le materie prime da cui derivano i vari materiali del sistema prodotto; tra di esse figurano l'energia, i materiali di costruzione, e le sostanze dipendenti. Il consumo delle risorse include sia il consumo delle risorse rinnovabili, cioè quelle che possono essere rigenerate e che non si esauriranno necessariamente a causa dello sfruttamento umano, sia non rinnovabili, cioè quelle che non sono rigenerate, o che sono rigenerate così lentamente per cui il tasso di rigenerazione è notevolmente inferiore rispetto alla quantità utilizzata.

Il metodo Edip include le risorse rinnovabili nell'inventario, ponendole sullo stesso piano di quelle non rinnovabili.

#### **Inventario**

L'obiettivo dell'inventario è quello di raccogliere quelle informazioni, rilevanti dal punto di vista ambientale, relative ai vari processi emersi durante la definizione dello scopo e inclusi nel modello del sistema del prodotto. La raccolta delle informazioni segue lo stesso modello per tutti i processi. Questo modello è chiamato “*data format*” e considera le informazioni che devono essere raccolte per un certo processo.

I dati devono sempre possedere tre categorie di informazioni:

- una descrizione del processo;
- un inventario degli scambi del processo con l'ambiente;
- una caratterizzazione dei dati, una delimitazione del processo e una descrizione delle origini e della qualità dei dati.

La descrizione di un processo deve specificare le condizioni operative che costituiscono i dati per gli scambi.

Gli scambi del processo con l'ambiente si distinguono in:

- input: energia elettrica e termica, trasporto, materiali, sostanze dipendenti e risorse;
- output: che sono divisi in emissioni in aria, acqua e suolo e rifiuti.

Una parte molto importante dell'inventario è la caratterizzazione del processo e dei dati che lo descrivono. Questo implica:

- delimitazione di ciò che non si conosce;
- descrizione della mancanza di dati e della qualità dei dati;
- descrizione dello sviluppo tecnologico per un processo.

La raccolta dei dati è una parte fondamentale per la realizzazione dell'LCA di un prodotto. Generalmente essa comporta un lavoro costante per stabilire le informazioni qualitative e quantitative riguardanti i molti processi di un sistema prodotto. Ma una volta che queste informazioni sono state raccolte si creerà una base di conoscenze ambientali fondamentali e l'inventario dei prodotti successivi risulterà molto semplificato. La procedura per la raccolta dei dati relativi agli impatti in un ambiente di lavoro varia a seconda del tipo di impatto.

Per ogni scambio ambientale vengono sommati i corrispondenti dati precedentemente inseriti nell'inventario. Il risultato è la somma di tutti gli scambi finali, cioè di tutti gli input che provengono direttamente dalla natura, di tutti gli output che si riversano direttamente in acqua, aria e suolo e di tutti gli impatti presenti nell'ambiente di lavoro. Gli scambi finali con l'ambiente devono essere rapportati all'unità funzionale.

### **Valutazione di impatto**

L'inventario fornito mette insieme i dati relativi agli scambi ambientali per l'intero sistema prodotto. I dati nell'inventario devono essere interpretati. Le interpretazioni sono basate su una profonda conoscenza dell'ambiente e delle risorse e devono mostrare quali scambi sono più significativi e quanto grande può essere il loro contributo.

Nel metodo Edip l'interpretazione dell'inventario è condotta sulla stima del contributo che ogni scambio produrrà. L'inventario è così trasformato in una lista del consumo delle risorse e dei potenziali impatti sull'ambiente e sul luogo di lavoro.

Stimare, sulla base degli inventari disponibili, quale alternativa sia la migliore da un punto di vista ambientale non è cosa semplice. Le alternative che sono comparate implicheranno l'uso di differenti materiali e processi. Sono pertanto consumate differenti risorse e differenti sono le sostanze emesse nell'ambiente. L'inventario può includere informazioni sulle emissioni di molte sostanze, alcune delle quali risulteranno più o meno pericolose per l'ambiente.

Per poter decidere l'alternativa preferibile da un punto di vista ambientale, è necessario interpretare l'inventario, pesando i vari scambi sulla base della rilevanza dell'impatto che essi generano.

Il metodo Edip considera le categorie d'impatto all'interno di tre gruppi principali:

- impatto ambientale;
- consumo delle risorse;
- impatto sull'ambiente di lavoro.

Inoltre, nello strumento di interpretazione ambientale del metodo Edip, la trasformazione dell'inventario contiene tre elementi:

1. *Calcolo degli impatti ambientali potenziali per emissioni*: quante emissioni contribuiscono ai vari tipi di impatti ambientali?
2. *Normalizzazione*: quanto sono grandi il consumo delle risorse e i potenziali per gli impatti nell'ambiente e sul luogo di lavoro?
3. *Ponderazione*: quali consumi delle risorse e impatti potenziali sono i più importanti?

#### Calcolo dei potenziali impatti ambientali

I potenziali impatti per un prodotto sono la somma dei potenziali impatti dovuti alle emissioni presenti per tutta la durata del sistema del prodotto.

$$\sum \text{Impact potentials} = \sum \text{Quantity of substance} \times \text{substance's impact potential}$$

L'impatto potenziale di una qualunque sostanza è espresso nella forma di un fattore equivalente. Tutte le sostanze che possono contribuire a più di un impatto ambientale hanno un fattore di equivalenza per ogni tipo di impatto.

#### Normalizzazione

La normalizzazione ha due scopi :

- prevedere l'effetto della magnitudine relativa degli impatti potenziali e dei consumi delle risorse;
- presentare i risultati in una forma appropriata per la ponderazione (*weighting*) finale e il processo decisionale.

Nella normalizzazione gli impatti potenziali e le decisioni di consumo che sono stati determinati sono confrontati con un impatto che è comune a tutte le categorie di impatto, e del quale sono conosciute le conseguenze per il territorio, le risorse e l'ambiente di lavoro.

In questo modo si ottiene un'impressione sulla base della quale gli impatti potenziali sono grandi o piccoli in relazione all'impatto di riferimento conosciuto.

Come riferimenti di normalizzazione, il metodo Edip utilizza il consumo di risorse e i potenziali impatti che la società impone al territorio e all'ambiente di lavoro ogni anno.

### Ponderazione

La normalizzazione permette di valutare quali tra i potenziali impatti sono maggiori e quali inferiori, rapportandoli agli impatti cui è soggetta una persona media nel 1990.

Ma anche se i potenziali impatti per due differenti categorie d'impatto sono ugualmente grandi nella normalizzazione, questo non significa che siano ugualmente seri. Occorre infatti attribuire un peso a ciascuna categoria d'impatto. La gravità delle categorie d'impatto è espressa da un insieme di fattori peso per categoria d'impatto riferiti alle principali aree: quella ambientale, delle risorse e dell'ambiente di lavoro.

La ponderazione può essere fatta moltiplicando il potenziale impatto normalizzato o il valore del consumo di risorse, con il fattore peso associato alla categoria d'impatto o al consumo di risorse in questione.

## **4.2. SOFTWARE SIMAPRO 6.0**

SimaPro è un codice di calcolo basato sul metodo LCA per la valutazione del ciclo di vita dei prodotti e processi in relazione al loro impatto ambientale.

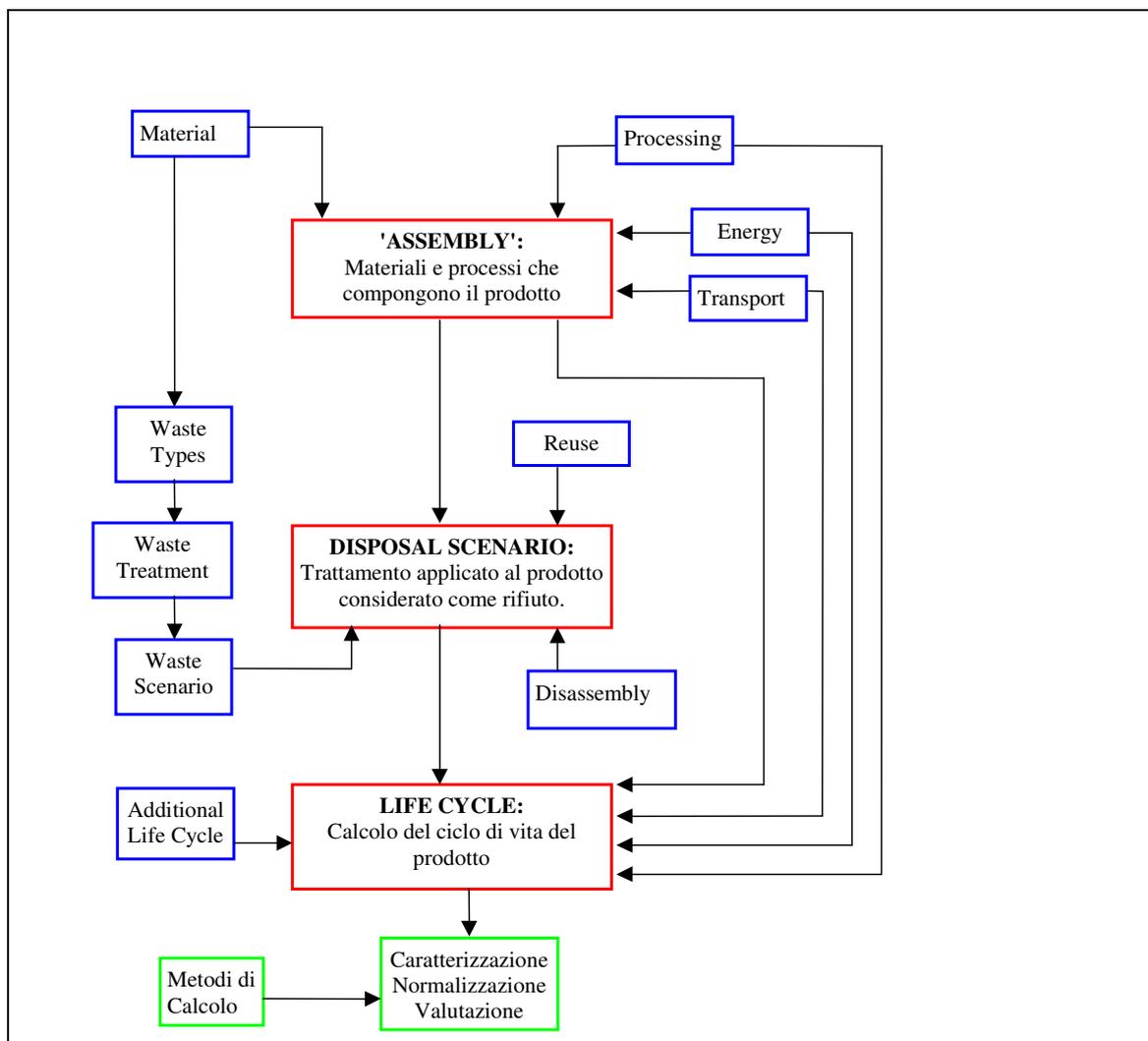
Nella figura seguente è riportato lo schema di calcolo utilizzato dal metodo; nella figura i vari blocchi sono stati rappresentati con colori diversi, in tal modo si è voluto mettere in evidenza la differenza tra i boxes rossi impiegati per la raccolta dei dati e riservati al prodotto e a ciascuno dei suoi componenti, tra quelli blu, relativi ai dati contenuti nel database, e quelli verdi inerenti il calcolo e la valutazione.

Nel momento in cui ci si appresta a realizzare l'LCA di un qualsiasi prodotto è necessario poter disporre di informazioni dettagliate riguardo a ciascuno dei suoi componenti, tali informazioni riguardano essenzialmente:

- i materiali di cui sono realizzati e il loro peso;
- i processi di lavorazione;
- i trasporti;
- l'energia che, nei diversi momenti della produzione concorre alla realizzazione del prodotto.

L'LCA è un metodo di indagine iterativo, che permette di compiere valutazioni anche solo parziali e di poter completare l'inserimento dei dati in qualsiasi momento; anche il SimaPro possiede questa caratteristica, di conseguenza i confini dello studio possono essere ampliati a piacere quando lo si ritenga necessario o qualora si abbiano a disposizione informazioni maggiormente adeguate.

Per ogni componente del prodotto in esame è necessario creare un '*Assembly*' (in cui vengono assemblate le diverse fasi create), un '*Disposal Scenario*' (in cui si realizza lo scenario dei residui del processo) e un '*Life Cycle*' (in cui sono state inserite tutte le fasi); i dati che sono inseriti appartengono al database del metodo, che può essere implementato o modificato a seconda dell'esigenza dell'utente.



**Lo schema a blocchi del codice SimaPro 6.0.**

### **Assembly**

Il primo passo da compiere per la realizzazione dello studio consiste nel definire l'“*Assembly*” dei vari componenti. Al suo completamento concorrono i dati relativi ai materiali, alle lavorazioni (*Processing*), all'energia impiegata, nonché le informazioni relative ai trasporti. Come si evince dalla figura è solo in questo momento che è possibile prendere in considerazione i materiali.

### **Disposal scenario**

Il “*Disposal Scenario*” deve far riferimento ad un determinato “*Assembly*”; in seguito si sceglie il tipo di smaltimento che si ritiene più verosimile, scegliendo tra il “*Reuse*”, il “*Disassembly*” o tra una serie di “*Waste Scenario*” riportati dal codice (*Incineration*, *Landfill*, *Recycling* etc.).

## **Life cycle**

Il “*Life Cycle*” permette di prendere in considerazione tutti gli aspetti legati all’utilizzo del prodotto o del componente (eventuali altri processing, “*Energy*”, “*Transport*”), in particolare può fare riferimento ad un “*Assembly*”, ma anche ad “*Additional Life Cycle*”, ovvero a “*Life Cycle*” di componenti che considerati in maniera globale concorrono alla valutazione dell’LCA del prodotto in esame.

## **I database**

Per quanto riguarda i dati del Database sono organizzati come segue:

### Materiali

I “*material*” sono suddivisi in categorie (*Building material, Chemical, Ferro metal, Fuels, Non ferro metals, etc.*) e per ciascuno di questi è indicata la “*Waste Fraction*”, che servirà per attribuire a ciascun componente il trattamento adeguato (“*Waste Treatment*”), e lo scenario adeguato (“*Waste Scenario*”). Nel caso in cui non sia indicato, è necessario sapere che il codice non prevede di considerare tale materiale come rifiuto all’atto della dismissione.

### Processi

I “*Processing*” sono anch’essi suddivisi in categorie che raccolgono lavorazioni relative ad un certo tipo di materiale.

### Trasporti

I Trasporti sono suddivisi in base al tipo (strada, ferrovia, acqua, aria) e per ciascuno di essi si riportano i possibili mezzi di trasporto.

### Energia

L’“*Energy*” permette di valutare il tipo di energia utilizzata nelle fasi di produzione ed eventualmente in quelle di utilizzo del prodotto.

## **Il calcolo**

Il calcolo vero e proprio riguarda la caratterizzazione, la normalizzazione e la valutazione.

## Capitolo 5 - Risultati LCA

L'obiettivo del presente elaborato è la determinazione dell'impatto ambientale relativo a due casi reali : un impianto a cippato di legno, costruito nel comune di Castel d'Aiano (Bologna), e un impianto per la produzione di biogas, costruito presso un'azienda agricola di Castenaso (Bologna). Impianti per la produzione combinata di elettricità e calore.

Si vuole evidenziare l'importanza ambientale di impianti di questo genere, attraverso i risultati condotti nell'ambito di un'analisi LCA con software di proprietà dell'Università degli Studi di Bologna Simapro 6.0.

I risultati forniti mostrano l'impatto decisamente positivo dei citati impianti a fonte rinnovabile, analizzando tutti i processi coinvolti dal reperimento delle materie prime alla loro combustione, dalla combustione alla produzione di energia, dalla produzione di energia allo smaltimento dei residui.

In questo studio sono state analizzate tutte le fasi che costituiscono le due filiere di riferimento : filiera bosco-legna-energia e filiera agricoltura-energia.

Le modalità e i procedimenti con cui si giunge al medesimo prodotto finito non sono uniche, in quanto le fasi elementari possono non comparire tutte, o comunque non presentarsi nella medesima sequenza temporale. Il modo di procedere è, infatti, dettato da una componente legata al particolare contesto che si presenta dinnanzi, ma anche da una componente prettamente soggettiva, dettata principalmente dal parco macchine di cui si dispone, ma anche dalla consuetudine operativa.

Si evince come le variabili in gioco e le scelte da effettuare per la costituzione di una filiera in una determinata realtà territoriale siano molteplici. La sequenza operativa introdotta in questo studio è stata desunta da esperienze reali, di cui si sono ricercate le informazioni tramite interviste in loco e ai diretti interessati. Non si deve dimenticare ad esempio che le principali caratteristiche chimico-fisiche ed energetiche del legno variano, non solo da specie a specie, ma anche all'interno di una medesima specie, a seconda dell'ambiente in cui essa è cresciuta.

## 5.1. CASTEL D'AIANO

Nel caso Castel d'Aiano, impianto a cippato di legno, sono stati presi in considerazione due diversi approvvigionamenti a cui l'impianto ha fatto ricorso nell'arco della sua vita impiantistica.

In particolare : un approvvigionamento effettuato da un'azienda agricolo-forestale locale, azienda "La Fenice", poco distante dall'impianto; un secondo approvvigionamento effettuato da un'azienda agricolo-forestale di Pistoia, "Orlandini", a una distanza maggiore.

Per l'analisi dell'impatto sull'ambiente e in un'ottica di confronto fra i due approvvigionamenti conseguiti, l' **unità funzionale** scelta è la quantità di energia prodotta dall'impianto, misurata in "kWh equivalenti", con la quale unità di misura si comprende sia la produzione di kW elettrici che termici, in quanto l'impianto è cogenerativo a fronte della stessa quantità annuale di cippato conferito.

Il **kWh equivalente** è considerato suddiviso nella sua parte elettrica e termica con le rispettive percentuali di rendimento dell'impianto.

Il presente studio è stato redatto al fine di valutare e successivamente comparare l'impatto ambientale conseguente alla produzione di energia elettrica e termica (cogenerazione) prodotta dalla combustione di cippato a fronte di due approvvigionamenti diversi, al fine di valutare quale soluzione di approvvigionamento risulta la meno impattante dal punto di vista ambientale.

Benché possa ritenersi a priori probabile che una maggiore distanza dell'approvvigionamento comporti un maggiore impatto legato al trasporto, in realtà ciò non è sempre detto. Infatti l'approvvigionamento più distante, purché con trasporto a distanza maggiore e quindi con maggiore emissione di CO<sub>2</sub> a viaggio, potrebbe utilizzare un autotreno con maggiore capacità di carico e dunque per fornire lo stesso quantitativo annuale di cippato compiere in un anno meno rifornimenti, emettendo così in totale anche meno anidride carbonica del fornitore più vicino.

Nonostante le precedenti considerazioni si deve tenere presente che diversi studi effettuati confermano che i trasporti al di sotto dei 100 km di distanza non hanno un impatto ambientale eccessivo rispetto per esempio ad altre attrezzature utilizzate nella cippatura. Risultato messo poi in luce dall'analisi effettuata.

## 5.2. ANALISI LCA\_APPROVVIGIONAMENTO LA FENICE

### Obiettivo dello studio

Obiettivo dello studio è la determinazione dell'impatto ambientale per la generazione di energia elettrica e termica ottenuta dal funzionamento, per 6.000 ore l'anno, con una potenza massima installata di 200 kW termici, tramite l'approvvigionamento annuale di 4.500 quintali di cippato.

### Scopo dello studio

- *Funzioni del sistema*

La funzione dello studio è la generazione di energia tramite una fornitura di 4.500 quintali di cippato

- *Unità funzionale*

L'unità funzionale risulta essere il "kWh equivalente", a fronte di un approvvigionamento di 4.500 quintali di cippato, massa necessaria a ottenere la quantità di energia espressa in kWh; il kWh qui considerato è suddiviso nella sua quota parte termica (70%), elettrica (17,5%) e perdita (12,5%) e quindi detto "equivalente" per indicare il kWh generico suddiviso nelle sue tre componenti. L'unità funzionale è utilizzata per permettere il confronto fra due diversi impianti, nei quali posso così confrontare l'energia prodotta a fronte di un certo approvvigionamento; il dato che interessa, quindi, è l'energia prodotta dagli impianti, scopo per il quale si sono costruiti

- *Il sistema che deve essere studiato*

Il sistema da studiare è la produzione di energia elettrica e termica da un approvvigionamento di 4.500 quintali di cippato annuali, ottenuti dal legname proveniente dai boschi del comune di Castel d'Aiano, in particolare l'azienda La Fenice si trova a Rocca di Roffeno

- *I confini del sistema*

I confini del sistema vanno dal taglio e deprezzamento degli alberi, allo smaltimento fino alla discarica delle ceneri prodotte dall'impianto. Non si considera il ciclo di vita dei macchinari impiegati nelle diverse fasi

- *Qualità dei dati*

Per lo svolgimento dello studio è stato impiegato il codice di calcolo SimaPro 6.0. Per la maggioranza degli elementi si è fatto riferimento alle banche dati impostate all'interno del codice

- *Metodologia di valutazione dell'impatto ambientale*

I metodi utilizzati nello studio sono Eco-Indicator99 H e Edip/Umip96 V2.1

La Fenice si trova a Rocca di Roffeno a 7,2 km dall'impianto.

### **5.2.1. Le diverse fasi**

Di seguito è riportata la schematizzazione delle macrofasi della filiera di produzione del cippato.

Ogni macrofase è poi suddivisa nelle sue diverse fasi con i relativi macchinari e verranno analizzate una a una, riportando anche i calcoli necessari in ogni fase per giungere ai valori da inserire all'interno della LCA.



**Rappresentazione schematica delle macrofasi che compongono la filiera del cippato**

Nei calcoli effettuati per determinare i valori da inserire nell'analisi LCA si è tenuto conto di ricavare un **valore unitario**, da inserire nelle singole schede delle diverse fasi.

Infatti, nelle schede dedicate ad ogni fase è necessario indicare l'output unitario che si vuole ottenere, a fronte di un certo input sempre unitario riferito all'ottenimento di quell'output : così nella fase di taglio si vuole ottenere 1 Kg di cippato, avendo come input le ore di utilizzo motosega riferite all'ottenimento appunto di quel Kg di cippato; nel processo produttivo la fase di produzione dell'energia ha come output l'ottenimento di 1 kWh e in input i valori di consumi energetici saranno calcolati tenendo conto del fatto di ottenere 1 kWh come output; così anche per le ceneri, il trasporto avrà un valore unitario riferito all'ottenimento di 1 Kg di ceneri come output.

Nel calcolo dei valori il numero da inserire nelle schede delle fasi è dunque unitario, nel senso che è riferito a una quantità unitaria (per esempio in ogni scheda della fase è indicato come output una quantità di 1 Kg di cippato per le fasi di approvvigionamento; è indicato come output una quantità di 1 kWh per le fasi del processo produttivo; è indicato come output una quantità di 1 Kg di cenere nelle fasi dello smaltimento residui). Si è calcolato quindi come input, in base alle specifiche unità di misura di ogni input utilizzato, il valore per ottenere 1 kg di cippato e non 4.500 kg; oppure il valore per ottenere 1 Kg di ceneri e non 8 m<sup>3</sup> di ceneri all'anno; oppure il valore per ottenere 1 kWh di energia e non i kWh totali prodotti dall'impianto all'anno.

In questo modo il computo totale sarà effettuato nella fase di assemblaggio, in cui vengono unite tutte le

diverse fasi delle varie macrofasi.

Nella macrofase approvvigionamento in assemblaggio verrà inserito per ogni fase il totale corrispondente (per esempio per il taglio, l'esbosco, il trasporto, la cippatura verrà inserito il valore di 4.500 quintali).

Nell'assemblaggio della macrofase processo produttivo i valori totali sono riferiti all'anno. Anche qui nel calcolo dei valori, il numero da inserire nelle schede dedicate alle fasi è unitario, quindi l'output della scheda è 1 kWh equivalente (suddiviso nelle sue quote : avremo output\_termico e output\_elettrico con le rispettive percentuali e come loro valore 1 kWh); così tutti gli input inseriti nelle fasi sono valori unitari per l'ottenimento di 1 kWh e non di 840.000 kWh e 210.000 kWh. Il computo totale sarà anche qui effettuato nell'assemblaggio, in cui verrà inserito per ogni fase il totale corrispondente (per esempio per l'output termico sarà inserito 840.000 kWh termici, per l'output elettrico 210.000 kWh, per le dispersioni 150.000 kWh ).

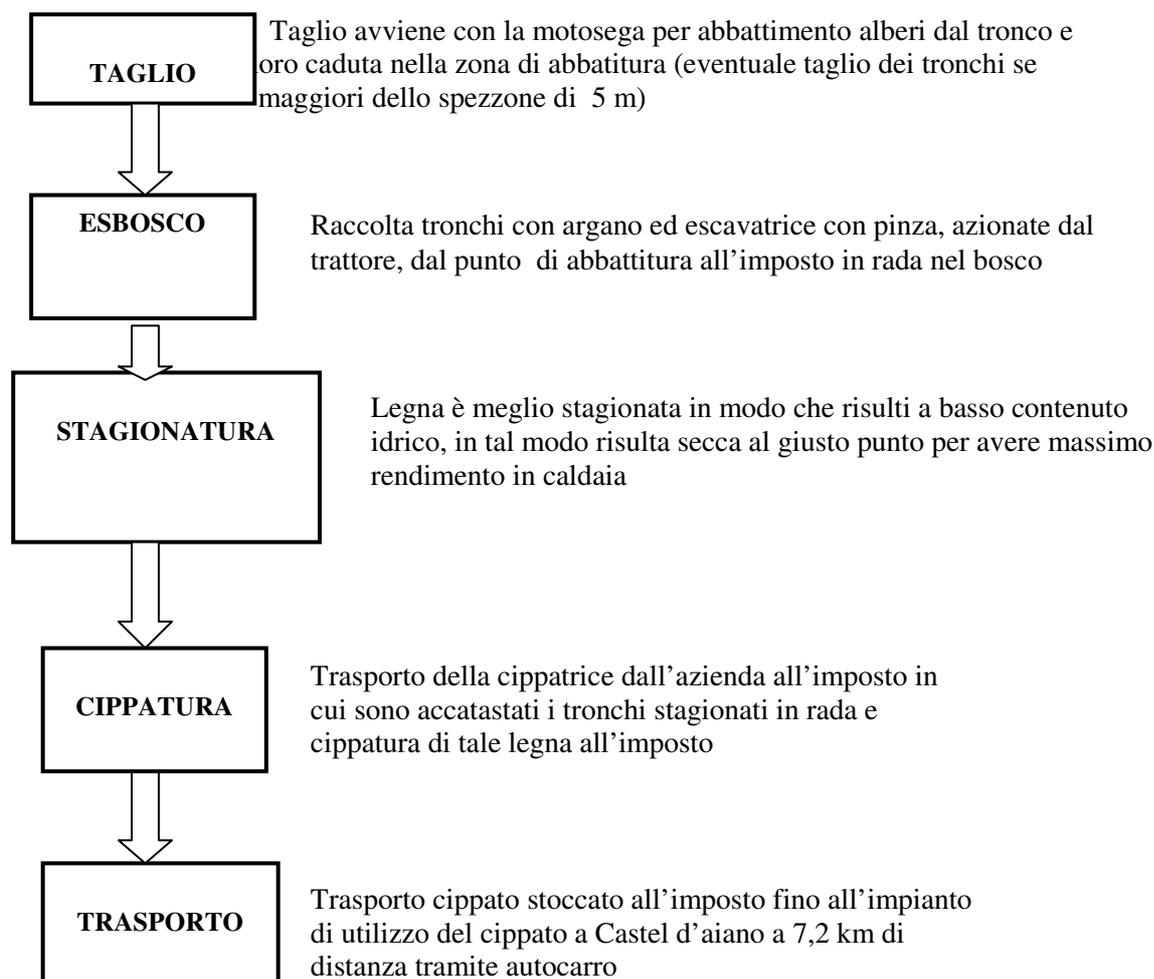
E' da notare che per la fase di carico del cippato all'impianto sarà utilizzato come valore totale 4.500 q di cippato, quantità effettivamente caricata dalla tramoggia di carico.

Stessa cosa per la macrofase ceneri, in cui il valore totale da inserire nell'assemblaggio delle sue fasi sarà il totale di ceneri prodotte all'anno e cioè 8 m<sup>3</sup> all'anno. Mentre nelle singole schede, dedicate ad ogni fase, sarà inserito il valore unitario per la produzione in output di 1 kg di ceneri e non del totale annuo di ceneri.

### MACROFASE 1: APPROVVIGIONAMENTO \_ 4.500 q di fornitura di cippato

Taglio con motosega; esbosco con raccolta a strascico tramite argano montato su trattore e trascinamento albero fuori dalla zona di abbattimento e utilizzo dell'escavatore con pinza montata su trattore al fine di realizzare l'accumulo dei tronchi; trasporto con trattore all'imposto; cippatura all'imposto; stoccaggio cumuli di cippato in piattaforma scoperta; trasporto cippato all'impianto di utilizzazione con autocarro.

#### FLOW CHART MACROFASE 1



## FASE 1\_ TAGLIO

Si utilizzano i seguenti tipi di alberi: robinia e pioppo.

Non si tratta di colture dedicate, ma di bosco spontaneo, che non viene pertanto irrigato e fertilizzato (bosco ceduo cioè che cedi legna).

Il bosco è situato ad una distanza dall'azienda di circa 500 m.

Si utilizzano come attrezzature per il taglio la motosega (ne hanno tre); marca Still; funziona con miscela olio benzina; il costo indicativo di una motosega è di € 1.000.

Per considerare questa fase si è utilizzata la macchina identificata nel database del software simapro come “**Power Saw**” (in particolare all'interno di : Processo in corso-wood-power saw). Tale macchina come unità di misura indica le **ore di utilizzo** per realizzare le operazioni necessarie al taglio dei tronchi di albero da cui ottenere il cippato.

La stagione di abbattitura va da ottobre a maggio, periodo in cui avviene l'abbattimento degli alberi e il loro accatastamento in rada all'imposto, successivamente nel periodo estivo da maggio si inizia la cippatura in bosco all'imposto.

### CALCOLI PER LCA:

#### **Robinia**

Raggio medio robinia:  $r = 0,15$  m

Volume medio robinia:  $\pi * r^2 * H_m = \pi * 0,15^2 * 20 = 1,41$  m<sup>3</sup>

(dove  $H_m$  è l'altezza media di un albero di robinia)

Peso specifico robinia (medio): 800 kg/ m<sup>3</sup>

Peso di un albero “standard” di robinia:  $800 * 1,41 = 1.128$  kg (11,28 q)

#### **Pioppo**

Raggio medio pioppo:  $r = 0,50$  m

Volume medio pioppo:  $\pi * r^2 * H_m = \pi * 0,50^2 * 30 = 23,56$  m<sup>3</sup>

Peso specifico pioppo (medio): 400 kg/ m<sup>3</sup>

Peso di un albero “standard” di pioppo:  $400 * 23,56 = 9.424$  kg (94,24 q)

In base alle informazioni ottenute la perdita in peso dovuta al calo del contenuto idrico è di circa il 45%.

Considerando una fornitura di cippato di 4.500 q annui e la perdita in massa del legno passando da tronco a cippato, si ottiene:

$$X - 45\% X = 4.500 \text{ q cippato}$$

$$X = 8.180 \text{ q di alberi}$$

#### Calcolo delle ore di utilizzo della motosega.

Complessivamente il tempo impiegato per l'abbattimento di un albero (compresa la preparazione e il controllo delle operazioni) è di circa 10 minuti. Dopo l'abbattimento dell'albero, i tronchi vengono tagliati ogni 5 metri e si impiegano circa 5 minuti per effettuare 1 taglio per un diametro di 30 cm (**1 taglio corrisponde a 5 metri di tronco**). Viene stimato un tempo pari a 15 minuti per un taglio di un diametro di circa 1 metro, come il pioppo.

Per realizzare l'abbattitura vengono impiegate 2 persone (una vigila la direzione e l'altra utilizza la motosega) e il tutto per 7 ore di lavoro al giorno, quindi :

$$6 * 60 = 420 \text{ minuti al giorno utilizzati per segare gli alberi}$$

#### **Robinia**

Raggio medio robinia:  $r = 0,15 \text{ m}$

$$\text{Volume medio robinia di un "taglio" di 5 metri: } \pi * r^2 * 5 = \pi * 0,15^2 * 5 = 0,353 \text{ m}^3$$

Relazione utilizzata per calcolare il volume di alberi di robinia necessario per ottenere un certo quantitativo di cippato:

$$\text{Volume di albero robinia} * 7 \text{ q/ m}^3 = \text{q di cippato}$$

Per il pioppo si stima una relazione analoga con un fattore del 3,5 dovuto al peso specifico, che è la metà.

$$0,353 * 7 \text{ q/ m}^3 = 2,47 \text{ q di cippato}$$

Peso specifico robinia (medio):  $800 \text{ kg/ m}^3$

$$800 \text{ kg/ m}^3 * 0,353 = 282 \text{ kg (2,82 q)} \text{ _ peso di un "taglio" di 5 metri}$$

$$\underline{5 \text{ min} : 282 \text{ kg} = 0,018 \text{ min _ robinia}}$$

## **Pioppo**

Raggio medio pioppo:  $r = 0,50 \text{ m}$

Volume medio pioppo di un "taglio" di 5 metri:  $\pi * r^2 * 5 = \pi * 0,50^2 * 5 = 3,93 \text{ m}^3$

$3,93 * 3,5 \text{ q/ m}^3 = 13,86 \text{ q di cippato}$

Peso specifico pioppo (medio):  $400 \text{ kg/ m}^3$

$400 \text{ kg/ m}^3 * 3,93 = 1.572 \text{ kg (15,72 q)}$  \_ peso di un "taglio" di 5 metri

15 min:  $1.572 \text{ kg} = 0,01 \text{ min}$  \_ pioppo

Si ipotizza di usare una fornitura costituita dal 50% di robinia e dal 50% di pioppo e si stima quindi un tempo medio di utilizzo della motosega pari a:

$(0,018 + 0,01) / 2 = \mathbf{0,014 \text{ min}}$

Calcolo del quantitativo di legna da tagliare per ottenere la fornitura di 4.500 q di cippato:

$(2,47 + 13,86) / 2 = 8,16 \text{ q medi di cippato}$

$(2,82 + 15,72) / 2 = 9,27 \text{ q peso medio di un "taglio" di 5 metri}$

$8,16 : 4500 \text{ q cippato/anno} = 9,27 : X$

$X = 5.122 \text{ q di legna totali (50% robinia e 50% pioppo)}$  da cui derivano 4500 q cippato/anno

(512.200 kg)

## **FASE 2\_ ESBOSCO**

L'esbosco è la fase in cui si trascinano gli alberi abbattuti fuori dalla zona di abbattimento in bosco e li si accatastano in rada all'imposto.

Si utilizza un trattore a cui viene collegato un argano e una escavatrice con pinza.

Il trattore è un SAME Silver 100 cv a diesel; il costo medio è di circa € 80.000.

La capacità di carico del trattore è di 5.300 kg.

Il percorso che compie a pieno carico all'interno del bosco per trasportare la legna abbattuta all'imposto per la cippatura risulta di 100 metri (il percorso a vuoto è di 500 m per arrivare dall'azienda al bosco e di altri 500 m per ritornare). I km totali che compie il trattore risultano quindi 1,1 (500 m + 500 m + 100 m).

**A livello sperimentale è accettato l'utilizzo nel software Simapro di un fattore moltiplicativo che tiene già conto dei km totali effettuati sia a pieno carico che a vuoto; tale fattore è convenzionalmente fissato in 1,7 , da moltiplicare per i km percorsi a pieno carico.**

#### CALCOLI PER LCA

Nel SimaPro si è inserito il mezzo di trasporto tra quelli esistenti del database: **“Tractor and Trailer”** all'interno della categoria Transport-road-tractor and trailer e si è calcolata la tratta percorsa a pieno carico che è 100 metri.

L'unità di misura richiesta dal programma è kgkm, che indica i **km percorsi da 1 kg di carico.**

Calcolo considerando i valori unitari :

$(0,1 * 1,7 )$  km percorsi da ogni carico / 5.300 kg di carico = **0,000032 kgkm**

#### **FASE 3\_STAGIONATURA**

Tale fase si è scelto di non considerarla nell'analisi LCA data la sua irrilevanza ai fini dell' impatto ambientale, in quanto l'unico prodotto che da essa deriva risulta essere una perdita di contenuto idrico pressoché irrilevante e priva di un impatto negativo dal punto di vista ambientale.

#### **FASE 4\_CIPPATURA**

Tale fase viene realizzata all'imposto portando in tale zona la cippatrice del deposito dell'azienda, avviene nel periodo estivo la cippatura del legno accatastato all'imposto durante la stagione invernale.

Tale fase presuppone l'utilizzo di una cippatrice montata sul trattore.

La cippatrice è a disco; la marca è Farmi, a diesel (8 litri/h è il consumo di gasolio); il suo costo medio è di 15.000 euro + IVA.

Tale cippatrice presenta una capacità di 20 q/h di cippato

Nel software si è ricercata la voce **“Diesel in wood chip machine”** (all'interno della categoria Energy-Mechanical-Diesel in wood chip machine).

Per l'unità di misura di tale macchina all'interno del Simapro viene utilizzato il kWh.

## CALCOLI PER LCA

1\_ calcolo considerando i valori totali

Considerando una fornitura annua di 4500 q di cippato e una capacità della cippatrice di 20 q/h risulta :

$$4.500 / 20 = 225 \text{ h/anno di utilizzo della cippatrice per avere la fornitura annua totale}$$

Sapendo un consumo di combustibile della cippatrice di 8 litri/h avremo :

$$225 * 8 = 1800 \text{ litri di combustibile/anno per ottenere la fornitura annua}$$

1 litro equivale a  $1 \text{ dm}^3$

Densità o peso specifico diesel =  $0,850 \text{ kg/ dm}^3$

Potere calorifico diesel =  $40,9 \text{ MJ/kg}$

1 kWh =  $3,6 \text{ MJ}$

$$1.800 \text{ litri} = 1.800 \text{ dm}^3$$

$1.800 * 0,850 = 1.530 \text{ kg/anno combustibile utilizzato nella scippatrice per ottenere 4.500 q/anno}$

$1.530 * 40,9 = 62.577 \text{ MJ/anno di calore sviluppato da un tale quantitativo di combustibile nella cippatrice}$

$$62.577 / 3,6 = 17.382 \text{ kWh/anno (17,382 MWh/anno)}$$

17.382 kWh annuali : 450.000 kg cippato annuali = X : 1 kg di cippato

X = **0,0386 kWh** consumo scippatrice per produrre 1 kg di cippato

2\_ calcolo considerando i valori unitari

Considerando una fornitura annua di 4500 q di cippato e una capacità della cippatrice di 20 q/h risulta :

$$4500 / 20 = 225 \text{ h/anno di utilizzo della cippatrice per avere la fornitura annua totale}$$

$225 / 450.000 \text{ kg di cippato annuali} = 0,0005 \text{ h di utilizzo cippatrice per produrre 1 kg di cippato}$

$0,005 * 8 \text{ litri gasolio /h} = 0,004 \text{ litri di carburante per ottenere 1 kg di cippato}$

$0,004 * 0.850 \text{ kg/ dm}^3(\text{densità gasolio}) = 0,0034 \text{ kg di carburante della cippatrice per avere 1 kg di cippato}$

$0,0034 * 40,9 \text{ Mj/kg} = 0,139 \text{ Mj calore sviuluppato dalla cippatrice per produrre 1 kg di cippato}$

$0,139 / 3,6 \text{ kWh} = \mathbf{0,0386 \text{ kWh}}$  per produrre 1 kg di cippato con la cippatrice

### **FASE 5\_TRASPORTO**

In tale fase avviene il trasporto del cippato dall'imposto nel bosco, dove nella stagione estiva viene cippato il legname precedentemente tagliato e lasciato stagionare durante l'inverno, fino all'impianto di utilizzazione del cippato a Castel d'Aiano. I km percorsi in totale durante tale tragitto del trasporto del cippato sono 7,2 a viaggio (ovviamente sarebbe il doppio e cioè 14,4 km totali compreso il viaggio a vuoto durante il ritorno, dopo aver consegnato il cippato all'impianto).

7,2 sono i km tra l'impianto a l'azienda La Fenice.

Per la ragione indicata precedentemente anche in tale fase si utilizza il fattore 1,7 che tiene conto sia dei viaggi a pieno carico che di quelli a vuoto del mezzo di trasporto

Per il trasporto in questione La Fenice utilizza un camion Fiat 190 Diesel del valore di 10.000 euro per un mezzo usato. La capacità di portata del mezzo è di 60 q di cippato/viaggio (metratura risulta di  $20 \text{ m}^3$ ).

Il camion presenta delle gomme che vanno sostituite ogni 20.000 km e presenta 8 gomme da 250 euro ognuna da sostituire sempre ogni 20.000 km.

Il consumo del camion risulta di 2 km/litro di gasolio.

Il camion nel periodo invernale non effettua viaggi (avviene quindi un accumulo a fine estate presso l'impianto) in quanto tale mezzo non riuscirebbe ad arrivare al cippato accatastato all'imposto causa neve, considerando che in tale località nevica molto.

## CALCOLI PER LCA

Nel SimaPro si è inserito il mezzo di trasporto tra quelli esistenti del database: **Transport, lorry 16 t** all'interno della categoria Transport-Road-Lorry (in realtà avremmo un lorry da 6 t che non risulta tuttavia presente tra le diverse opzioni dei mezzi di trasporto esistenti) e si è calcolata la tratta percorsa.

L'unità di misura richiesta dal programma è kgkm, che indica i km percorsi da 1 kg di carico.

1\_ calcolo considerando valori unitari

60 q cippato/viaggio (quantità trasportata dal mezzo) → 6.000 kg/viaggio

Km a pieno carico sono 7,2

$7,2 * 1,7 = 12,24$  km totali percorsi di un viaggio

$12,24 / 6.000$  kg di carico = **0,00204 kgkm**

2\_ calcolo considerando valori totali

4.500 q cippato/anno (fornitura)

60 q cippato trasportato dal camion/viaggio

$4.500 / 60 = 75$  viaggi/anno per portare la fornitura annuale di cippato all'impianto

$7,2 * 1,7 = 12,24$  km totali carichi e scarichi a viaggio

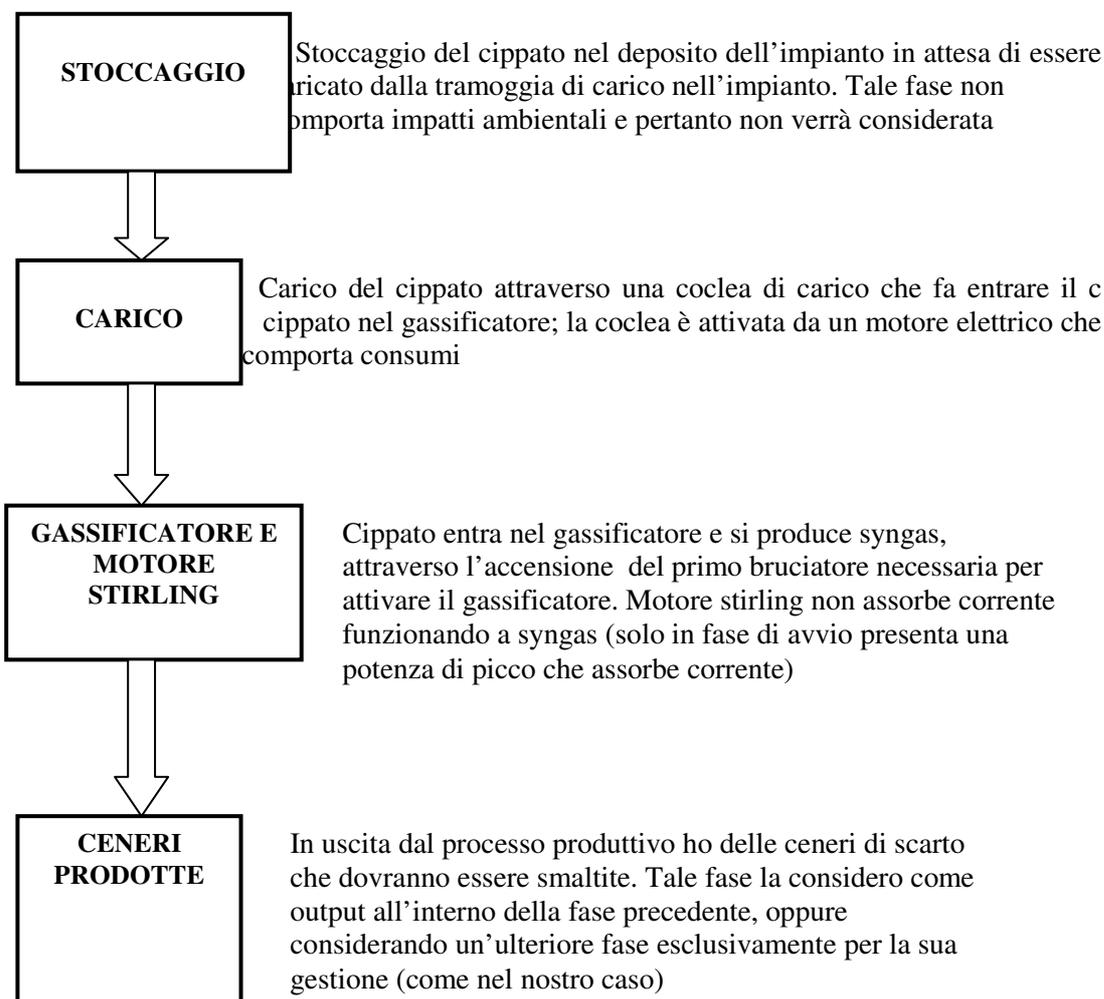
$12,24 * 75$  (viaggi totali annui per trasportare i 4.500 q) = 918 km totali

$918 / 450.000$  kg cippato all'anno = **0,00204 kgkm**

## MACROFASE 2: PROCESSO PRODUTTIVO\_gassificazione e motore stirling

Carico del cippato mediante coclea azionata da un motore elettrico con una certa potenza, il cippato è situato in un deposito adiacente l'impianto; cippato alimenta il gassificatore che lo trasforma, attraverso la sua combustione, in syngas; il syngas prodotto alimenta il motore stirling che permette di ottenere energia elettrica tramite generatore e termica tramite ricircolo

## FLOW CHART MACROFASE 2



### FASE 1\_CARICO

In tale fase avviene il prelievo del cippato dal deposito adiacente l'impianto, tramite l'utilizzo di una coclea che provvede a caricare la quantità idonea di cippato nel gassificatore dall'alto (up-draft).

La coclea è azionata da un motore elettrico che avrà un certo assorbimento di corrente, in particolare nel nostro caso presenta una potenza pari a 1 kW.

All'interno del database si è deciso di prendere in considerazione la macchina elettrica per la produzione di elettricità necessaria ad attivare la coclea "**Electricity Italy B250**" (Energy-Electricity country mix-Medium voltage-electricity italy B250).

L'alimentazione della coclea è in continuo!

**Ipotesi** : Abbiamo ipotizzato che quanto cippato viene consumato dal gassificatore, tanto viene reinserito all'interno della coclea.

Quantità in input al gassificatore = quantità caricata in coclea

Sono dati :

► Consumo di legno medio = 0,286 mc/h

Sapendo che **1 mc cippato = 3 q cippato**

Diametro gassificatore di 1 metro

$$1 : 3 = 0,286 : X$$

X = 0,858 q/h di cippato immesso nella coclea

► Velocità discensionale legno nel gassificatore (e quindi anche velocità discensionale nella coclea) = 0,6 cm/min

$$\text{Superficie gassificatore} = \pi * r^2 = \pi * 0,5 \text{ (m)} * 0,5 \text{ (m)} = 7.854 \text{ cm}^2$$

$$7.854 * 0,6 \text{ cm/min} = 4.712 \text{ cm}^3 \text{ (volume/min)}$$

$$4.712 \text{ cm}^3 = 0,004712 \text{ m}^3/\text{min}$$

Dalla relazione di 1 mc = 3 q e dato che nei nostri calcoli dobbiamo riferirli tutto all'unità funzionale di 1 kg di cippato, ne deriva :

$$1 : 300 \text{ (300 kg = 3 q)} = X : 1 \text{ (kg)}$$

$$X = 0,0033 \text{ m}^3 \text{ di cippato equivalenti a 1 kg di cippato}$$

0,0033 / 0,004712 = 0,70034 minuti necessari di funzionamento coclea per 1 kg di cippato

$$0,70034 / 60 \text{ (min)} = 0,01167 \text{ ore di funzionamento coclea per 1 kg di cippato}$$

$0,01167 * 1 \text{ kW}$  (potenza motore coclea) = **0,01167 kWh** necessari al motore della coclea per caricare 1 kg di cippato

TOTALI :  $0,001167 * 450.000 \text{ kg}$  all'anno di cippato = 5.251 kWh all'anno

## **FASE 2\_PROCESSO PRODUTTIVO**

Tale fase sta ad indicare il vero e proprio processo produttivo dell'impianto e cioè la produzione di elettricità per le utenze elettriche (eventualmente vendita) e di calore per le utenze termiche (riscaldamento scuola, palestra, piscina).

Nel realizzare tale fase si è considerata una unica fase al cui interno vi sono i due sottoprocessi di :

### **GASSIFICAZIONE + COMBUSTIONE CON MOTORE STIRLING**

La fase presenta in **input** l'alimentazione elettrica necessaria all'avvio per il gassificatore per raggiungere una certa temperatura e l'alimentazione elettrica del motore stirling per far partire il bruciatore; in **output** tale fase avrà l'aria calda (energia termica da raffreddamento motore) e l'elettricità dovuta alla conversione tramite generatore.

I dati annuali di progetto sono i seguenti :

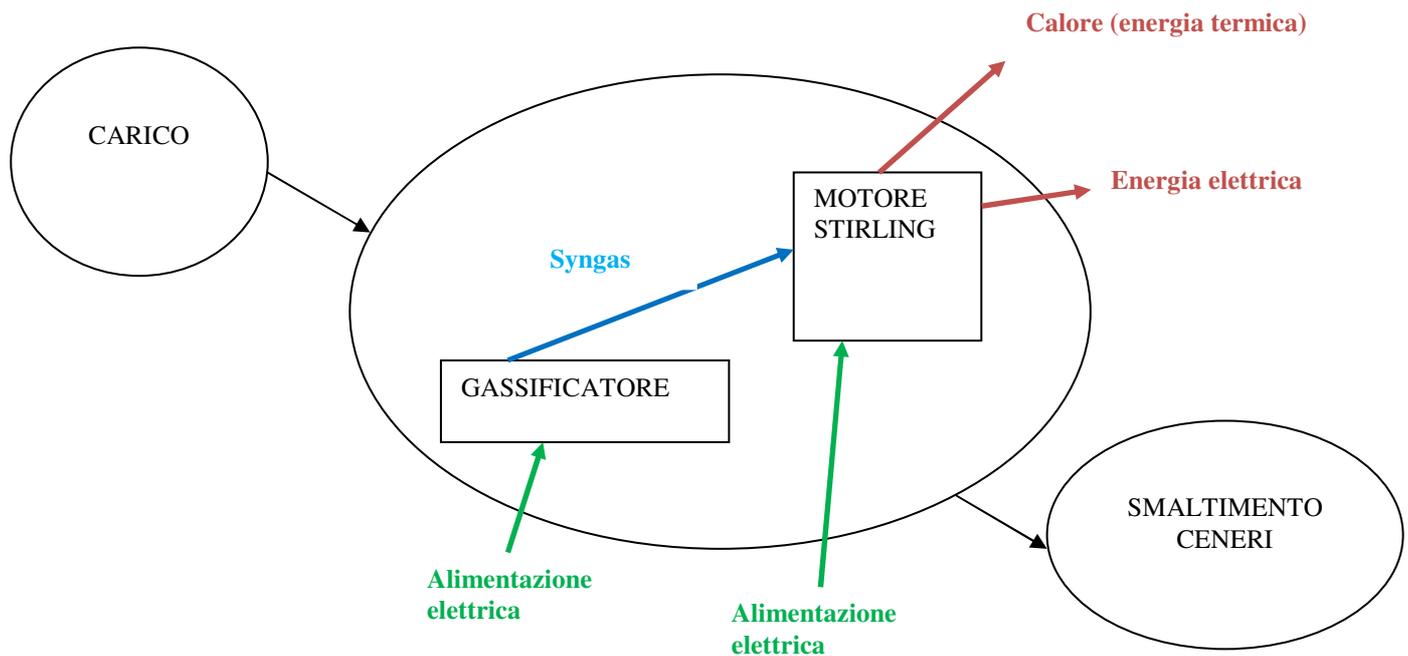
200 kW termici erogati totali, di cui una parte viene trasformata in energia elettrica.

140 kW termici + 35 kW elettrici = 175 kW erogati dall'impianto in un anno (25 kW sono perdite)

$175 * 6.000 \text{ h}$  di funzionamento annuo dell'impianto = 1.050 MWh (di cui 210 elettrici e 840 termici)

Quindi per ogni Kwh : il 70% è la quota parte termica, 17,5% è la quota parte elettrica e il restante 12,5% sono le perdite

All'interno della fase è stata considerata la combinazione di gassificazione e combustione tramite motore Stirling, considerate in un'unica fase. La fase ha in testa la fase di carico e in coda la fase dello smaltimento ceneri prodotte.



L'avvio del gassificatore e motore è il momento in cui si registra il maggiore assorbimento di corrente elettrica (potenza di picco di 80 kW in start-up) per 10 secondi.

I valori di potenza elettrica assorbita in alimentazione al gassificatore e al motore Stirling risultano tuttavia esigui una volta effettuata l'accensione, in quanto tale impianto assorbe la maggior potenza in accensione (potenza di picco) ma una volta entrato a regime il suo consumo è davvero minimo.

Si ipotizza che l'impianto abbia **numero di fermate annuali di 20 volte** (tale numero è abbastanza elevato, dovuto al fatto che tale impianto è ancora in fase sperimentale)

Gli elementi costituenti tale processo di produzione calore ed elettricità sono due :

1\_Un primo bruciatore a metano (gas naturale) utilizzato per far giungere la camera di combustione a una certa temperatura (in avvio) per poter realizzare la combustione del cippato nel gassificatore.

Tale bruciatore all'avvio dell'impianto è alimentato per mezz'ora con potenza di picco di circa 60 kWh termici e dopo va a regime; in pratica costituisce la pre-accensione dell'impianto in avvio.

Funzionando a metano all'interno del database esistente si è ricercata la voce "**Natural gas boiler blast burner**" (all'interno della categoria Energy-Gas-Furnace). L'unità di misura prevista è il kWh, si devono perciò calcolare i kWh erogati in input per avere **1 kWh "equivalente"**.

1 kWh lo chiamo "equivalente" intendendo il kWh costituito per una quota parte del 70% da kWh termico, per il 17,5% da kWh elettrico e 12,5% da kWh disperso.

Il primo bruciatore funziona per mezz'ora per 20 volte all'anno con un assorbimento di 60 kW

$\frac{1}{2} \text{ h} * 20 = 10 \text{ h}$  di funzionamento per l'avvio/anno

$10 * 60 \text{ kW}$  impiegati = 600 kWh consumo annuale bruciatore 1 per avviare il gassificatore

$600 / 1.050.000 \text{ kWh}$  prodotti all'anno dall'impianto = **0,000571 kWh**

2\_Un secondo bruciatore a syngas (motore Stirling vero e proprio) che non assorbe più corrente elettrica dall'esterno ma funziona col syngas per produrre l'energia termica ed elettrica tramite generatore; viene utilizzato anche per funzionalità di sicurezza in caso di spegnimento dell'impianto e permette così di bruciare nella camera di combustione del motore gli eventuali incombusti residui a causa di uno spegnimento improvviso dell'impianto; agisce per 5 minuti.

Questo secondo bruciatore non è considerato nella nostra analisi in quanto funzionando a syngas non presenta assorbimenti elettrici da tenere in considerazione come input della fase, per produrre in output il nostro kWh equivalente.

Dobbiamo invece considerare l'assorbimento elettrico causato all'avvio dell'impianto da tale sistema (Gassificatore + Motore stirling) per una durata di 10 sec a una potenza di picco di 80 kW.

Nel database è stata considerata la voce "**Electricity Italy B250**" dalla categoria Energy – Electricity Country Mix – Medium Voltage.

$10 \text{ sec} * 20 \text{ volte fermate/anno} = 200 \text{ sec}$

$200 \text{ sec} / 3.600 = 0,0555$  ore di funzionamento

$0,0555 * 80 = 4,44 \text{ kWh}$  di assorbimento all'avvio impianto

4,44 / 1.050.000 kWh = **0,0000042 kWh**

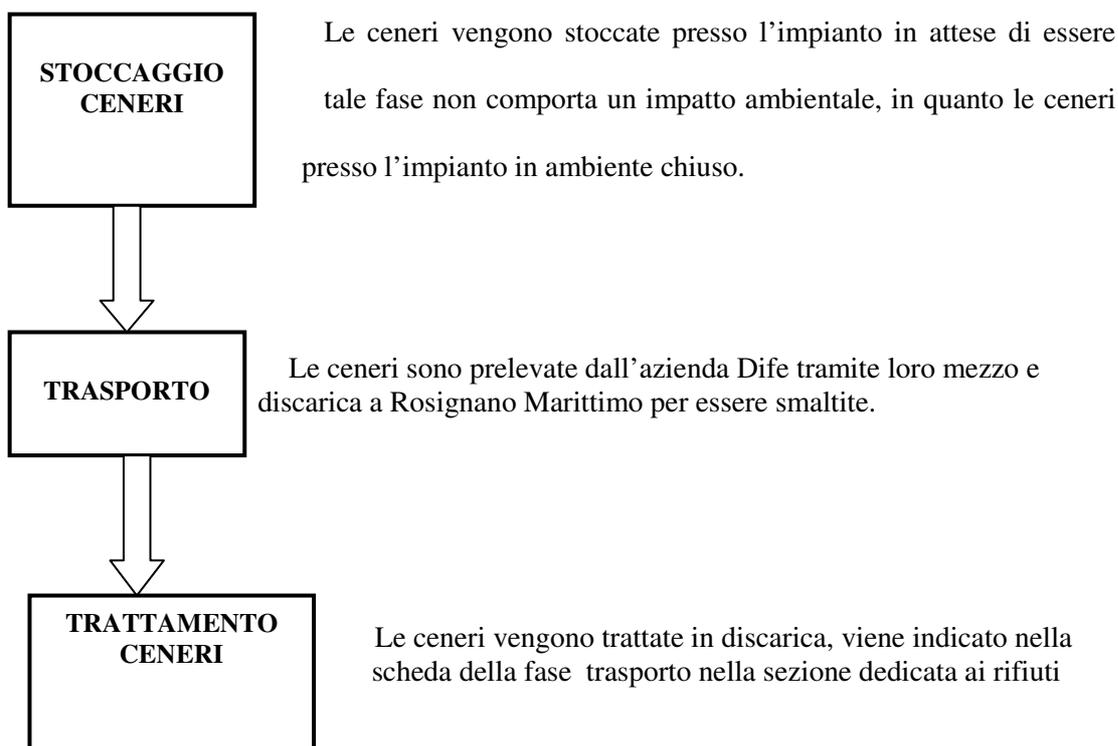
Considerando una media di fermate annue dell'impianto di 20 volte (volte in cui è necessario riavviare tutto l'impianto e nelle quali si consumano quindi tali potenze di corrente elettrica) i consumi elettrici in alimentazione di tale fase risultano i precedenti. Gli unici assorbimenti in gioco in tale fase quindi sono all'avvio per i tempi sopra indicati, si tratta comunque di assorbimenti minimi di elettricità.

### **MACROFASE 3 : SMALTIMENTO CENERI**

Si è preferito gestire lo smaltimento ceneri con un'ulteriore fase, avendo in questo modo più chiaro l'impatto del processo produttivo separato dall'impatto dello smaltimento ceneri prodotte.

Stoccaggio ceneri, in attesa di essere smaltite da aziende specializzate; trasporto delle ceneri in discarica tramite l'azienda a cui è affidato lo smaltimento; trattamento ceneri, cioè metodo con cui risultano trattate in discarica le ceneri prodotte dal processo

### **FLOW CHART MACROFASE 3**



## FASE 1\_TRASPORTO CENERI

Lo smaltimento avviene in discarica nell'impianto REA di Rosignano Marittimo.

L'azienda che si occupa dello smaltimento ceneri è la Dife S.r.l. sita a Serravalle Pisotiese, la quale si reca all'impianto, raccoglie le ceneri e le porta nella discarica REA.

Il mezzo utilizzato dall'azienda è un autotreno scarrabile con 2 cassoni del modello Iveco Magirus 260 S, portata pari a 35 m<sup>3</sup> ogni cassone (totale 70 m<sup>3</sup>). I consumi risultano di 1 litro di gasolio ogni 2,5 km.

L'impianto tratta un quantitativo di ceneri pari al 3% in peso dell'input.

Avendo un input di 450.000 kg di cippato risulteranno 13.500 kg/anno di ceneri in uscita (pari al 3%)

13.500 kg di ceneri equivalgono a 8 mc/anno di ceneri prodotte

I km totali percorsi dall'azienda per smaltire le ceneri fino in discarica risultano di :

167 km a pieno carico (dall'impianto alla discarica) + 66,1 a vuoto = 233,1 km di un viaggio di andata

(66,1 sono i km tra la Dife e l'impianto)

233,1 + 98,8 a vuoto = 331,9 km totali di uno smaltimento ceneri

(98,8 sono i km tra la discarica REA e la Dife)

I km a pieno carico da compiere risultano 167.

Si utilizza sempre il fattore 1,7 che tiene conto sia dei viaggi a pieno carico che di quelli a vuoto del mezzo di trasporto, considerando soltanto il viaggio a pieno carico. Perciò :

$167 * 1,7 = 283,9$  km totali per un viaggio per smaltire le ceneri

L'azienda compie 2 trasporti ceneri all'anno (ipotesi)

I kg totali, quindi, da trasportare per ogni viaggio risultano  $13.500 / 2 = 6.750$  kg di ceneri da trasportare in ogni viaggio alla discarica, considerando appunto un trasporto di 2 volte all'anno.

Avremo pertanto  $283,9 / 6.750 = 0,042 \text{ kgkm}$

Equivalentemente :

283,9 km a viaggio \* 2 volte all'anno che compie tale viaggio = 567,8 km/anno totali

567,8 / 13.500 kg di ceneri annue da smaltire = **0,042 kgkm**

L'unità di misura è sempre kgkm, cioè **i km percorsi da 1 kg di ceneri**

Le ceneri trattate sono considerate inerti di ceneri di torba.

All'interno della scheda per tale fase si è utilizzato nella riga indicante *l'output rifiuti* :

Waste in inert landfill (indicante la discarica per materiali inerti come questi).

Come *trattamento rifiuto* è stato usato :

Waste (inert) to landfill, nella categoria Trattamento rifiuti – Landfill – Inert Material

## TOTALI

Quando si realizza l'assemblaggio delle diverse fasi per consultare i risultati totali di impatto ambientale, vengono selezionate le fasi di interesse per quell'assemblaggio e indicate le quantità annue totali :

Taglio, Esbosco : 512.200 kg di alberi (da cui si ottiene 450.000 kg di cippato), visto che la fase taglio e la fase esbosco trattano alberi va indicato il quantitativo totale di alberi da trattare per ottenere la fornitura annua di cippato

Cippatura, Trasporto, Carico : 450.000 kg cippato di fornitura annuale da contratto, visto che in tali fasi si cippa e si trasporta e si carica in tramoggia del cippato

Combinazione Gassificazione e Stirling\_output elettrico : 210.000 kWh

(17,5% de totale di 200 kW \* 6.000 ore di funzionamento/anno )

Combinazione Gassificazione Stirling\_output termico : 840.000 kWh (70% del totale)

Dispersioni : 150.000 kWh (12,5 % del totale di 200 kW annuali)

Smaltimento Ceneri : 13.500 kg (equivalenti a 8 m<sup>3</sup>/anno di ceneri)

### 5.2.2. Risultati con metodo Eco-Indicator99

Completato l'inventario delle emissioni e dei consumi di risorse imputabili all'impianto di produzione cogenerativa di Castel d'Aiano con approvvigionamento La Fenice, è possibile, attraverso modelli predisposti all'interno del software SimaPro 6.0, giungere alla valutazione dell'entità con cui ogni singola fase contribuisce al punteggio relativo alle varie categorie di danno considerate : *Carcinogens, Respiration organics, Respiration inorganics, Climate change, Radiation, Ozone layer, Ecotoxicity, Acidification/Eutrophication, Land Use, Minerals e Fossil fuels.*

Dall'analisi della tabella sotto riportata è possibile risalire all'entità del danno con cui ciascuna fase contribuisce alla definizione del punteggio totale, relativo alle diverse categorie di impatto considerate nel metodo degli *Eco-indicator99*

SimaPro 6.0		Data:	04/11/2010		Periodo:	19.53.10					
Titolo:		Analizzando 1 p assemblaggio 'Assemblaggio Castel d'Aiano Fen'									
Metodo:		Eco-indicator 99 (H) V2.1 / Europe EI 99 H/H									
Valore:		Valutazione dei danni									
Per ogni c:		Si									
Skip unus:		Mai									
Modo relat:		Non									
Categoria (Unità)	Totale	TAGLIO F	ESBOSCO	CIPPATURA	TRASPORTO	CARICO	OUTPUT EL	OUTPUT T	DISPERS	TRASPORTO CENI	SMALTIMENTO IN DISC.
Carcinogen DALY	0,000262	5,12E-06	8,03E-09	0,0000788	1,15E-08	0,000178	2,28E-08	3,66E-07	1,17E-08	6,25E-09	8,27E-08
Resp. org DALY	7,44E-05	3,72E-05	4,23E-12	0,0000304	2,96E-10	6,76E-06	4,23E-09	6,76E-08	2,16E-09	1,29E-10	3,84E-08
Resp. inor DALY	0,0124	0,000106	3,55E-08	0,0102	0,000000253	0,0021	6,29E-07	1,01E-05	3,21E-07	0,000000112	0,0000129
Climate ch DALY	0,00202	8,31E-05	5,85E-09	0,00124	4,12E-08	0,000682	1,18E-06	1,89E-05	6,03E-07	1,92E-08	0,00000158
Radiation DALY	1,15E-06	7,61E-08	6,79E-15	0,00000102	2E-14 x		2,8E-09	4,48E-08	1,43E-09	9,09E-15	1,07E-09
Ozone lay DALY	1,08E-05	6,55E-07	2,25E-13	0,0000082	4,44E-13	1,93E-06	6,2E-10	9,92E-09	3,16E-10	2,17E-13	1,05E-08
Ecotoxicity PDF*m2yr	181	24,5	0,000163	43,1	0,00523	113	0,013	0,207	0,00661	0,00237	0,0515
Acidificatic PDF*m2yr	465	3,82	0,000176	396	0,00974	64,1	0,0302	0,483	0,0154	0,0043	0,504
Land use PDF*m2yr	0,00628 x		0,00175 x		0,00317 x		x	1,07E-18 x		0,00136 x	
Minerals MJ surplus	0,0103 x		0,00464 x		0,0037 x		x	1,75E-18 x		0,00198 x	
Fossil fuel MJ surplus	0,635 x		0,0476 x		0,399 x		x	1,1E-16 x		0,189 x	

#### Risultati dell'analisi del Ciclo di Vita di 4.500 q di cippato con il metodo Eco-Indicator99 per le varie categorie d'impatto

Si è notato, in particolare per le categorie *Respiration Organics, Respiration Inorganics, Climate Change, Ozone Layer, Radiation, Acidificatio/Eutrophication* che la fase che contribuisce maggiormente al relativo punteggio è la cippatura, mentre per la categoria

*Carcinogens, Ecotoxicity* la fase maggiormente impattante risulta la fase di carico del cippato tramite coclea.

Per la categoria *Land Use* la fase maggiormente impattante è il trasporto del cippato all'impianto; per la categoria *Minerals* la fase maggiormente impattante è l'esbosco; per la categoria *Fossil fuels* la fase maggior mente impattante è il trasporto del cippato all'impianto.

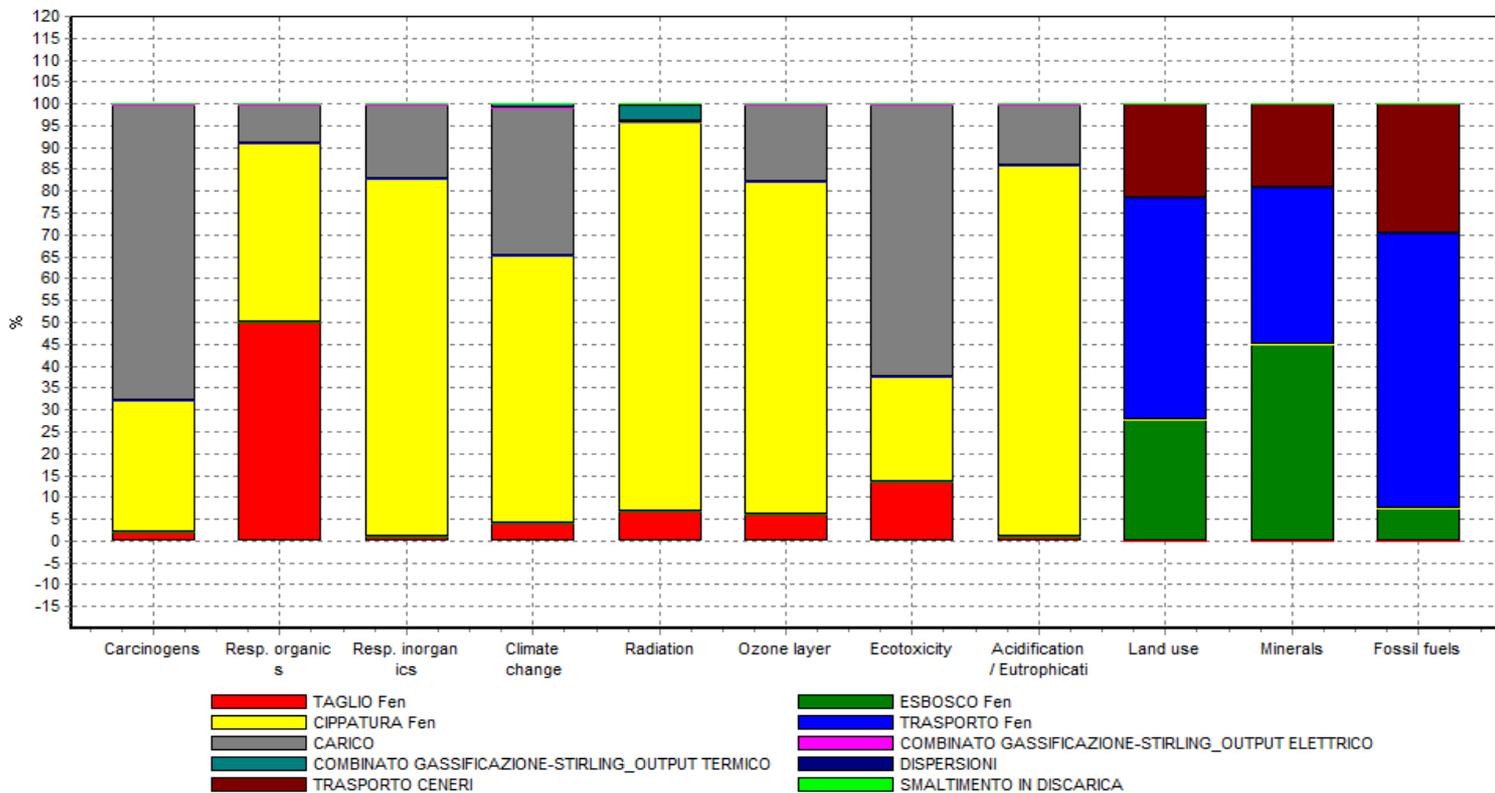
Il Grafico sottostante (istogramma) esprime in percentuale il contributo che le varie fasi portano alla definizione del punteggio complessivo, relativo alle differenti categorie di impatto. In pratica visualizza graficamente e quindi in maniera immediata quanto appena detto osservando la tabella precedente.

Si vede infatti che la fase maggiormente impattante risulta la Cippatura (gialla) e il taglio (rossa); inoltre viene evidenziato come il trasporto del cippato all'impianto, l'esbosco e il trasporto ceneri siano anch'essi abbastanza impattanti e in particolare impattano molto solo su *Land Use, Minerals* e *Fossil fuels* e non sulle prime categorie legate alla salute e all'ecosistema.

La procedura generale di un'analisi del ciclo di vita di un prodotto, condotta mediante il metodo degli *Eco-indicator*, prevede che i diversi tipi di impatto siano raggruppati per categorie e, successivamente, venga calcolato un punteggio globale: in tal modo è possibile riferirsi a macrocategorie di impatto, piuttosto che alle singole tipologie di danno riscontrate.

Le tre macrocategorie d'impatto sono :

4. *Human Health* (Salute umana); ad essa contribuiscono: *Carcinogens, Respiration organics, Respiration inorganics, Climate change, Radiation e Ozone layer*.
5. *Ecosystem Quality* (Qualità dell'ecosistema); ad essa contribuiscono: *Ecotoxicity, Acidification/Eutrophication e Land Use*.
6. *Resources* (Sfruttamento delle risorse); ad essa contribuiscono: *Minerals e Fossil fuels*.



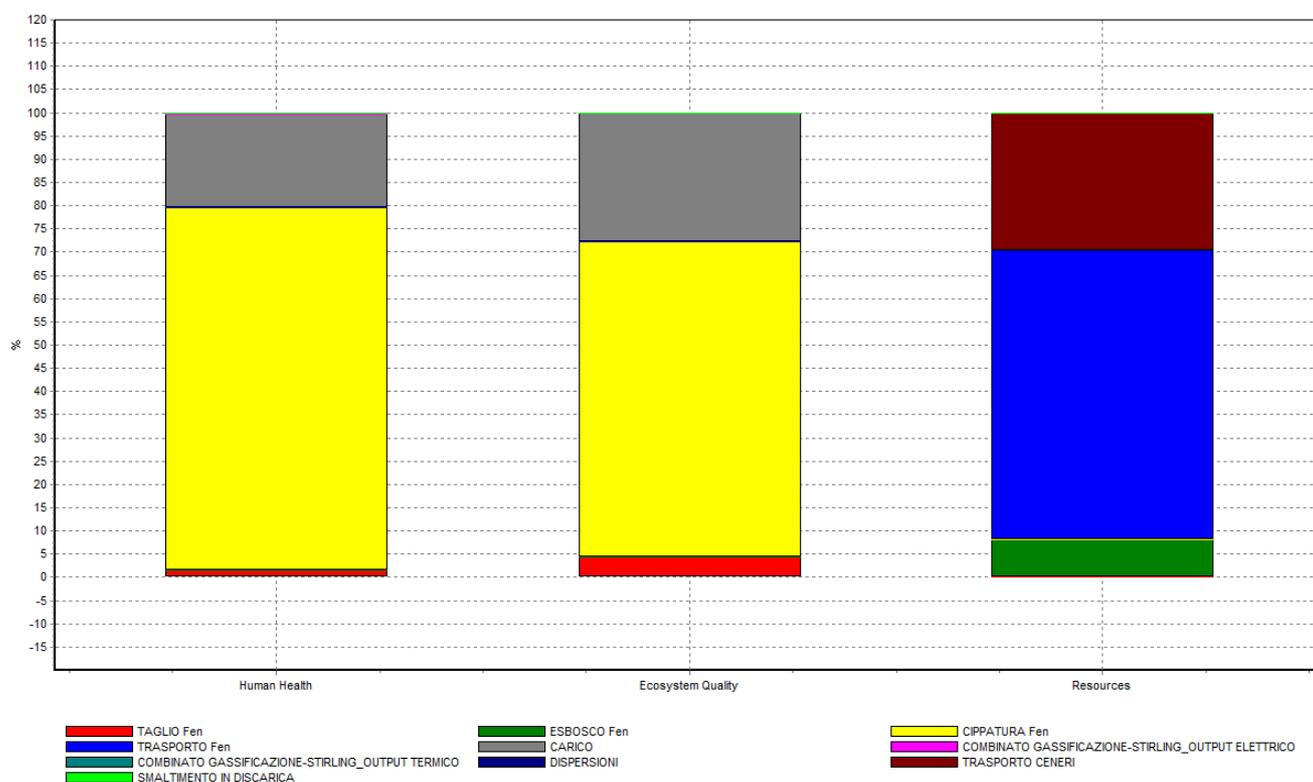
Analizzando 1 p assemblaggio 'Assemblaggio Castel d'Aiano Fen'; Metodo: Eco-indicator 99 (H) V2.1 / Europe EI 99 H/H / valutazione dei danni

**Contributo, espresso in percentuale, delle varie fasi per 4.500 quintali di cippato alla definizione del punteggio complessivo relativo alle differenti categorie di impatto, con il metodo degli *Eco-indicator 99*.**

Sotto riportiamo anche il grafico (istogramma) relativo solo alle 3 macro categorie elencate, per avere un'idea ancora più chiara ed immediata dell'impatto delle diverse fasi a livello più macro. Si può notare come la fase di cippatura è la più impattante nella macro categoria Salute Umana ed Ecosistema e non compare invece nella categoria Risorse; questo è da imputare al fatto che la cippatura consuma un grosso quantitativo di energia derivante da combustibile fossile (cippatura a diesel) che emette sostanze nell'ambiente dannose per la salute umana sicuramente e per l'ecosistema pianeta e non riguarda direttamente l'uso di risorse naturali e di combustibili fossili. Secondo alla cippatura vi è il carico, anch'esso impattante per le prime due macro categorie perché consuma energia elettrica per caricare il cippato, consumo derivante da combustibile fossile che mette sostanze dannose nell'ambiente, dannose per la salute umana e per l'ecosistema.

Infine si nota come la fase di trasporto e trasporto ceneri e in misura minore l'esbosco

sono le più impattanti per la categoria Risorse, in quanto l'esbosco comporta una riduzione delle risorse naturali e il trasporto emette una grossa quantità di CO<sub>2</sub> nell'ambiente utilizzando combustibili fossili (risorsa).



Analizzando 1 p assemblaggio 'Assemblaggio Castel d'Aiano Fen'; Metodo: Eco-indicator 99 (H) V2.1 / Europe EI 99 H/H / valutazione dei danni

**Contributo, espresso in percentuale, delle varie fasi per 4.500 quintali di cippato alla definizione del punteggio complessivo relativo alle tre macro categorie di impatto, con il metodo degli *Eco-indicator 99*.**

Si può notare che per la macro categoria Risorse il trasporto del cippato all'impianto incide maggiormente del trasporto ceneri, nonostante il trasporto delle ceneri avvenga con un mezzo sicuramente più , per sue peculiari caratteristiche, del camion impiegato per il trasporto del cippato e la distanza sia notevolmente maggiore. Tale risultato può essere giustificato dal fatto che innanzitutto il trasporto ceneri viene effettuato solo 2 volte all'anno, in quanto il camion ha una portata maggiore e occorrono così un numero di viaggi minore all'anno, dato anche dal fatto che la quantità di ceneri da trasportare all'anno risulta assai minore (450.000 kg di cippato, contro i 13.500 kg di ceneri all'anno); in questo modo, essendo il cippato in maggiore quantità da trasportare e avendo il camion una capacità di carico minore, dovrà essere trasportato un numero di volte assai maggiore e così il numero dei km percorsi in totale in un anno risulterà sicuramente maggiore, anche se la distanza singola è nettamente più breve.

SimaPro 6.0	Data:	04/11/2010	Periodo:	19.52.51								
Titolo: Analizzando 1 p assemblaggio 'Assemblaggio Castel d'Aiano Fen'												
Metodo: Eco-indicator 99 (H) V2.1 / Europe EI 99 H/H												
Valore: Valutazione dei danni												
Categoria \ Unità	Totale	TAGLIO F	ESBOSCO	CIPPATURA	TRASPORTO	CARICO	OUTPUT ELI	OUTPUT TI	DISPERSI	TRASPORTO CEN	SMALTIMENTO IN DISC	
Human He DALY	0,0148	0,000232	4,94E-08	0,0115	0,000000306	0,00297	0,00000184	2,95E-05	9,39E-07	0,000000138	0,0000146	
Ecosystem PDF*m2yr	646	28,3	0,00209	439	0,0181	177	0,0431	0,69	0,022	0,00803	0,555	
Resources MJ surplus	0,645 x		0,0522 x		0,402 x	x		1,12E-16 x		0,191 x		

### Risultati dell'analisi del Ciclo di Vita di 4.500 q di cippato con il metodo Eco-Indicator99 per le tre macro categorie d'impatto

Nel diagramma sottostante invece (il network) è riportato il contributo delle singole fasi alla definizione del punteggio totale dell'impatto, ottenuto con il metodo degli *Eco-indicator 99* considerando tutti i fattori d'impatto.

Nel diagramma viene evidenziato che la fase a maggior impatto ambientale risulta la cippatura : tale fase è rappresentata infatti con una freccia rossa di maggiore spessore.

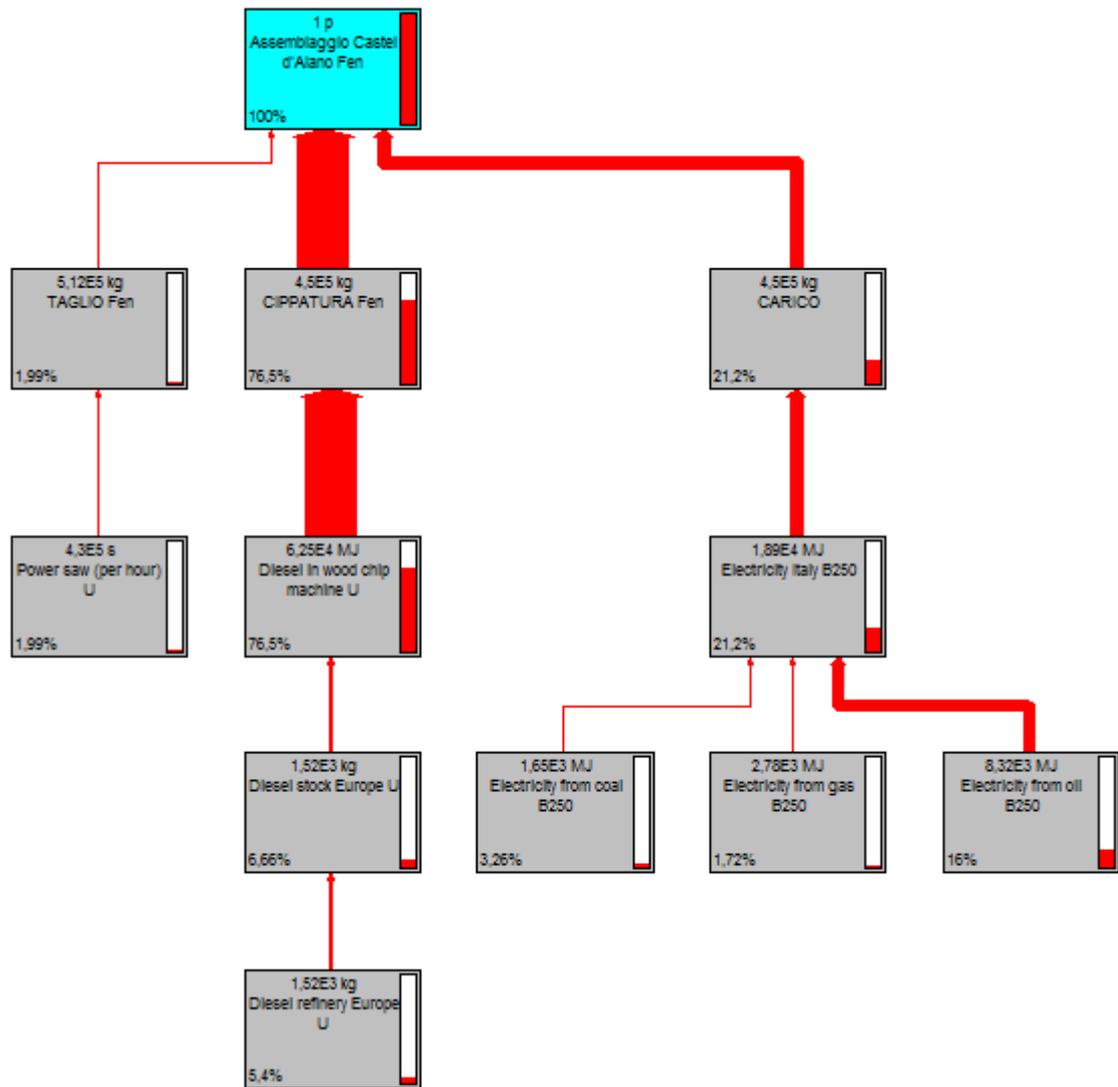
Successivamente alla cippatura, distanziata, abbiamo il carico e poi il taglio come fasi a maggiore impatto.

Ovviamente scendendo nel dettaglio di tale diagramma saranno rappresentate tutte le altre fasi che appariranno in ordine di impatto ambientale (più si scende nel dettaglio e più compariranno anche tutti gli input che concorrono in ogni fase).

Le fasi che risultano da tale network sono le più impattanti dal punto di vista globale, considerando cioè tutti i fattori d'impatto e non singolarmente uno ad uno.

Quindi si evince, facendo un bilancio ambientale complessivo, che la fase a maggiore impatto risulta essere la cippatura; tale risultato è in linea con i risultati riportati nella letteratura e ciò è dovuto principalmente al fatto che la cippatrice consuma molta energia, per la quale occorre di conseguenza un elevato consumo di combustibile diesel dalla presa di potenza del trattore ed emette quindi in atmosfera sostanza dannosa.

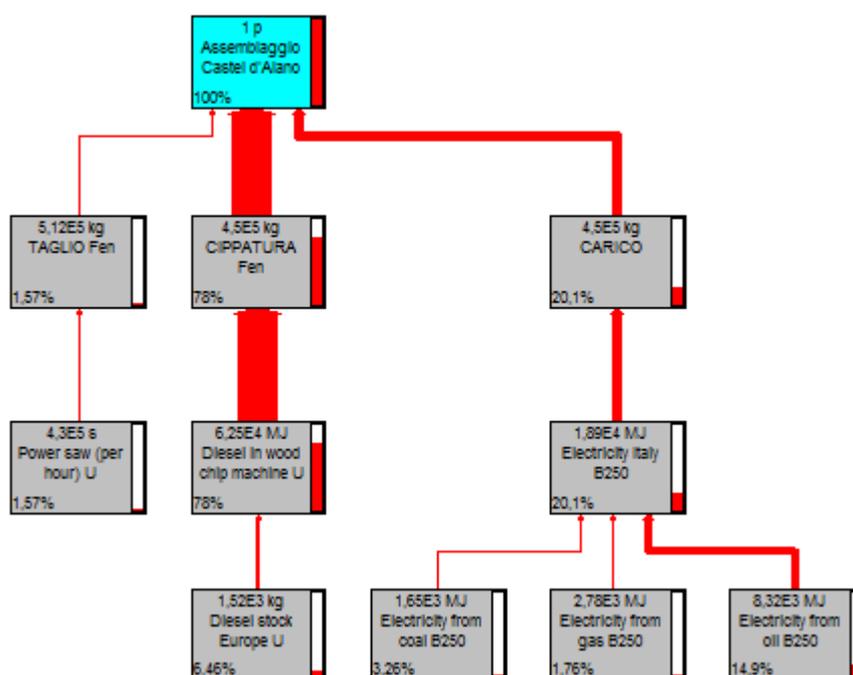
E' dunque evidente che in proporzione, in confronto anche alla cippatura, il trasporto impatta globalmente in misura minore di quest'ultima; anche questo risultato è plausibile in quanto sono stati compiuti studi dai quali risulta che una distanza di 100 km o inferiore, come è nel caso in oggetto, risulta pressoché irrilevante ai fini dell'impatto ambientale del trasporto.



Si può notare come le fasi a maggiore impatto siano : in primis la cippatura con un 76,5% (utilizzo di una cippatrice che consumo molta energia derivante dall'utilizzo di combustibile fossile), a seguire la fase di carico del cippato con un 21,2% di incidenza; questo impatto del carico deriva dal fatto che tale fase utilizza un consumo di elettricità che, seppure minima (si tratta di 5.000 kWh all'anno), rispetto alle altre fasi risulta però impattante dal punto di vista ambientale, trattandosi di elettricità prodotta da combustibili fossili (l'impianto non prevede un autoconsumo per l'energia elettrica che utilizza l'impianto, ma occorre comunque sempre un assorbimento esterno di energia per il funzionamento).

Successivamente vi è il taglio con un 1,99% di incidenza; tale fase risulta con un impatto minore del carico in quanto i minuti di utilizzo della motosega sono molto ridotti e il numero di alberi abbattuti non è eccessivamente elevato, trattandosi di impianti di piccola taglia.

Possiamo anche studiare il network nelle 3 macro categorie e vedere l'incidenza delle diverse fasi più impattanti in ciascuna delle tre.

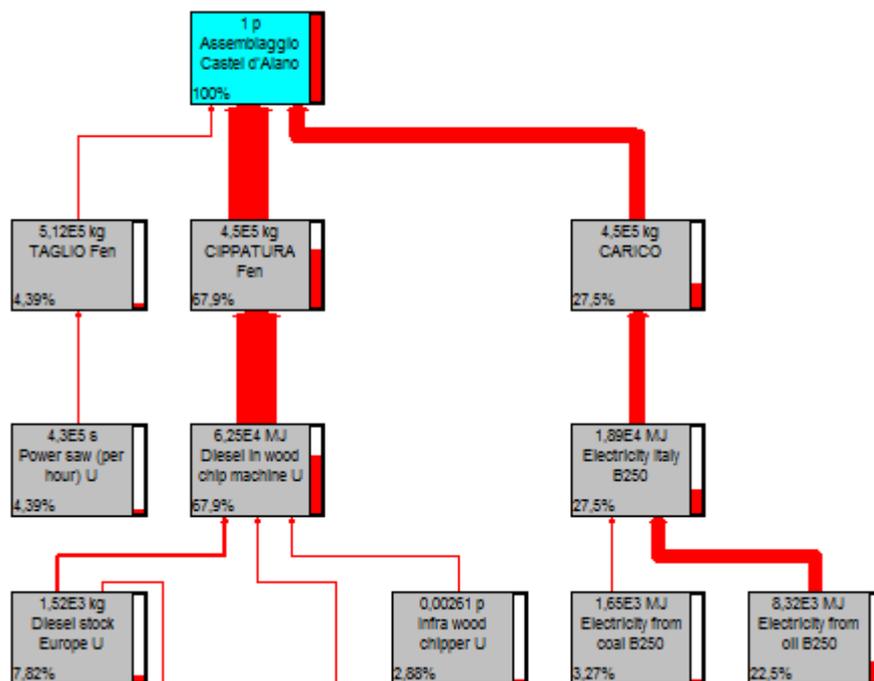


**Network relativo alla macrocategoria Salute umana (Human Health)**

Dall'analisi di questa network vediamo ciò che è stato riscontrato precedentemente (percentuali simili), cioè sulla salute umana impatta per prima la cippatura con un 78%, a seguire il carico con un 20% e infine il taglio con un 1,57% (la fase maggiormente impattante è sempre appunto la cippatura che va a incidere sulle sostanze emesse in atmosfera dannose per la salute umana).

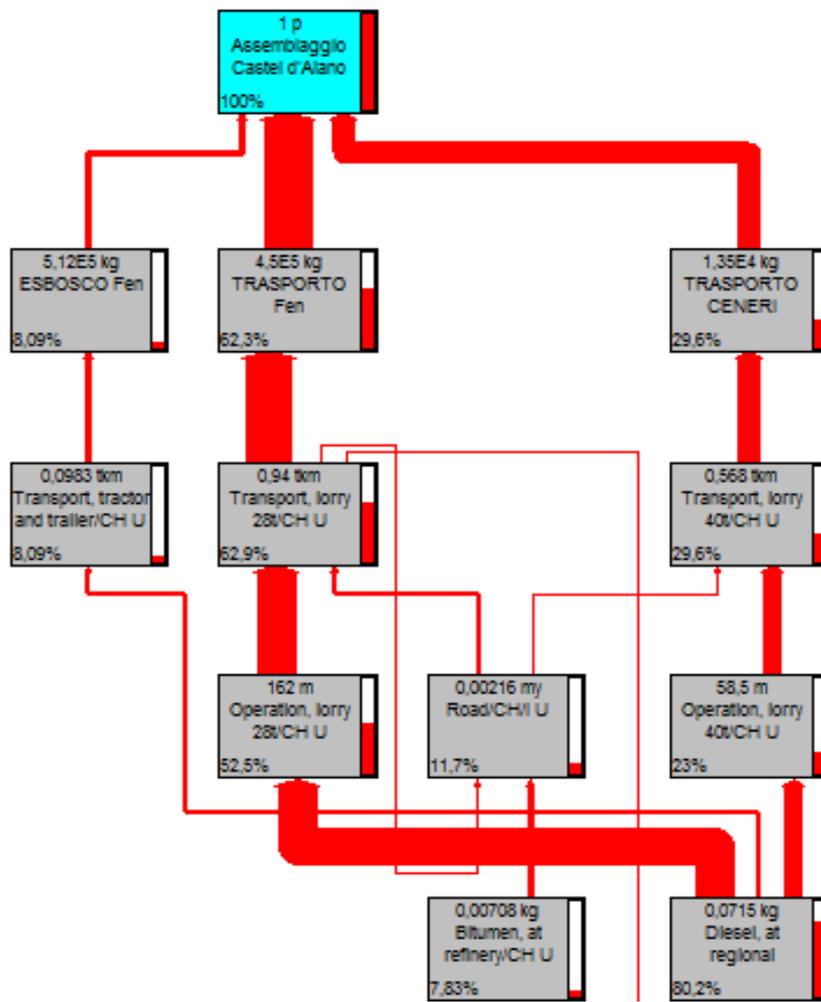
Stesse conclusioni si possono trarre per il network di seguito, relativo alla macro categoria Ecosistema (Ecosystem Quality), la cippatura in primis a seguire il carico e infine il taglio.

Anche qui la fase a maggiore impatto è cippatura, in quanto va a incidere sulle sostanze emesse in atmosfera dannose per l'ecosistema ambientale del pianeta



**Network relativo alla macro categoria Ecosystem Quality**

Per il network della macro categoria Risorse (Resources) si evidenziano i risultati esposti precedentemente, cioè l'impatto maggiore deriva dal trasporto del cippato con un 62,3% di incidenza, a seguire il trasporto delle ceneri con un 29,6% di incidenza e infine l'esbosco in misura minore con una percentuale del 8,09%. Questo perché appunto il cippato da trasportare è in quantità maggiore delle ceneri da trasportare e il camino dedicato al cippato è più piccolo, ciò comporta un numero di viaggi assai maggiore all'anno, nonostante i km a viaggio siano nettamente inferiori.



Network relativo alla macro categoria Resources

### 5.2.3. Risultati con metodo Edip/Umip96

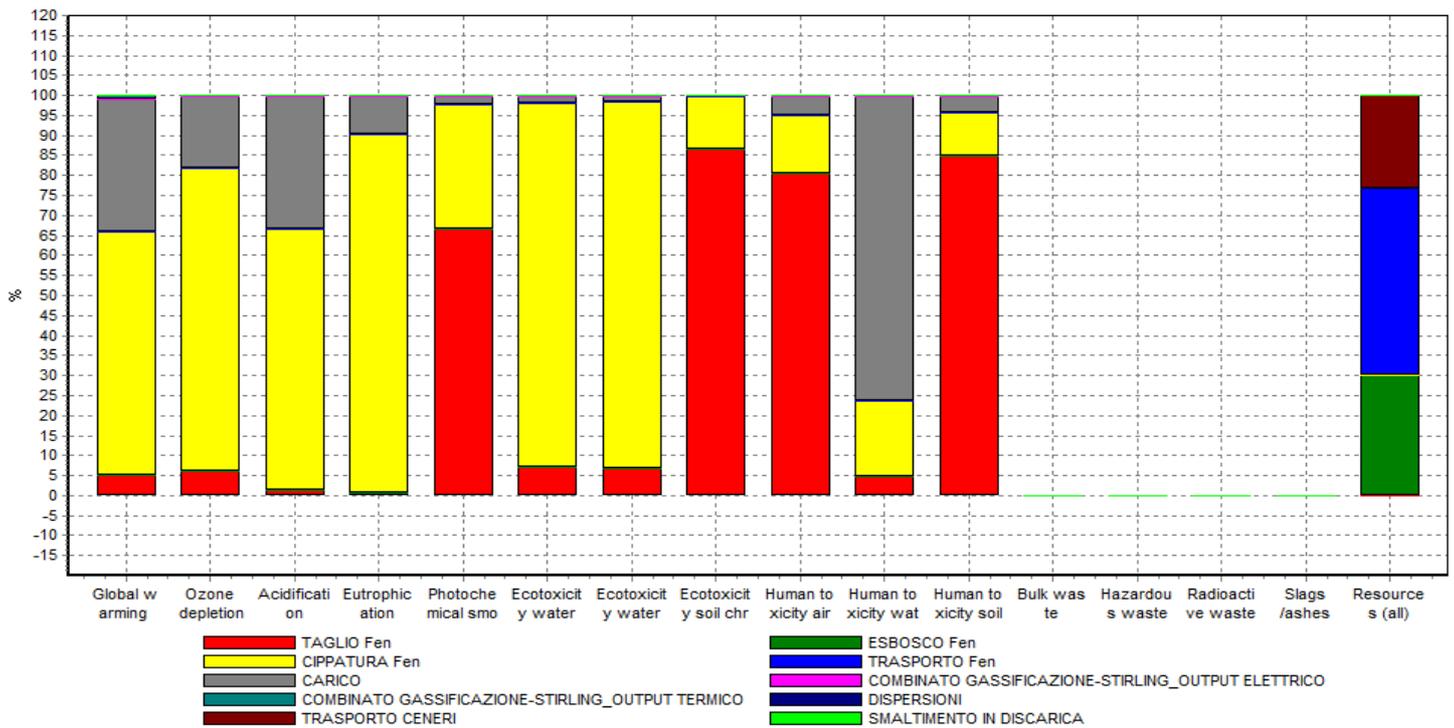
SimaPro 6.0	Data:	04/11/2011	Periodo:	20.05.26									
Titolo:	Analizzando 1 p assemblaggio 'Assemblaggio Castel d'Aiano Fen'												
Metodo:	EDIP/UMIP 96 V2.1 / EDIP World/Dk												
Valore:	Caratterizzazione												
Categoria	Unità	Totale	TAGLIO F	ESBOSCO	CIPPATURA	TRASPORTO	CARICO	OUTPUT EL	OUTPUT TI	DISPERS	TRASPORTO CEN	SMALTIMENTO IN DISC.	
Global war	g CO2	9930000	505000	28,1	6030000	198	3290000	5750	92100	2940	92,1	7680	
Ozone dep	g CFC11	5,99	0,365	2,14E-07	4,54	0,000000422	1,07	0,000392	0,00627	0,0002	0,000000206	0,00582	
Acidificati	g SO2	86500	1200	0,0657	56400	1,38	28700	6,59	105	3,36	0,619	71,4	
Eutrophica	g NO3	105000	804	0,0301	93600	2,27	10100	6,64	106	3,39	0,998	120	
Photochem	g ethene	4250	2840	0,00738	1310	0,0217	84,2	0,811	13	0,414	0,0104	1,47	
Ecotoxicity	m3	5730000	409000	15,7	5200000	29,8	102000	293	4680	149	16,1	6650	
Ecotoxicity	m3	567000	38700	0,422	518000	0,94	9100	28,8	461	14,7	0,497	663	
Ecotoxicity	m3	51200	44300	0,000758	6780	0,0145	56,4	2,96	47,3	1,51	0,00543	7,7	
Human tox	m3	7,84E+09	6,31E+09	2290	1140000000	46400	3,79E+08	612000	9800000	312000	18100	1410000	
Human tox	m3	30500	1380	4,87	5800	8,99	23200	5,89	94,2	3	4,91	6,66	
Human tox	m3	4490	3810	0,000952	492	0,0413	185	0,503	8,05	0,257	0,0146	0,524	
Bulk waste	kg	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Hazardous	kg	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Radioactiv	kg	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Slags/ash	kg	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Resources	kg	4,18E-05	x	0,0000126	x	0,0000195	x	x	7,14E-21	x	0,0000097	x	

#### Risultati dell'analisi del ciclo di vita di 4.500 quintali di cippato con il metodo EDIP/UMIP96.

- Il *Global warming (GWP 100)* rappresenta il contributo di ciascuna fase della filiera all'incremento della temperatura media terrestre conseguente all'effetto serra ed è espresso in grammi di anidride carbonica emessa. Esso risulta particolarmente influenzato dalla fase di cippatura, con 6.030.000 g CO<sub>2</sub>, seguita dalla fase di carico con 3.290.000 g CO<sub>2</sub>, successivamente vi è il taglio con 505.000 d CO<sub>2</sub>.
- L'*Ozone depletion* indica il contributo di ciascuna fase della filiera al deperimento dello strato di ozono stratosferico, ed è valutato in riferimento ai grammi di CFC11 emessi. La fase in cui si riscontra la maggiore emissione di tali sostanze è sempre quella di cippatura (4,54 g CFC11), seguita dal taglio (0,365 g CFC11).
- L'*Acidification*, espressa in grammi di SO<sub>2</sub>, definisce il contributo di ciascuna fase della filiera all'emissione di solfati, responsabili, tra l'altro, delle piogge acide. Essa risulta influenzata soprattutto dalla fase di cippatura (56.400 g SO<sub>2</sub>), seguita dalla fase di carico (28.700 g SO<sub>2</sub>) e infine il taglio (1.200 g di SO<sub>2</sub>).
- L'*Eutrophication* esprime il contributo di ciascuna fase della filiera all'incremento di nutrienti nelle acque, e viene calcolata in riferimento ai grammi di NO<sub>3</sub>. Essa è influenzata principalmente dalla fase di cippatura con 93.600 g NO<sub>3</sub>, seguito da carico (101.000 g NO<sub>3</sub>) e infine taglio (804 g NO<sub>3</sub>).

- Il *Photochemical smog* è espresso in grammi di etene. Ad esso contribuisce principalmente la fase di taglio, con 2.840 g, seguita dalla fase di cippatura, con 1.310 g.
- L'*Ecotoxicity water chronic* è espressa in m<sup>3</sup>, ed è influenzata dalla fase di cippatura con 5.200.000 m<sup>3</sup>, seguita dalla fase di taglio con 409.000 m<sup>3</sup> e infine il carico (102.000 m<sup>3</sup>).
- L'*Ecotoxicity water acute* è espressa in m<sup>3</sup>, ed è influenzata nell'ordine, dalla fase di cippatura con 518.000 m<sup>3</sup>, seguita dalla fase di taglio con 38.700 m<sup>3</sup> e infine il carico (9.100 m<sup>3</sup>).
- L'*Ecotoxicity soil chronic* è espresso in m<sup>3</sup>, è influenzato dalla fase di taglio, con 44.300 m<sup>3</sup>, seguita dalla fase di cippatura con 6.780 m<sup>3</sup>.
- All'*Human toxicity air*, calcolata in m<sup>3</sup>, contribuiscono il taglio, con 6,31×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>, seguito dalla fase di carico con 3,79 x 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, infine la cippatura con 1.140.000.000 m<sup>3</sup>.
- All'*Human toxicity water*, calcolata in m<sup>3</sup>, contribuiscono il carico con 23.800 m<sup>3</sup>, segue la cippatura con 5.800 m<sup>3</sup>, infine il taglio con 1.380 m<sup>3</sup>.
- All'*Human toxicity soil*, calcolato in m<sup>3</sup>, contribuisce maggiormente la cippatura, con 3.800 m<sup>3</sup> seguita dalla cippatura con 492 m<sup>3</sup>.
- *Resources (all)*, espresso in kg, è influenzato principalmente dalla fase di trasporto (0,0000195 kg), seguita dalla fase di esbosco (0,0000126 kg) e infine dal trasporto ceneri (0,0000097 kg).

Il seguente grafico rappresenta i risultati ottenuti con il metodo EDIP/UMIP 96 relativamente all'analisi del ciclo di vita della produzione di 4.500 quintali di cippato. In particolare, ad ogni categoria di impatto è associato il contributo di ciascuna fase della filiera, espresso in percentuale.



Analizzando 1 p assemblaggio 'Assemblaggio Castel d'Aiano Fen'; Metodo: EDIP/UMIP 96 V2.1 / EDIP World/Dk / Caratterizzazione

**Contributo, espresso in percentuale, delle varie fasi della filiera di cippato alla definizione del punteggio delle singole categorie di impatto con il metodo EDIP/UMIP 96.**

Dall'analisi del grafico è possibile evincere come le categorie di impatto: *Global warming (GWP 100)*, *Ozone depletion*, *Acidification*, *Eutrophication*, *Ecotoxicity water chronic*, *Ecotoxicity water acute* siano influenzate principalmente dalla fase di cippatura.

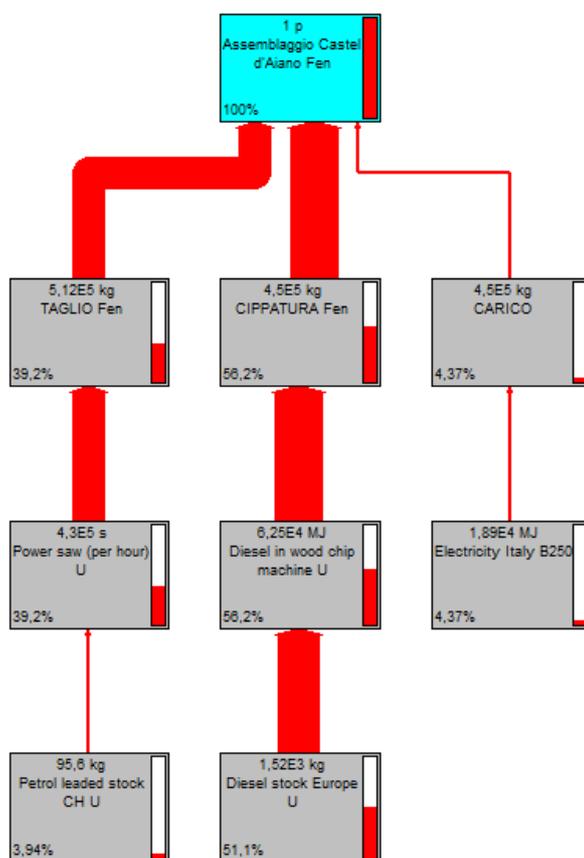
Alla definizione del punteggio delle categorie *Photochemical smog*, *Ecotoxicity soil chronic*, *Human toxicity air*, *Human toxicity soil* invece, concorre principalmente la fase di taglio.

Per la categoria *Resources (all)* invece le categorie che generano maggiore impatto solo la fase di esbosco, trasporto e trasporto ceneri.

Nel diagramma sottostante (network) è riportato il contributo delle singole fasi alla definizione del punteggio totale dell'impatto, ottenuto con il metodo *Edip/U mip96* considerando tutti i fattori d'impatto.

Nel diagramma viene evidenziato che la fase a maggior impatto ambientale risulta la cippatura : tale fase è rappresentata infatti con una freccia rossa di maggiore spessore (56,2%); a seguire vi è il taglio (39,2%) a maggiore impatto globale, considerando nel suo insieme tutti gli indicatori di impatto e infine il carico (4,37%).

Come evidenziato, con tale metodo, nel network generale di tutti gli indicatori d'impatto il taglio risulta molto impattante, mentre con il metodo eco-indicator il carico risultava più impattante del taglio nel network generale.

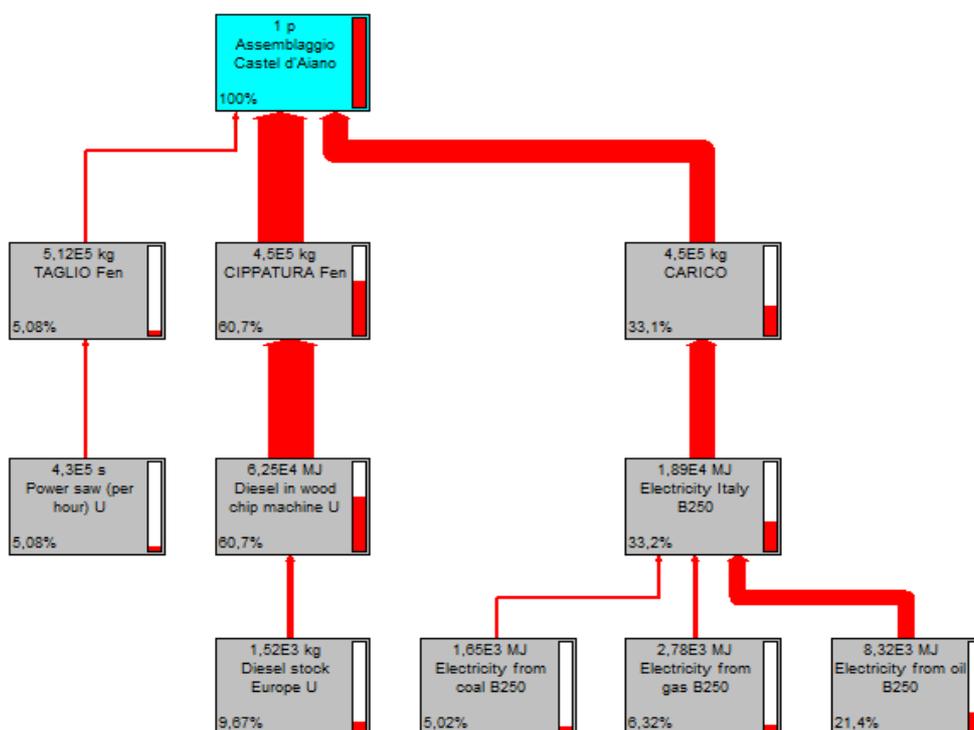


Dal network si evince che in questo caso, quindi, anche il taglio ha una grossa influenza (mentre con gli eco-indicator il taglio risultava molto inferiore alla cippatura e secondo ad essa vi era il carico). Ma d'altronde questo è un metodo diverso che usa indicatori d'impatto diverso e per tali indicatori la fase di taglio risulta più impattante del carico. Ciò deriva dal fatto che nel metodo Edip/Umip96 si usano molti indicatori legati all'ecosistema , al consumo di risorse e all'impatto che ha il prelievo di risorse dal territorio (inquinamento acqua, aria, suolo, tossicità umana per acqua, aria suolo).

Si possono quindi trarre le medesime conclusioni : le fasi che risultano dal network sono le più impattanti dal punto di vista globale, considerando cioè tutti i fattori d'impatto e non singolarmente uno ad uno.

Quindi si evince, facendo un bilancio ambientale complessivo, che la fase a maggiore impatto risulta essere la cippatura, in quanto la cippatrice consuma molta energia, per la quale occorre di conseguenza un elevato consumo di combustibile diesel dalla presa di potenza del trattore e che quindi emette in atmosfera sostanze dannose.

Quindi, in confronto alla cippatura il trasporto impatta in misura minore di quest'ultima, in quanto il trasporto è contenuto nell'arco di 100 km, distanza per cui l'impatto del trasporto non è estremamente rilevante.



### Network relativo all'indicatore Global Warming

Analizzando il network del solo indicatore Global Warming invece possiamo notare come la fase a maggiore impatto sia la cippatura (60,7%) ma a seguire vi è la fase di carico (33,1%) e non il taglio; il risultato è da aspettarselo, in quanto il carico consuma abbastanza energia che deriva da un uso di combustibili fossili che immettono in atmosfera sostanze dannose e CO<sub>2</sub>, che influisce al riscaldamento globale del pianeta.

Se avessimo osservato il grafico relativo all'indicatore Resources sarebbe ovviamente risultato il maggiore impatto ambientale dato dal trasporto, a seguire l'esbosco per l'abbattimento di risorse naturali come gli alberi e infine il trasporto ceneri, anche qui in misura minore per le conclusioni che sono state tratte anche per gli Eco- Indicator99.

### **5.3. ANALISI LCA\_APPROVVIGIONAMENTO ORLANDINI**

Gli obiettivi e lo scopo dell'analisi risultano le medesime dell'approvvigionamento La Fenice.

#### **5.3.1. Le diverse fasi**

La macrofasi sono le stesse del precedente approvvigionamento; per quanto riguarda la macrofase approvvigionamento cambieranno i valori da inserire nell'LCA; per le macrofasi processo produttivo e smaltimento ceneri i valori risulteranno gli stessi, in quanto ciò che cambia è solamente l'approvvigionamento ora effettuato a Pistoia dall'azienda Orlandini.

Orlandi si trova a una distanza di 66,1 km dall'impianto.

Le macrofasi, quindi, risultano le stesse dell'approvvigionamento La Fenice, così come le flow chart delle diverse macrofasi.

In particolare le macrofasi 2 (processo produttivo) e 3 (smaltimento ceneri) sono identiche in quanto l'impianto è il medesimo, ciò che cambia è solo a livello di valori è la macrofase 1 di approvvigionamento pur le fasi risultando le stesse. Anche per quanto riguarda le voci nel database sono state utilizzate le stesse, cambiano solo pertanto i valori numerici inseriti.

#### **MACROFASE 1 : APPROVVIGIONAMENTO\_4.500 q di cippato all'anno**

##### **FASE 1\_TAGLIO**

Si utilizzano i seguenti tipi di alberi: robinia e pioppo; non si tratta di colture dedicate, ma di bosco spontaneo, che non viene pertanto irrigato e fertilizzato.

In questo caso i boschi sono diversi e sono situati ad una distanza dall'azienda nel raggio di circa 15 km (maggiore trasporto con trattore).

In questo caso però l'azienda oltre al taglio di alberi, per produrre il cippato necessario all'impianto, si avvale anche di un 30% derivante da scarti di lavorazione di paleria per il castagno. 30% derivante da scarti, e pertanto per tale percentuale non sono abbattuti alberi ma si utilizzano scarti prodotti da precedenti tagli che nel nostro sistema non considereremo (il confine del sistema considera che sono già disponibili tali scarti e non ci occuperemo di come sono stati ottenuti, da che lavorazioni, attività, attrezzature ecc).

Si parte quindi dal dato calcolato precedentemente (trattandosi degli stessi tipi di albero) che risultava essere di 0,014 minuti (ore utilizzo motosega all'anno per produrre i 4.500 q di cippato).

$0,014 - 30\% = 0,0098$  minuti necessari per realizzare il taglio di alberi del 70% del totale (il 30% non sono alberi abbattuti, per cui non è quindi necessario utilizzare la motosega).

Inoltre l'azienda in questione utilizza sia la motosega che la teleferica o gru a cavo; tale ultimo strumento permette di estirpare per intero la pianta senza bisogno prima di segarla (di solito si sega l'albero e poi lo si trascina fuori dalla zona di abbattimento, con verricello attaccato al trattore).

Si ipotizza un utilizzo del 50% della motosega e un 50% utilizzo della gru a cavo, senza quindi necessità di utilizzo della motosega per il 50% degli alberi abbattuti

Considerando che solo per metà del tempo viene utilizzata la motosega, è necessario dividere il valore totale dei minuti della motosega per due. Utilizzando la gru a cavo per il 50% i tempi della motosega non influiscono.

$0,0098 / 2 = \mathbf{0,0049}$  minuti di utilizzo motosega

#### TOTALI

In questo caso risultano modificati anche i totali per Taglio ed Esbosco, in quanto il 30% deriva da scarti di altre lavorazioni e quindi non costituisce il totale da cui derivano i 4.500 q di cippato annuali.

$512.200 - 30\% = 358.540$  kg totali di albero per ottenere il cippato

$358.540 + 153.660$  kg derivanti da scarto di lavorazioni precedenti

Il valore totale nella fase di assemblaggio da inserire è perciò 358.540 kg di alberi per la fase di taglio ed esbosco (non più 512.000 kg).

### **FASE 2\_ESBOSCO**

Il verricello e la gru a cavo le troviamo nel database sotto la stessa voce : **Tractor and Trailer**

Il metodo con verricello è identico al precedente anche per caratteristiche trattore e suoi strumenti.

Il raggio medio di km in cui sono situati i boschi da cui si prelevano gli alberi è 15 km, consideriamo quindi una media di 7,5 km di distanza.

Vi sono inoltre anche i km dalla zona di abbattimento (in cui vi si arriva col trattore) all'imposto in cui avviene la cippatura che risulta pari a circa 200 metri.

$7,5 + 0,2 = 7,7$  km percorsi per l'esbosco

$7,7 * 1,7 = 13,09$  km totali (km totali compiuti da un carico di alberi sul trattore)

Capacità di carico del trattore risulta pari a 10 t equivalenti a 10.000 kg
---

$13,09 / 10.000 = 0,00131$  **kgkm** (km per trasportare 1 kg di alberi)

### **FASE 3\_CIPPATURA**

La cippatrice ha una capacità di 20 q/ora di cippato, con consumo medio di combustibile di 5-8 litri di gasolio/ora

Il numero da inserire risulta lo stesso del caso precedente in quanto le caratteristiche della cippatrice sono le medesime.

Risulta pertanto : **0,0386 kWh**

## FASE 4\_TRASPORTO

Il trasporto è realizzato con un autotreno con capacità pari a 200-220 q di cippato.

Il trasporto parte da Pistoia carico di cippato e giunge a Castel d'Aiano per un totale di 60,8 km a pieno carico percorsi (e il ritorno è a vuoto).

220 q/viaggio = 22.000 kg/viaggio

$60,8 * 1,7 = 103,36$  km totali percorsi tra carichi e scarichi

$103,36 / 22.000 = 0,0047$  kgkm

### 5.3.2. Risultati con metodo Eco-Indicator99

Completato l'inventario delle emissioni e dei consumi di risorse imputabili all'impianto di produzione cogenerativa di Castel d'Aiano con approvvigionamento azienda Orlandini, è possibile, attraverso modelli predisposti all'interno del software SimaPro 6.0, giungere anche qui alla valutazione dell'entità con cui ogni singola fase contribuisce al punteggio relativo alle varie categorie di danno considerate nel metodo Eco-Indicator99.

Dall'analisi della tabella sottostante si può risalire all'entità del danno con cui ciascuna fase contribuisce alla definizione del punteggio totale.

SimaPro 6.0		Data:	08/11/2011(Periodo: 10.21.07										
Titolo:		Analizzando 1 p assemblaggio 'Assemblaggio Castel d'Aiano_Orl'											
Metodo:		Eco-indicator 99 (H) V2.1 / Europe EI 99 H/A											
Valore:		Valutazione dei danni											
Categoria di	Unità	Totale	TAGLIO O	ESBOSCO	CIPPATURA	TRASPORTO	CARICO	OUTPUT ELI	OUTPUT TI	DISPERS	TRASPORTO CENI	SMALTIMENTO IN DISC	
Carcinogens	DALY	0,000258	1,25E-06	3,84E-08	0,0000788	2,33E-08	0,000178	2,28E-08	3,66E-07	1,17E-08	6,25E-09	8,27E-08	
Resp. organ	DALY	4,63E-05	9,12E-06	2,02E-11	0,0000304	4,8E-10	6,76E-06	4,23E-09	6,76E-08	2,16E-09	1,29E-10	3,84E-08	
Resp. inorga	DALY	0,0123	2,59E-05	1,7E-07	0,0102	0,000000419	0,0021	6,29E-07	1,01E-05	3,21E-07	0,000000112	0,0000129	
Climate cha	DALY	0,00196	2,04E-05	2,79E-08	0,00124	7,15E-08	0,000682	0,00000118	1,89E-05	6,03E-07	1,92E-08	0,00000158	
Radiation	DALY	1,09E-06	1,86E-08	3,24E-14	0,00000102	3,39E-14	-4,4E-23	2,8E-09	4,48E-08	1,43E-09	9,09E-15	1,07E-09	
Ozone layer	DALY	1,03E-05	1,61E-07	1,07E-12	0,00000082	8,08E-13	1,93E-06	6,2E-10	9,92E-09	3,16E-10	2,17E-13	1,05E-08	
Ecotoxicity	PDF*m2yr	163	6,01	0,000777	43,1	0,00885	113	0,013	0,207	0,00661	0,00237	0,0515	
Acidification	PDF*m2yr	462	0,937	0,000839	396	0,0161	64,1	0,0302	0,483	0,0154	0,0043	0,504	
Land use	PDF*m2yr	0,0148 x		0,00835 x		0,00506	3,13E-19 x		x	x	0,00136 x		
Minerals	MJ surplus	0,0315 x		0,0222 x		0,00738	1,05E-18 x		x	x	0,00198 x		
Fossil fuels	MJ surplus	1,12 x		0,227 x		0,704	-1,2E-17 x		x	x	0,189 x		

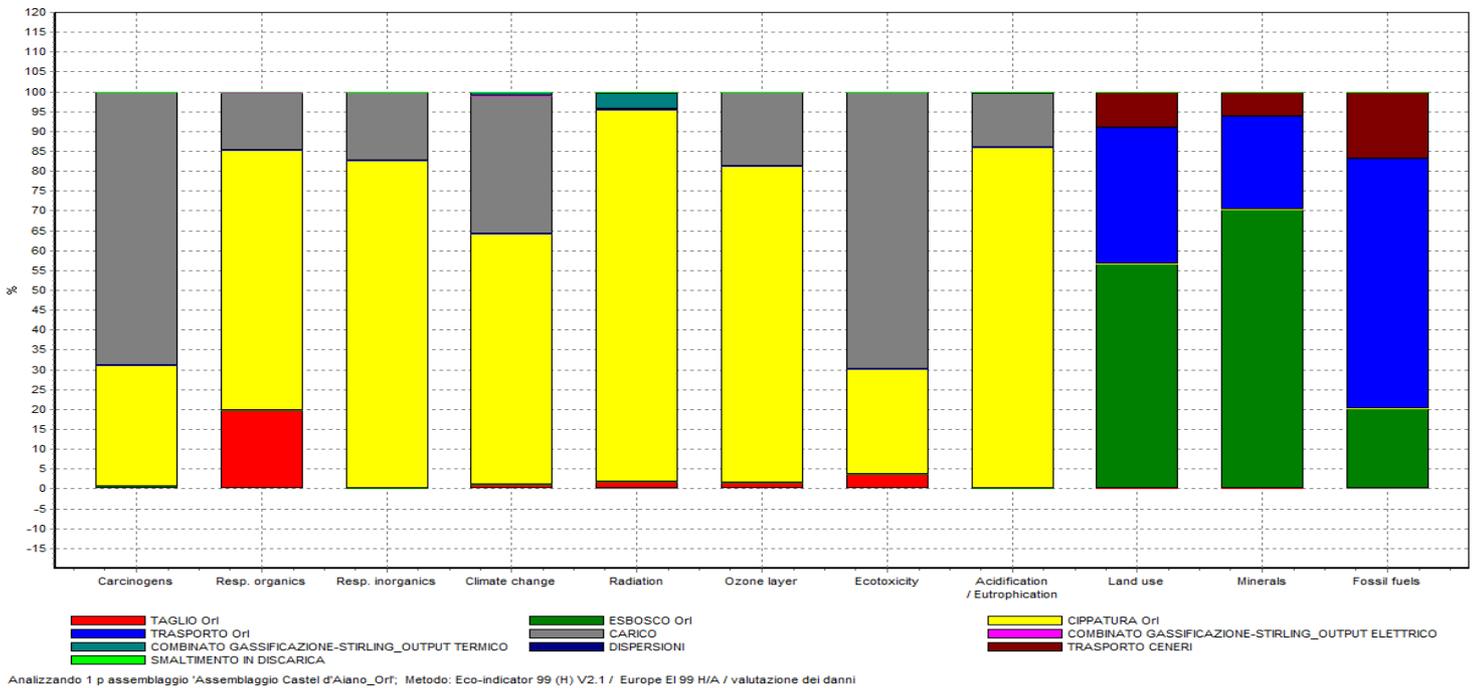
**Risultati dell'analisi del Ciclo di Vita di 4.500 q di cippato con il metodo Eco-Indicator99 per le varie categorie d'impatto**

Dalla tabella si può notare : per le categorie *Respiration Organics, Respiration Inorganics, Climate Change, Ozone Layer, Radiation, Acidificatio/Eutrophication* la fase che contribuisce maggiormente al relativo punteggio è la cippatura, mentre per la categoria *Carcinogens, Ecotoxicity* la fase maggiormente impattante risulta il carico. Per la categoria *Land Use e Minerals* la fase maggiormente impattante è l'esbosco; per la categoria *Fossil fuels* la fase maggior mente impattante è il trasporto trasporto del cippato all'impianto.

Il Grafico sottostante (istogramma) esprime in percentuale il contributo che le varie fasi portano alla definizione del punteggio complessivo, relativo alle differenti categorie di impatto. In pratica visualizza graficamente e quindi in maniera immediata quanto appena detto osservando la tabella precedente.

Si nota subito infatti che la fase maggiormente impattante risulta la Cippatura (gialla), a seguire il carico e il taglio (rosso) influisce in lieve misura in questo tipo di approvvigionamento (infatti qui il taglio incide in misura minore essendo minori le ore di utilizzo totali della motosega); inoltre viene evidenziato come il trasporto del cippato all'impianto, l'esbosco e il trasporto ceneri siano anch'essi abbastanza impattanti e in particolare impattano molto solo su *Land Use, Minerals e Fossil fuels* e non sulle prime categorie legate alla salute e all'ecosistema. Vediamo poi che l'esbosco incide particolarmente su *Land Use e Minerals*, impatto ancora maggiore del trasporto cippato all'impianto.

La procedura generale di un'analisi del ciclo di vita di un prodotto, condotta mediante il metodo degli *Eco-indicator*, prevede che i diversi tipi di impatto siano raggruppati per categorie e, successivamente, venga calcolato un punteggio globale: è possibile così riferirsi a macrocategorie di impatto, piuttosto che alle singole tipologie di danno riscontrate.

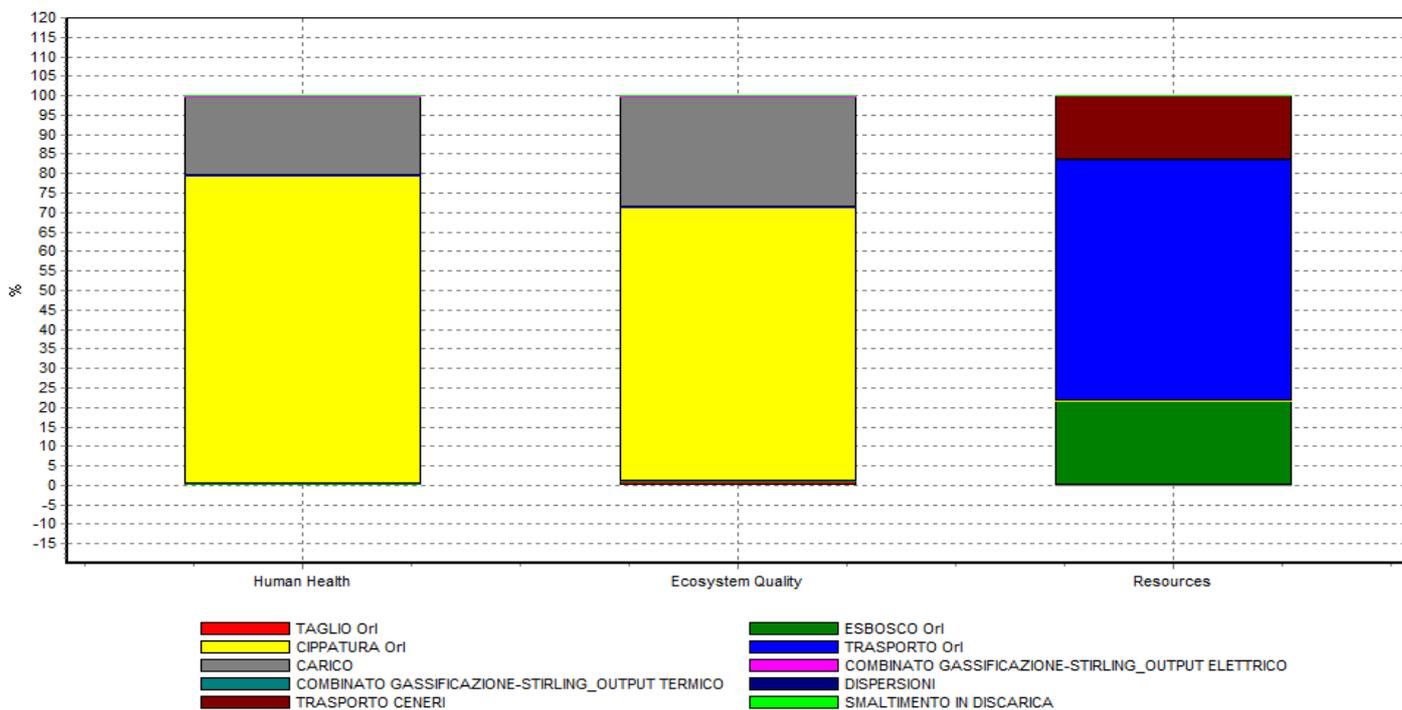


**Contributo, espresso in percentuale, delle varie fasi per 4.500 quintali di cippato alla definizione del punteggio complessivo relativo alle differenti categorie di impatto, con il metodo degli *Eco-indicator 99*.**

Sotto è riportato anche il grafico (istogramma) relativo solo alle 3 macro categorie elencate, per avere un'idea ancora più chiara ed immediata dell'impatto delle diverse fasi a livello più macro.

Si può notare come la fase di cippatura è la più impattante nella macro categoria Salute Umana ed Ecosistema e non compare invece nella categoria Risorse; questo è da imputare al fatto che la cippatura consuma un grosso quantitativo di energia derivante da combustibile fossile (cippatura a diesel) che emette sostanze nell'ambiente dannose per la salute umana sicuramente e per l'ecosistema pianeta. Secondo alla cippatura vi è il carico, anch'esso impattante per le prime due macro categorie perché consuma energia elettrica per caricare il cippato, consumo derivante da combustibile fossile che emette sostanze dannose nell'ambiente, dannose per la salute umana e per l'ecosistema.

Infine si nota come la fase di trasporto, trasporto ceneri e l'esbosco sono le più impattanti per la categoria Risorse, in quanto l'esbosco comporta una riduzione delle risorse naturali e il trasporto emette una grossa quantità di CO<sub>2</sub> nell'ambiente consumando combustibili fossili (risorsa).



Analizzando 1 p assemblaggio 'Assemblaggio Castel d'Aiano\_Orf'; Metodo: Eco-indicator 99 (H) V2.1 / Europe EI 99 H/A / valutazione dei danni

**Contributo, espresso in percentuale, delle varie fasi per 4.500 quintali di cippato alla definizione del punteggio complessivo relativo alle 3 macro categorie di impatto, con il metodo degli *Eco-indicator 99*.**

Si può notare che per la macro categoria Risorse il trasporto del cippato all'impianto incide maggiormente del trasporto ceneri, anche se la distanza è maggiore.

Tale risultato però deriva dal fatto che innanzitutto il trasporto ceneri viene effettuato solo 2 volte all'anno, in quanto il camion ha una portata maggiore e occorrono così un numero di viaggi minore all'anno, dato anche dal fatto che la quantità di ceneri da trasportare all'anno risulta assai minore (450.000 kg di cippato, contro i 13.500 kg di ceneri all'anno); in questo modo, essendo il cippato in maggiore quantità da trasportare dovrà essere trasportato un numero di volte assai maggiore e così il numero dei km percorsi in totale in un anno risulterà sicuramente maggiore, anche se la distanza singola è più breve.

SimaPro 6.0		Data:	08/11/2011	Periodo:	10.19.57							
Titolo:	Analizzando 1 p assemblaggio 'Assemblaggio Castel d'Aiano_Orl'											
Metodo:	Eco-indicator 99 (H) V2.1 / Europe EI 99 H/A											
Valore:	Valutazione dei danni											
Categoria di danno	Unità	Totale	TAGLIO	CESBOSCO	CIPPATURA	TRASPORTO	CARICO	OUTPUT EL	OUTPUT TI	DISPERS	TRASPORTO CEN	SMALTIMENTO IN DISC.
Human Health	DALY	0,0146	5,69E-05	2,36E-07	0,0115	0,000000514	0,00297	0,00000184	2,95E-05	9,39E-07	0,000000138	0,0000146
Ecosystem Quality	PDF*m2yr	624	6,94	0,00997	439	0,03	177	0,0431	0,69	0,022	0,00803	0,555
Resources	MJ surplus	1,15 x		0,249 x		0,712 x	x	x	x	x	0,191 x	

### Risultati dell'analisi del Ciclo di Vita di 4.500 q di cippato con il metodo Eco-Indicator99 per le tre macro categorie d'impatto

Nel diagramma sottostante invece (il network) è riportato il contributo delle singole fasi alla definizione del punteggio totale dell'impatto, ottenuto con il metodo degli *Eco-indicator 99* considerando l'insieme di tutti i fattori d'impatto.

Nel diagramma viene evidenziato che la fase a maggior impatto ambientale risulta la cippatura : tale fase è rappresentata infatti con una freccia rossa di maggiore spessore.

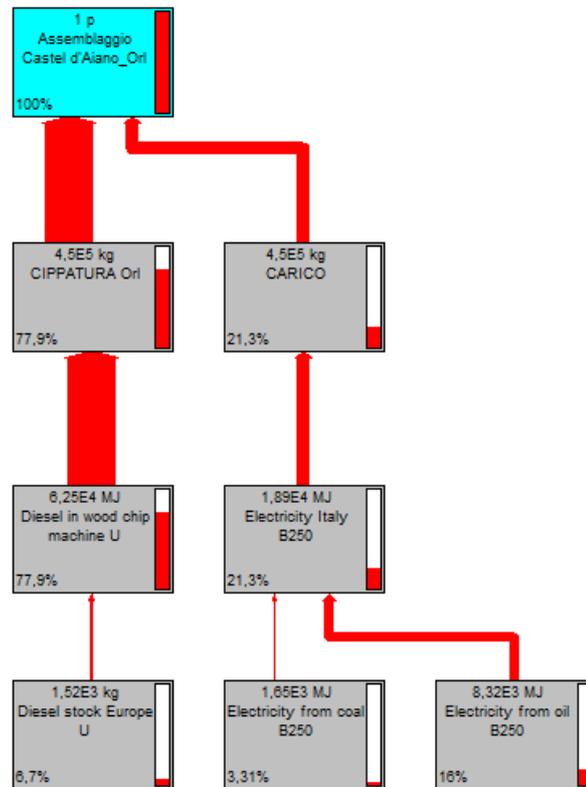
Successivamente alla cippatura vi è il taglio e poi infine il carico come fasi a maggiore impatto.

Ovviamente scendendo nel dettaglio di tale diagramma saranno rappresentate tutte le altre fasi che appariranno in ordine di impatto ambientale (più si scende nel dettaglio e più compariranno anche tutti gli input che concorrono in ogni fase).

Le fasi che risultano da tale network sono le più impattanti dal punto di vista globale, considerando cioè tutti i fattori d'impatto e non singolarmente uno ad uno.

Quindi si evince, facendo un bilancio ambientale complessivo, che la fase a maggiore impatto risulta essere la cippatura, in quanto la cippatrice consuma molta energia, per la quale occorre di conseguenza un elevato consumo di combustibile diesel dalla presa di potenza del trattore ed emette quindi in atmosfera sostanza dannose.

In confronto alla cippatura il trasporto impatta anche in questo approvvigionamento globalmente in misura minore, in quanto il trasporto è contenuto nell'arco di 100 km, distanza per cui l'impatto del trasporto non è estremamente rilevante.



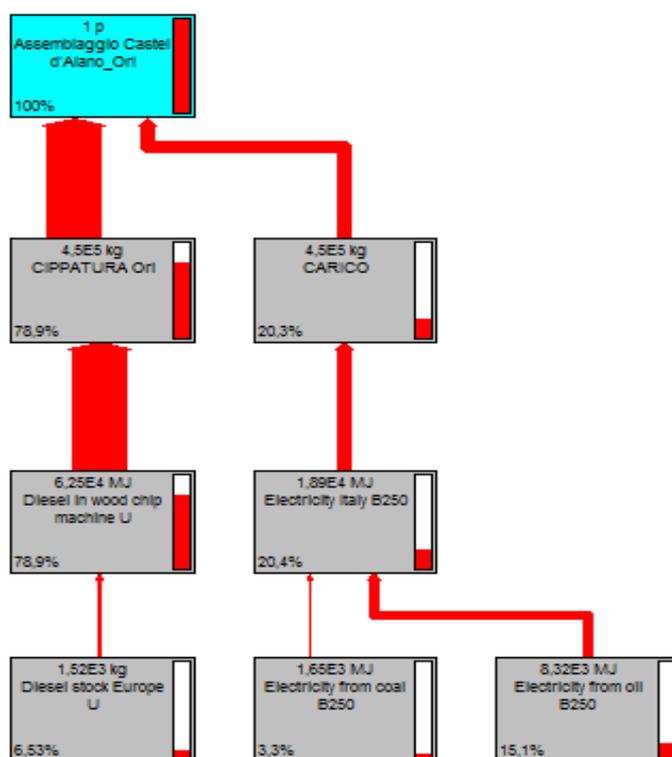
Si può notare come le fasi a maggiore impatto siano : in primis la cippatura con un 77,9% (utilizzo di una cippatrice che consumo molta energia derivante dall'utilizzo di combustibile fossile), a seguire la fase di carico del cippato con un 21,3% di incidenza; questo impatto del carico deriva dal fatto che tale fase utilizza un consumo di elettricità che, seppure minima (si tratta di 5.000 kWh all'anno), rispetto alle altre fasi risulta però impattante dal punto di vista ambientale, trattandosi di elettricità prodotta da combustibili fossili (l'impianto non prevede un autoconsumo per l'energia elettrica che utilizza l'impianto, ma occorre comunque sempre un prelievo esterno di energia per il funzionamento).

Nell'approvvigionamento in questione il taglio non compare a livello globale in quanto i minuti di utilizzo della motosega sono molto ridotti e il numero di alberi abbattuti non è eccessivamente elevato, trattandosi di impianti di piccola taglia. Inoltre in tale approvvigionamento si deve considerare che il numero di alberi abbattuto risulta inferiore del precedente approvvigionamento.

Infatti qui innanzitutto vi è un 30% di cippato che deriva non da abbattimento di alberi ma da utilizzo scarti di paleria di precedenti lavorazioni dell'azienda, inoltre per tagliare gli alberi per un 50% viene utilizzata la gru a cavo che consente l'estirpazione dell'albero intero e quindi non occorre utilizzare la motosega.

Possiamo anche studiare il network nelle 3 macro categorie e vedere l'incidenza delle diverse fasi più impattanti in ciascuna delle tre.

Per Salute Umana e Qualità ecosistema impatta maggiormente la cippatura in primis e a seguire il carico, come evidenziato dai grafici sottostanti.

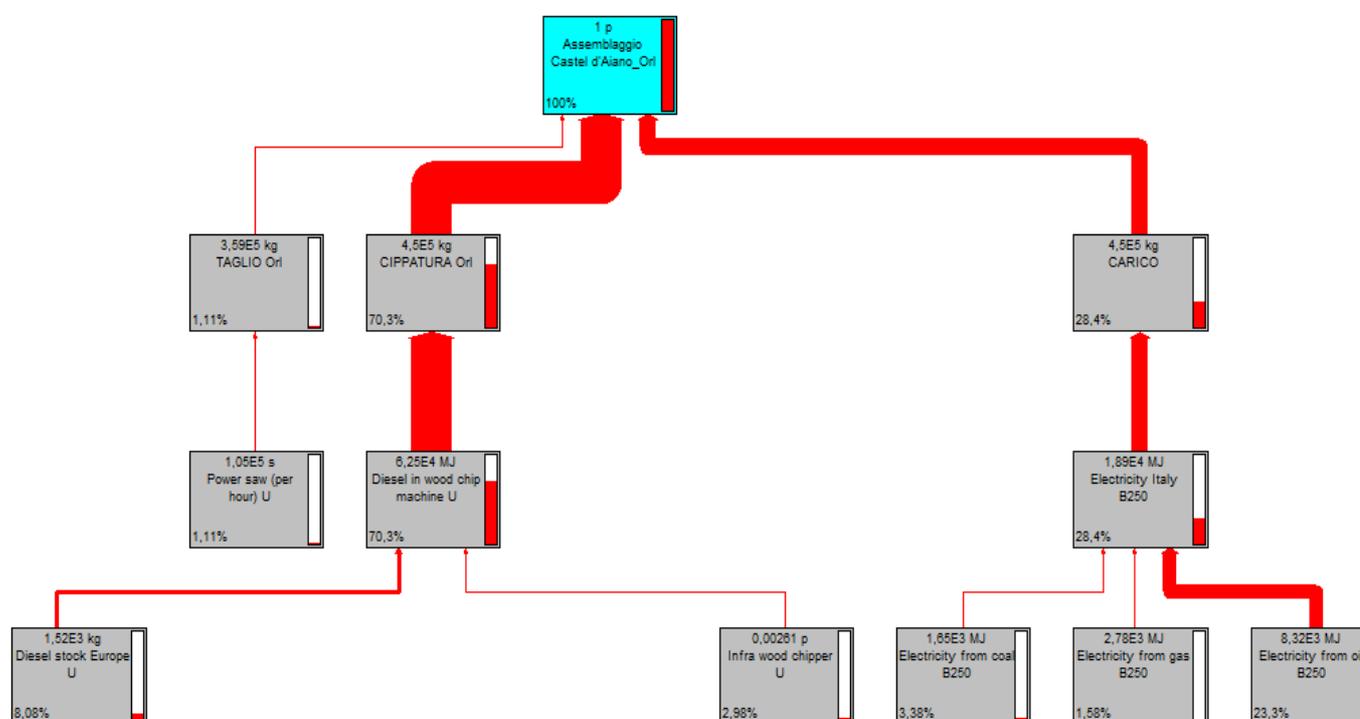


### Network relativo alla macro categoria Human Health

Dall'analisi di questo network vediamo ciò che è stato riscontrato precedentemente (percentuali simili), cioè sulla salute umana impatta per prima la cippatura con un 78,9%, a seguire il carico con un 20,3% e infine il taglio con un 0,4% non rappresentata per il lievissimo impatto (la fase maggiormente impattante è sempre appunto la cippatura che va a incidere sulle sostanze emesse in atmosfera dannose per la salute umana).

Stesse conclusioni si possono trarre per il network di seguito, relativo alla macro categoria Ecosistema (Ecosystem Quality), la cippatura in primis, a seguire il carico e infine il taglio per una percentuale minima del 1,11%.

Anche qui la fase a maggiore impatto è cippatura sempre, in quanto va a incidere sulle sostanze emesse in atmosfera dannose per l'ecosistema ambientale del pianeta

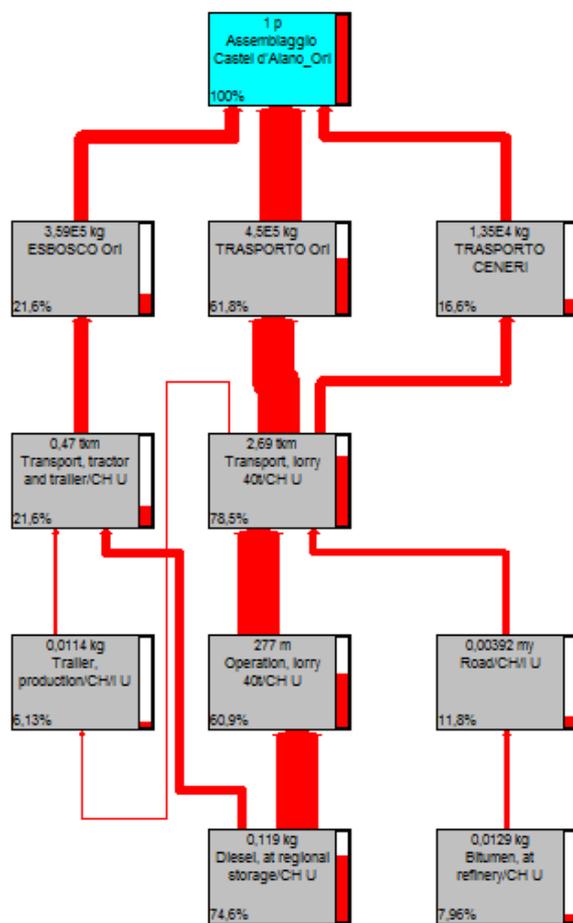


### Network relativo alla macro categoria Ecosystem Quality

Per il network della macro categoria Risorse (Resources) si evidenziano i risultati esposti precedentemente, cioè l'impatto maggiore deriva dal trasporto del cippato con un 61,8% di incidenza, a seguire l'esbosco con un 21,6% di incidenza e infine il trasporto ceneri in misura minore con una percentuale del 16.6%.

Relativamente ai due trasporti il risultato è il seguente perché appunto il cippato da trasportare è in quantità maggiore delle ceneri da trasportare e ciò comporta un numero di viaggi assai maggiore all'anno, nonostante i km a viaggio siano inferiori.

Per quanto concerne l'esbosco in questo approvvigionamento risulta più impattante rispetto all'esbosco dell'approvvigionamento precedente, nel quale l'esbosco risultava successivo al trasporto ceneri come ordine di grandezze d'impatto; ciò è da imputare al fatto che in questo caso l'esbosco viene effettuato attraverso un diversi boschi situati nel raggio medio di 15 km (i boschi dell'azienda qui si trovano a diverse distanze, distanza maggiori dell'azienda La Fenice), mentre nell'approvvigionamento precedente il raggio medio era di 500 m, in quanto l'azienda possedeva solamente il bosco vicino all'abitazione essendo un'azienda famigliare.



Network relativo alla macro categoria Resources

### 5.3.3. Risultati con metodo Edip/Umip96

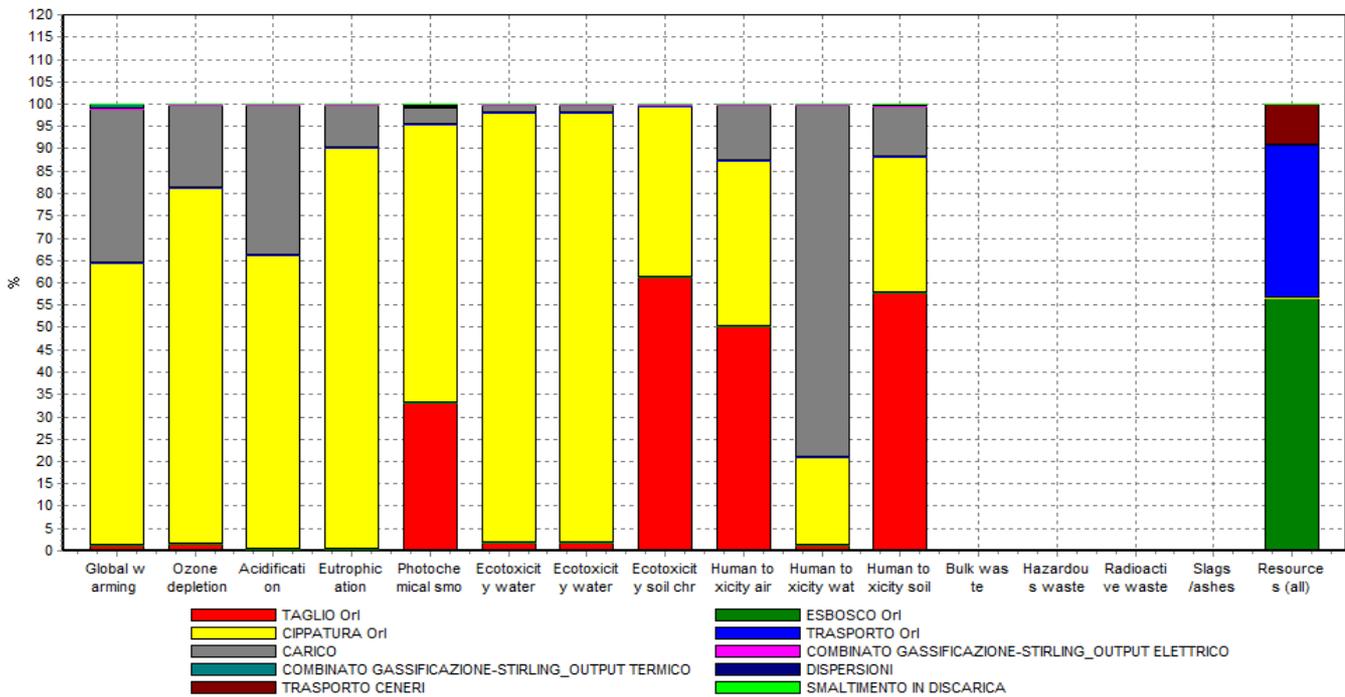
SimaPro 6.0		Data:	08/11/2010	Periodo:	10.28.11								
Titolo:		Analizzando 1 p assemblaggio 'Assemblaggio Castel d'Aiano_Orl'											
Metodo:		EDIP/UMIP 96 V2.1 / EDIP World/Dk											
Valore:		Caratterizzazione											
Categoria d'impatto	Unità	Totale	TAGLIO Ori	ESBOSCO	CIPPATURA	TRASPORTO	CARICO	OUTPUT EL	OUTPUT T	DISPERS	TRASPORTO CEN	SMALTIMENTO IN DISC.	
Global warming (t g CO2		9550000	124000	134	6030000	344	3290000	5750	92100	2940	92,1	7680	
Ozone depletion (g CFC11		5,71	0,0894	1,02E-06	4,54	0,000000768	1,07	0,000392	0,00627	0,0002	0,000000206	0,00582	
Acidification (g SO2		85600	293	0,314	56400	2,31	28700	6,59	105	3,36	0,619	71,4	
Eutrophication (g NO3		104000	197	0,144	93600	3,72	10100	6,64	106	3,39	0,998	120	
Photochemical smog ethene		2110	695	0,0352	1310	0,0388	84,2	0,811	13	0,414	0,0104	1,47	
Ecotoxicity water m3		5420000	100000	75	5200000	59,9	102000	293	4680	149	16,1	6650	
Ecotoxicity water m3		538000	9490	2,02	518000	1,85	9100	28,8	461	14,7	0,497	663	
Ecotoxicity soil c m3		17800	10900	0,00362	6780	0,0202	56,4	2,96	47,3	1,51	0,00543	7,7	
Human toxicity ai m3		3,08E+09	1,54E+09	11000	1140000000	67400	3,79E+08	612000	9800000	312000	18100	1410000	
Human toxicity w m3		29500	339	23,2	5800	18,3	23200	5,89	94,2	3	4,91	6,66	
Human toxicity si m3		1620	933	0,00455	492	0,0543	185	0,503	8,05	0,257	0,0146	0,524	
Bulk waste	kg	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Hazardous waste	kg	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Radioactive waste	kg	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Slags/ashes	kg	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Resources (all)	kg	0,000106	x	0,00006	x	0,0000362	2,26E-21	x	x	x	0,0000097	x	

#### Risultati dell'analisi del ciclo di vita di 4.500 quintali di cippato con il metodo EDIP/UMIP96.

- Il *Global warming (GWP 100)* rappresenta il contributo di ciascuna fase della filiera all'incremento della temperatura media terrestre conseguente all'effetto serra ed è espresso in grammi di anidride carbonica emessa. Esso risulta particolarmente influenzato dalla fase di cippatura, con 6.030.000 g CO<sub>2</sub>, seguita dalla fase di carico con 3.290.000 g CO<sub>2</sub>, successivamente vi è il taglio con 124.000 d CO<sub>2</sub>.
- L'*Ozone depletion* indica il contributo di ciascuna fase della filiera al deperimento dello strato di ozono stratosferico, ed è valutato in riferimento ai grammi di CFC11 emessi. La fase in cui si riscontra la maggiore emissione di tali sostanze è sempre quella di cippatura (4,54 g CFC11), seguita dal taglio (1,07 g CFC11).
- L'*Acidification*, espressa in grammi di SO<sub>2</sub>, definisce il contributo di ciascuna fase della filiera all'emissione di solfati, responsabili, tra l'altro, delle piogge acide. Essa risulta influenzata soprattutto dalla fase di cippatura (56.400 g SO<sub>2</sub>), seguita dalla fase di carico (28.700 g SO<sub>2</sub>) e infine il taglio (293 g di SO<sub>2</sub>).

- L'*Eutrophication* esprime il contributo di ciascuna fase della filiera all'incremento di nutrienti nelle acque, e viene calcolata in riferimento ai grammi di NO<sub>3</sub>. Essa è influenzata principalmente dalla fase di cippatura con 93.600 g NO<sub>3</sub>, seguito da carico (101.000 g NO<sub>3</sub>) e infine taglio (197 g NO<sub>3</sub>).
- Il *Photochemical smog* è espresso in grammi di etene. Ad esso contribuisce principalmente la fase di cippatura, con 1.310 g, seguita dalla fase di taglio con 695 g.
- L'*Ecotoxicity water chronic* è espressa in m<sup>3</sup>, ed è influenzata dalla fase di cippatura con 5.200.000 m<sup>3</sup>, seguita dalla fase di carico (102.000 m<sup>3</sup>) e infine il taglio (100.000 m<sup>3</sup>).
- L'*Ecotoxicity water acute* è espressa in m<sup>3</sup>, ed è influenzata nell'ordine, dalla fase di cippatura con 518.000 m<sup>3</sup>, seguita dalla fase di taglio con 9.490 m<sup>3</sup> e infine il carico (9.100 m<sup>3</sup>).
- L'*Ecotoxicity soil chronic* è espresso in m<sup>3</sup>, è influenzato dalla fase di taglio, con 10.900 m<sup>3</sup>, seguita dalla fase di cippatura con 6.780 m<sup>3</sup>.
- All'*Human toxicity air*, calcolata in m<sup>3</sup>, contribuiscono il taglio, con 1,54×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>, seguito dalla fase di carico con 3,79 x 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, infine la cippatura con 1.140.000.000 m<sup>3</sup>.
- All'*Human toxicity water*, calcolata in m<sup>3</sup>, contribuiscono il carico con 23.800 m<sup>3</sup>, segue la cippatura con 5.800 m<sup>3</sup>, infine il taglio con 339 m<sup>3</sup>.
- All'*Human toxicity soil*, calcolato in m<sup>3</sup>, contribuisce maggiormente il taglio con 933 m<sup>3</sup> seguito dalla cippatura con 492 m<sup>3</sup>.
- *Resources (all)*, espresso in kg, è influenzato principalmente dalla fase di esbosco (0,00006 kg), seguita dalla fase di trasporto (0,0000362 kg) e infine dal trasporto ceneri (0,0000097 kg).

Il seguente grafico rappresenta i risultati ottenuti con il metodo EDIP/UMIP 96 relativamente all'analisi del ciclo di vita della produzione di 4.500 quintali di cippato. In particolare, ad ogni categoria di impatto è associato il contributo di ciascuna fase della filiera, espresso in percentuale.



Analizzando 1 p assemblaggio 'Assemblaggio Castel d'Aiano\_Orl'; Metodo: EDIP/UMIP 96 V2.1 / EDIP World/Dk / Caratterizzazione

**Contributo, espresso in percentuale, delle varie fasi della filiera del cippato alla definizione del punteggio delle singole categorie di impatto con il metodo EDIP/UMIP 96.**

Dall'analisi del grafico è possibile evincere come le categorie di impatto: *Global warming (GWP 100)*, *Ozone depletion*, *Acidification*, *Eutrophication*, *Photochemical smog*, *Ecotoxicity water chronic*, *Ecotoxicity water acute* siano influenzate principalmente dalla fase di cippatura.

Alla definizione del punteggio delle categorie, *Ecotoxicity soil chronic*, *Human toxicity air*, *Human toxicity soil* invece, concorre principalmente la fase di taglio.

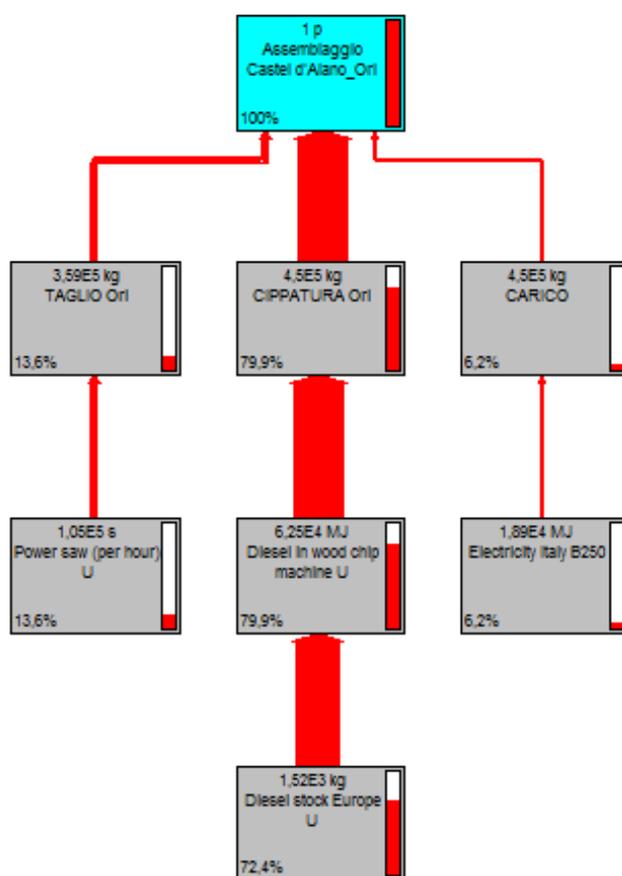
All'indicatore *Human toxicity water* contribuisce maggiormente la fase di carico.

Per la categoria *Resources (all)* invece le categorie che generano maggiore impatto solo la fase di esbosco, trasporto e trasporto ceneri.

Nel diagramma sottostante (network) è riportato il contributo delle singole fasi alla definizione del punteggio totale dell'impatto, ottenuto con il metodo *Edip/Umip96* considerando tutti i fattori d'impatto.

Nel diagramma viene evidenziato che la fase a maggior impatto ambientale risulta la cippatura : tale fase è rappresentata infatti con una freccia rossa di maggiore spessore (79,9%); a seguire vi è il taglio (13,6%) a maggiore impatto globale, considerando nel suo insieme tutti gli indicatori di impatto e infine il carico (6,2%).

Con tale metodo, nel network generale dell'insieme di tutti gli indicatori d'impatto, il taglio risulta molto impattante, mentre con il metodo eco-indicator il carico risultava più impattante del taglio nel network generale.



Dal network rappresentato si evince, quindi, che anche il taglio ha una grossa influenza (mentre con gli eco-indicator il taglio risultava molto inferiore alla cippatura e secondo ad essa vi era il carico). Ma d'altronde questo è un metodo diverso che usa indicatori d'impatto diverso e per tali indicatori la fase di taglio risulta più impattante del carico. Ciò deriva dal fatto che nel metodo Edip/U mip96 si usano molti indicatori legati all'ecosistema , al consumo di risorse e all'impatto che ha il prelievo di risorse dal territorio (inquinamento acqua, aria, suolo, tossicità umana per acqua, aria suolo).

In questo approvvigionamento possiamo comunque notare un impatto del taglio inferiore al caso del precedente approvvigionamento (sempre nel metodo Edip/Umip96), in quanto come detto il taglio in questo caso incide in misura minore per le ragioni dette precedentemente (taglio per il 30% da scarti e non da alberi e per il 50% utilizzo della gru a cavo e non della motosega).

Le fasi che risultano dal network sono le più impattanti dal punto di vista globale, considerando cioè tutti i fattori d'impatto e non singolarmente uno ad uno.

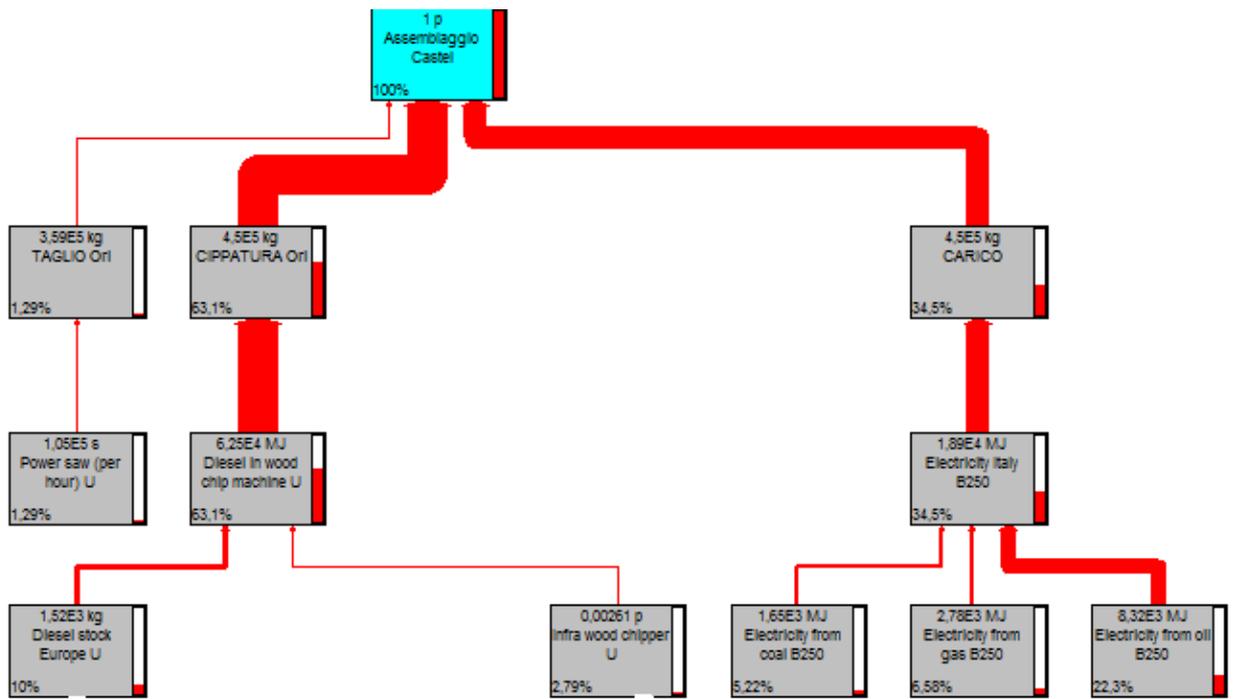
Quindi si evince, facendo un bilancio ambientale complessivo, che la fase a maggiore impatto risulta essere la cippatura; ciò era da aspettarselo in quanto la cippatrice consuma molta energia, per la quale occorre di conseguenza un elevato consumo di combustibile diesel dalla presa di potenza del trattore che emette in atmosfera sostanze dannose.

E' dunque evidente che in proporzione, in confronto anche alla cippatura, il trasporto impatta in misura minore di quest'ultima; anche questo risultato è logico in quanto il trasporto è contenuto nell'arco di 100 km, raggio di distanza in cui sono stati compiuti studi dai quali risulta una distanza per cui l'impatto del trasporto non è estremamente rilevante.

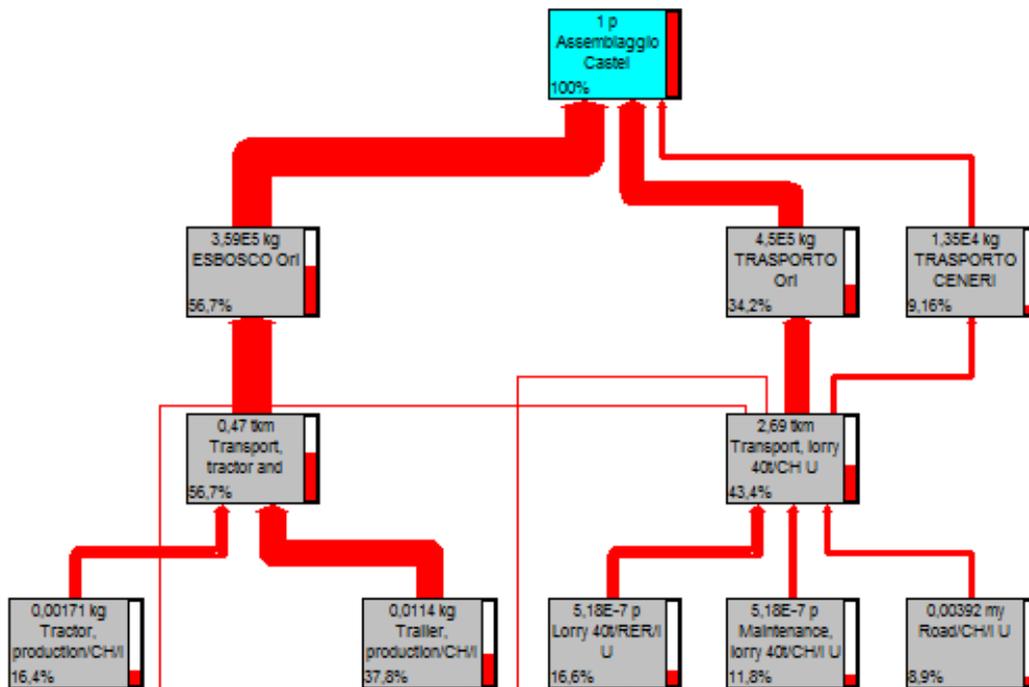
Analizzando il network del solo indicatore Global Warming invece possiamo notare come la fase a maggiore impatto sia la cippatura (63,1%) ma a seguire vi è la fase di carico (34,5%) e non il taglio (1,29%); il risultato è da aspettarselo, in quanto il carico consuma abbastanza energia che deriva da un uso di combustibili fossili che immettono in atmosfera sostanze dannose e CO<sub>2</sub>, che influisce al riscaldamento globale del pianeta.

Se osserviamo il grafico relativo all'indicatore Resources ovviamente risultata il maggiore impatto ambientale dato dall'esbosco con un 56,7% per l'abbattimento di risorse naturali come gli alberi e considerando che in questo approvvigionamento la media dei km per prelevare il legname è molto maggiore dell'approvvigionamento La Fenice. A seguire vi è il trasporto del cippato con un 34,2% e infine il trasporto ceneri (incidenza del 9,16%) anche qui in misura minore del trasporto cippato per le conclusioni che sono state tratte anche per gli Eco- Indicator99.

E' da notare che impatta maggiormente l'esbosco del trasporto, in quanto a livello globale l'esbosco con trasporto legname tramite trattore fino all'azienda dove si esegue la cippatura, oltre a consumare risorse naturali in questo caso compie anche un numero di chilometri assai maggiore.



Network relativo all'indicatore Global Warming



Network relativo all'indicatore Resources

Concludendo nell'approvvigionamento presso Orlandini influisce molto l'esbosco nelle Risorse, subito dopo c'è il trasporto e poi il trasporto ceneri in quanto l'esbosco qui è effettuato in un raggio di km molto maggiore dell'approvvigionamento La Fenice, km necessari per prelevare il cippato dai diversi boschi di proprietà aziendale.

Il taglio influisce in tale approvvigionamento in misura minore (si vede dai grafici) perché vengono tagliati meno alberi (essendo un 30% derivante da scarti di altre lavorazioni) e poi si usa anche la gru a cavo per il 50% invece della motosega, così i minuti di utilizzo motosega complessivi diminuiscono, estirpando direttamente l'albero senza avere la necessità di segare prima. Infatti nel metodo Edip-Umip, dove con La Fenice risultava a livello complessivo il taglio più impattante del carico per via dei diversi indicatori che considerano maggiormente il taglio come impatto e che aveva una percentuale del 39,2%, decisamente più alta del caso Orlandini (13,6%) visto che il taglio appunto qui pesa meno; a prova di ciò infatti nel metodo Edup-Umip nel network complessivo compare ancora il taglio come secondo (ma in tale metodo gli indicatori danno più peso al taglio) però compare anche il carico con una percentuale maggiore (6,2%) del caso La Fenice (4,37%). Questo maggiore impatto del carico deriva dal fatto che il taglio influisce in misura inferiore del caso precedente.

Dal confronto fra i due approvvigionamenti con entrambi i metodi risulta che il maggiore impatto è dato comunque dalla fase di cippatura in entrambi i casi; tale risultato risulta in linea coi diversi studi compiuti sul tema presenti in letteratura, che confermano che la fase della cippatura necessita di un notevole consumo di carburante con la conseguente emissione in atmosfera di sostanze nocive ed enormi quantità di CO<sub>2</sub>, rispetto anche a tutte le altre fasi, compreso il trasporto (a livello globale le emissioni derivanti dal trasporto impattano in misura inferiore alla cippatura, essendo contenuto nel raggio di 100 km cosa che avviene in entrambi i casi di approvvigionamento)

Inoltre in entrambi viene evidenziato che il trasporto del cippato impatta maggiormente del trasporto ceneri, anche se a distanza notevolmente inferiore. Tale risultato è giustificato dal fatto che per trasportare le ceneri, nonostante i km totali siano maggiori, la quantità totale da trasportare è assai inferiore e occorrono quindi solamente 2 trasporti all'anno; mentre per il trasporto del cippato occorrono più viaggi per consegnare il quantitativo annuale richiesto (molto maggiore del quantitativo annuale di ceneri) e così

sommando i km totali annuali risulta molto più impattante il trasporto locale del cippato, nonostante i km a tratta siano nettamente inferiori.

Ulteriore aspetto è quello legato al carico in tramoggia del cippato che risulta ad elevato impatto; ciò è da imputare al fatto che tale fase consuma elettricità derivante da combustibili fossili emettendo in atmosfera quantità di anidride carbonica e sostanze nocive, nonostante il consumo annuale sia limitato, ma a livello globale incide più delle altre fasi per quel che riguarda principalmente l'ecosistema e la salute umana, mentre per il consumo risorse e combustibili fossili ciò che impatta maggiormente risulta essere il trasporto e l'esbosco.

Tuttavia le due soluzioni presentano anche alcune differenze nei risultati per taluni aspetti : innanzitutto il taglio il quale in Orlandini presenta una di minore entità d'impatto; questo risultato è da imputare al fatto che il taglio in Orlandini presenta un 30% in meno sulle ore totali di utilizzo della motosega, in quanto tale percentuale deriva da scarti di precedenti lavorazioni, inoltre per il 50% non si utilizza la motosega ma viene estirpato direttamente l'albero tramite gru a cavo.

Altro aspetto differente riguarda l'esbosco il quale risulta più impattante in Orlandini; cioè deriva dal raggio medio di 15 km che il trattore deve effettuare per trasportare la legna nel luogo di cippatura, e l'azienda presenta un numero di boschi maggiore e più esteso della Fenice con un solo bosco situato vicino all'azienda stessa a 500 metri.

Dunque per trarre una conclusione globale e finale sull'impatto dei due approvvigionamenti, la soluzione che risulta migliore non è immediata in quanto ognuna delle due presenta dei vantaggi ambientali da una parte e dei svantaggi ambientali dall'altra, come discusso.

Si potrebbe però confrontare il totale dei diversi indici d'impatto nelle due soluzioni di approvvigionamento, sia nel caso degli Eco-Indicator99 che nel caso di Edip/Umip96; tale confronto è riportato nelle due tabelle sottostanti.

APPROVVIGIONAMENTO ORLANDINI			APPROVVIGIONAMENTO LA FENICE		
Categoria d'impatto	Unità	Totale	Categoria d'impatto	Unità	Totale
Carcinogens	DALY	0,000258	Carcinogens	DALY	0,000262
Resp. organics	DALY	0,0000463	Resp. organics	DALY	0,0000744
Resp. inorganics	DALY	0,0123	Resp. inorganics	DALY	0,0124
Climate change	DALY	0,00196	Climate change	DALY	0,00202
Radiation	DALY	0,0000109	Radiation	DALY	0,0000115
Ozone layer	DALY	0,0000103	Ozone layer	DALY	0,0000108
Ecotoxicity	PDF*m2yr	163	Ecotoxicity	PDF*m2yr	181
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	462	Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	465
Land use	PDF*m2yr	0,0148	Land use	PDF*m2yr	0,00628
Minerals	MJ surplus	0,0315	Minerals	MJ surplus	0,0103
Fossil fuels	MJ surplus	1,12	Fossil fuels	MJ surplus	0,635

**Tabella di confronto dei totali nei due approvvigionamenti, metodo Eco-Indicator99**

Possiamo vedere che per gli indici *Carcinogens*, *Responsability inorganics*, *Climate change*, *Radiation*, *Ozone Layer*, *Acidification/Eutrophication* il risultato è quasi identico (il processo produttivo e lo smaltimento ceneri sono i medesimi).

Per gli indici *Responsability organic* e *Ecotoxicity* l'approvvigionamento La Fenice risulta maggiore (infatti il taglio è maggiore e impatta in misura maggiore, a causa dell'utilizzo degli scarti in parte e dell'utilizzo della gru a cavo in Orlandini che comporta un minore uso della sega elettrica e un minore riduzione degli alberi nel bosco).

Per gli indici *Land Use*, *Minerals* e *Fossil Fuels* l'approvvigionamento Orlandini risulta maggiore; risultato da imputare all'esbosco che incide in misura maggiore, essendo i km di trasporto legname maggiori, e al trasporto cippato che incide maggiormente in Orlandini, dovendo trasportare il cippato a una distanza molto maggiore a 68 km dall'impianto rispetto al caso La Fenice a 7,2 km dall'impianto.

APPROVVIGIONAMENTO ORLANDINI			APPROVVIGIONAMENTO LA FENICE		
Categoria di danno	Unità	Totale	Categoria di danno	Unità	Totale
Human Health	DALY	0,0146	Human Health	DALY	0,0148
Ecosystem Quality	PDF*m2yr	624	Ecosystem Quality	PDF*m2yr	646
Resources	MJ surplus	1,15	Resources	MJ surplus	0,645

**Tabella di confronto due approvvigionamenti legata alle 3 macro-categorie degli indici di impatto, metodo Eco-Indicator99**

I risultati sopra esposti sono anche palesati da quest'ultima tabella legata alle 3 macro categorie degli indicatori ambientali.

Si può dunque notare come l'impatto sulla **Salute Umana** è simile, infatti il processo produttivo e lo smaltimento ceneri sono i medesimi; l'impatto sulla **Qualità dell'Ecosistema** risulta maggiore nella Fenice in quanto il taglio con le ore di utilizzo motosega incide maggiormente (appunto per il discorso che il taglio in Orlandini è ridotto dall'utilizzo della gru a cavo e dall'utilizzo degli scarti in parte per produrre il cippato) e inoltre la cippatura in Orlandini incide meno, dovendo consumare una quantità minore di energia per cippare (una parte di cippato deriva da scarti di lavorazioni precedenti già di piccola pezzatura); l'impatto sulle **Risorse** è maggiore in Orlandini in quanto l'esbosco incide maggiormente dovendo compiere un numero di km maggiore, stessa cosa per il trasporto cippato.

Complessivamente si può concludere che l'approvvigionamento La Fenice risulta essere il più performante dal punto di vista ambientale sebbene per l'Ecosistema presenta un valore un po' superiore, però l'esbosco e il trasporto incidono in misura minore essendo l'azienda situata a una distanza più prossima dal bosco da cui proviene il cippato e trovandosi l'impianto a una distanza minore dal bosco (nonostante il taglio sia peggiore utilizzando solo alberi e niente scarti e le ore di utilizzo motosega risultano maggiori, ma il taglio non presenta un'incidenza così massiccia da compromettere l'intera soluzione).

Tale risultato è in linea anche con l'obiettivo di promuovere le filiere legno-energia locali e quindi La Fenice rispecchia in pieno tale caratteristica (considerando poi che globalmente presenta un impatto un po' inferiore a Orlandini).

Da tenere presente però anche la qualità del cippato, la quale era risultata sotto le prestazioni standard alla Fenice e ciò comportava fermi dell'impianto, compromettendo alla lunga la vantaggiosità economica e l'aspetto ambientale per i numerosi riavvii dell'impianto.

I medesimi risultati possono essere tratti anche utilizzando il metodo Edip/Umip96, come si vede dalla seguente tabella

APPROVVIGIONAMENTO ORLANDINI			APPROVVIGIONAMENTO LA FENICE		
Categoria d'impatto	Unità	Totale	Categoria d'impatto	Unità	Totale
Global warming (GWP 100)	g CO2	9550000	Global warming (GWP 100)	g CO2	9930000
Ozone depletion	g CFC11	5,71	Ozone depletion	g CFC11	5,99
Acidification	g SO2	85600	Acidification	g SO2	86500
Eutrophication	g NO3	104000	Eutrophication	g NO3	105000
Photochemical smog	g ethene	2110	Photochemical smog	g ethene	4250
Ecotoxicity water chronic	m3	5420000	Ecotoxicity water chronic	m3	5730000
Ecotoxicity water acute	m3	538000	Ecotoxicity water acute	m3	567000
Ecotoxicity soil chronic	m3	17800	Ecotoxicity soil chronic	m3	51200
Human toxicity air	m3	3080000000	Human toxicity air	m3	7840000000
Human toxicity water	m3	29500	Human toxicity water	m3	30500
Human toxicity soil	m3	1620	Human toxicity soil	m3	4490
Bulk waste	kg	x	Bulk waste	kg	x
Hazardous waste	kg	x	Hazardous waste	kg	x
Radioactive waste	kg	x	Radioactive waste	kg	x
Slags/ashes	kg	x	Slags/ashes	kg	x
Resources (all)	kg	0,000106	Resources (all)	kg	0,0000418

**Tabella di confronto due approvvigionamenti dei totali degli indicatori d'impatto, metodo Edip/Umip96**

Come si evince dalla tabella, anche con tale metodo per molti indicatori legati al processo e allo smaltimento i valori sono molto simili; per altri indicatori come *Photochemical smog*, *Ecotoxicity soil chronic*, *Human toxicity air* e *Human toxicity soil* l'approvvigionamento La Fenice risulta maggiore in quanto il taglio incide maggiormente utilizzando tale metodo e infatti il taglio è più impattante nella Fenice; per l'indice Resources invece Orlandini risulta più impattante della Fenice, essendoci l'esbosco con maggiore incidenza e idem per il trasporto (fasi che incidono su tale indicatore).

#### 5.4. ANALISI LCA MENGOLI

Passiamo ora all'analisi dell'impianto a biogas dei F.lli Mengoli, sito a Castenaso (BO).

I valori per tale impianto sono stati ricavati col medesimo procedimento dell'impianto a cippato di Castel d'Aiano, utilizzando cioè valori unitari per gli input a fronte dell'ottenimento di un certo output unitario; i valori totali annuali saranno quindi considerati nella fase di assemblaggio delle fasi.

In questo caso abbiamo di fronte un impianto totalmente diverso, anche se l'unità funzionale risulta la medesima e cioè il kWh equivalente, trattandosi anche ora di un impianto cogenerativo.

L'output che si vuole ottenere è dunque l'energia prodotta dall'impianto, inserendo in input diverse materie prime che permettono di ottenere biogas da impiegare in un motore a combustione interna, al fine di produrre energia elettrica e termica dal recupero di calore del raffreddamento del blocco motore.

Non è possibile un confronto diretto fra i risultati dei due diversi impianti, in quanto le quantità in output di energia sono diverse e così pure le quantità in input; inoltre nell'impianto Mengoli le materie prime per ottenere energia sono diverse dalle precedenti. Si potrebbe comunque fare una sorta di confronto osservando quali indicatori d'impatto incidono maggiormente.

#### Obiettivo dello studio

Obiettivo dello studio è la determinazione dell'impatto ambientale per la generazione di energia elettrica e termica ottenuta dal funzionamento, per 7.100 ore l'anno, con una potenza massima installata di 350 kW elettrici, tramite due generatori e 600 kW termici da recupero calore del raffreddamento del motore, tramite l'ingresso all'impianto di liquame bovino, colture dedicate (insilati) e sottoprodotti acquistati.

#### Scopo dello studio

- *Funzioni del sistema*

La funzione dello studio è la generazione di energia tramite una serie di input ricavati direttamente dallo svolgimento dell'attività agricola di famiglia

- *Unità funzionale*

L'unità funzionale risulta essere il "kWh equivalente", a fronte di un approvvigionamento di 300 tonnellate al giorno di materia prima prodotta dall'impianto agricolo come sottoprodotti, massa necessaria a ottenere la quantità di energia espressa in kWh; il kWh qui considerato è suddiviso nella sua quota parte termica (X%), elettrica (X%) e perdita (X%) e quindi "equivalente" per indicare il kWh generico suddiviso nelle componenti. L'unità funzionale è utilizzata per permettere il confronto fra diversi impianti, nei quali posso così confrontare l'energia prodotta a fronte di un certo approvvigionamento; il dato che interessa, quindi, è l'energia prodotta dall'impianto

- *Il sistema che deve essere studiato*

Il sistema da studiare è la produzione di energia elettrica e termica derivante da un approvvigionamento di 300 tonnellate giornaliere di input, sottoprodotti dell'attività agricola. Tali input sono prodotti direttamente dall'esercizio dell'attività agricola, come i liquami e gli insilati; oppure sono sottoprodotti derivanti da attività industriali.

Quindi per la produzione dell'energia non sono stati abbattuti alberi o consumate risorse naturali, ma sono stati utilizzati prodotti che altrimenti sarebbero stati smaltiti in discarica.

- *I confini del sistema*

I confini del sistema vanno dall'ottenimento degli input (liquame bovino a fronte del consumo di cibo e acqua per alimentare le mucche; insilati ottenuti tramite semina, irrigazione e trinciatura con trattori; i sottoprodotti conferiti tramite un camion) all'utilizzo agronomico del digestato prodotto dall'impianto. Non si considera il ciclo di vita dei macchinari impiegati nelle diverse fasi

- *Qualità dei dati*

Per lo svolgimento dello studio è stato impiegato il codice di calcolo SimaPro 6.0. Per la maggioranza degli elementi si è fatto riferimento alle banche dati impostate all'interno del codice

- *Metodologia di valutazione dell'impatto ambientale*

I metodi utilizzati nello studio sono Eco-Indicator99 H e Edip/Umip96 V2.1

#### **5.4.1. Le diverse fasi**

Vediamo di seguito la schematizzazione delle macrofasi della filiera di produzione del biogas.

Ogni macrofase è poi suddivisa nelle sue diverse fasi con i relativi macchinari e verranno analizzate una a una, riportando anche i calcoli necessari in ogni fase per giungere ai valori da inserire all'interno della LCA.



**Rappresentazione schematica delle macrofasi che compongono la filiera del biogas agricolo**

Nei calcoli effettuati per determinare i valori da inserire nell'analisi LCA si è tenuto conto di ricavare un **valore unitario**, da inserire nelle singole schede delle diverse fasi.

Nelle schede dedicate ad ogni fase è necessario indicare l'output unitario che si vuole ottenere, a fronte di un certo input sempre unitario riferito all'ottenimento di quell'output; nel processo produttivo la fase di produzione dell'energia ha come output l'ottenimento di 1 kWh e in input i valori di consumi energetici saranno calcolati tenendo conto del fatto di ottenere 1 kWh come output.

Nel calcolo dei valori il numero da inserire nelle schede delle fasi è dunque unitario, nel senso che è riferito a una quantità unitaria (per esempio in ogni scheda della fase è indicato come output una quantità di 1 Kg della tipologia di materia prima considerata per le fasi di approvvigionamento; è indicato come output una quantità di 1 kWh per le fasi del processo produttivo; è indicato come output una quantità di 1 Kg di digestato nelle fasi dell'utilizzo digestato).).

Si è calcolato quindi come input, in base alle specifiche unità di misura di ogni input utilizzato, il valore per ottenere 1 kg di materia prima e non delle quantità annuali; oppure il valore per ottenere 1 Kg di digestato e non la quantità di digestato prodotto all'anno; oppure il valore per ottenere 1 kWh di energia e non i kWh totali prodotti dall'impianto all'anno. Il computo totale sarà effettuato nella fase di assemblaggio, nella quale vengono unite tutte le diverse fasi delle varie macrofasi.

Nella macrofase approvvigionamento in assemblaggio verrà inserito per ogni fase il totale corrispondente (per esempio per l'approvvigionamento delle diverse materie prime il valore totale annuale corrispondente).

Nell'assemblaggio della macrofase processo produttivo i valori totali sono riferiti all'anno; nel calcolo dei valori invece il numero da inserire nelle schede dedicate alle fasi è unitario, quindi l'output della scheda è 1 kWh equivalente (suddiviso nelle sue quote : avremo output termico ed elettrico e perdita con le rispettive percentuali e come loro valore 1 kWh); così tutti gli input inseriti nelle fasi sono valori unitari per l'ottenimento di 1 kWh e non dei kWh totali all'anno. Il computo totale sarà anche qui effettuato nell'assemblaggio, in cui verrà inserito per ogni fase il totale corrispondente (per esempio per l'output termico ed elettrico sarà inserito 6.000.000 di kWh, per le dispersioni 818.000 kWh ). Nella fase della produzione di energia si è preferito non suddividere il kWh tra termico ed elettrico come nel precedente impianto, in quanto qui nella lettura dei risultati risulta più idoneo un loro raggruppamento per avere una visione d'insieme dell'impatto che produce la produzione cogenerativa di energia; ovviamente si tratta sempre di kWh equivalente composto dalla quota parte utile di energia e la quota parte di perdita sempre presente in qualsiasi impianto.

E' da notare che per la fase di carico in tramoggia delle materie prime sarà utilizzato come valore totale 6.570.000 Kg di materie prime (la somma di sottoprodotti acquistati e colture dedicate), quantità effettivamente caricata dalla tramoggia di carico.

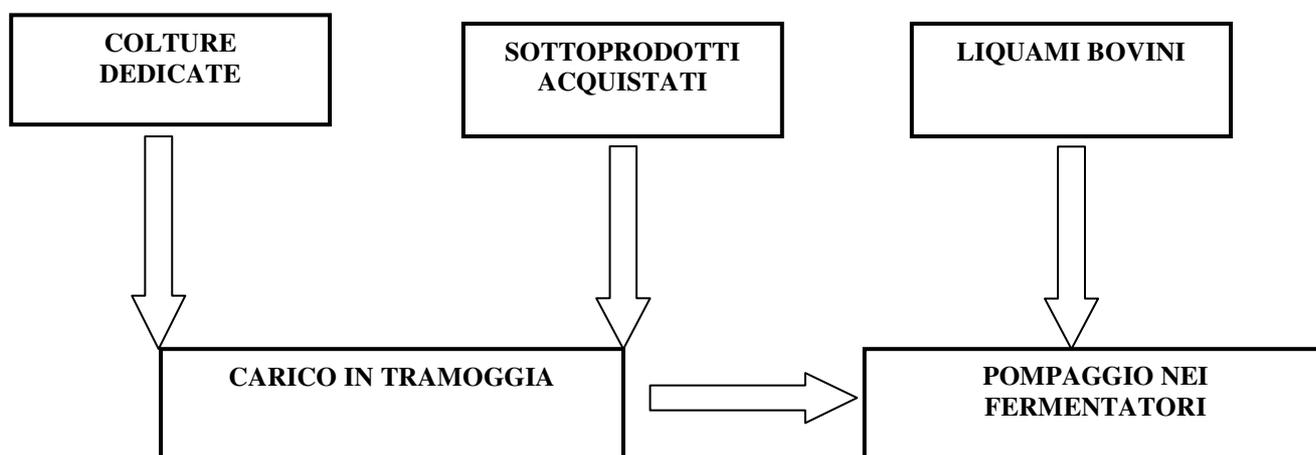
Stessa cosa per la macrofase utilizzo digestato, in cui il valore totale da inserire nell'assemblaggio delle sue fasi sarà il totale di digestato prodotte all'anno; il digestato prodotto è suddiviso nella fase dedicata all'autoconsumo e nella fase dedicata alla vendita del residuo non autoconsumato.

Nelle singole schede sarà invece inserito il valore unitario per la produzione in output di 1 kg di digestato, suddiviso in due fasi : fase del digestato autoconsumato e fase del digestato venduto, e non viene qui inserito il totale annuo prodotto dall'impianto.

## MACROFASE 1 : APPROVVIGIONAMENTO MATERIA PRIMA\_3 tipologie di materie prime

Approvvigionamento delle tre tipologie di materia prima caricate nell'impianto : colture dedicate tramite semina, trinciatura e accumulo a terra; sottoprodotti acquistati e trasportati con un camion all'azienda agricola; liquami bovini caricati direttamente nelle vasche di fermentazione tramite pompa, per ottenere tali liquami è necessario abbeverare e cibare le mucche.

### FLOW CHART MACROFASE 1



Le colture dedicate derivano da campi di proprietà dell'azienda per un totale di 60 ettari coltivativi; per produrre tali colture occorre una semina annuale eseguita con trattore e successiva trinciatura nel momento di raccolta, per ottenere gli insilati che poi verranno accumulati a terra con successiva pressatura da parte del trattore.

I sottoprodotti vengono acquistati da aziende che vendono i loro scarti industriali o agricoli (un fornitore di tali materie è per esempio Pizzoli) e li trasportano tramite camion all'azienda Mengoli.

Gli insilati e i sottoprodotti sono caricati in tramoggia e pompati all'interno delle vasche fermentative.

I liquami bovini che derivano dall'allevamento di bovini dell'azienda, a fronte di abbeveramento e somministrazione di cibo derivante dalle colture stesse; in seguito saranno pompati direttamente nella vasca fermentativa insieme alle altre materie prime.

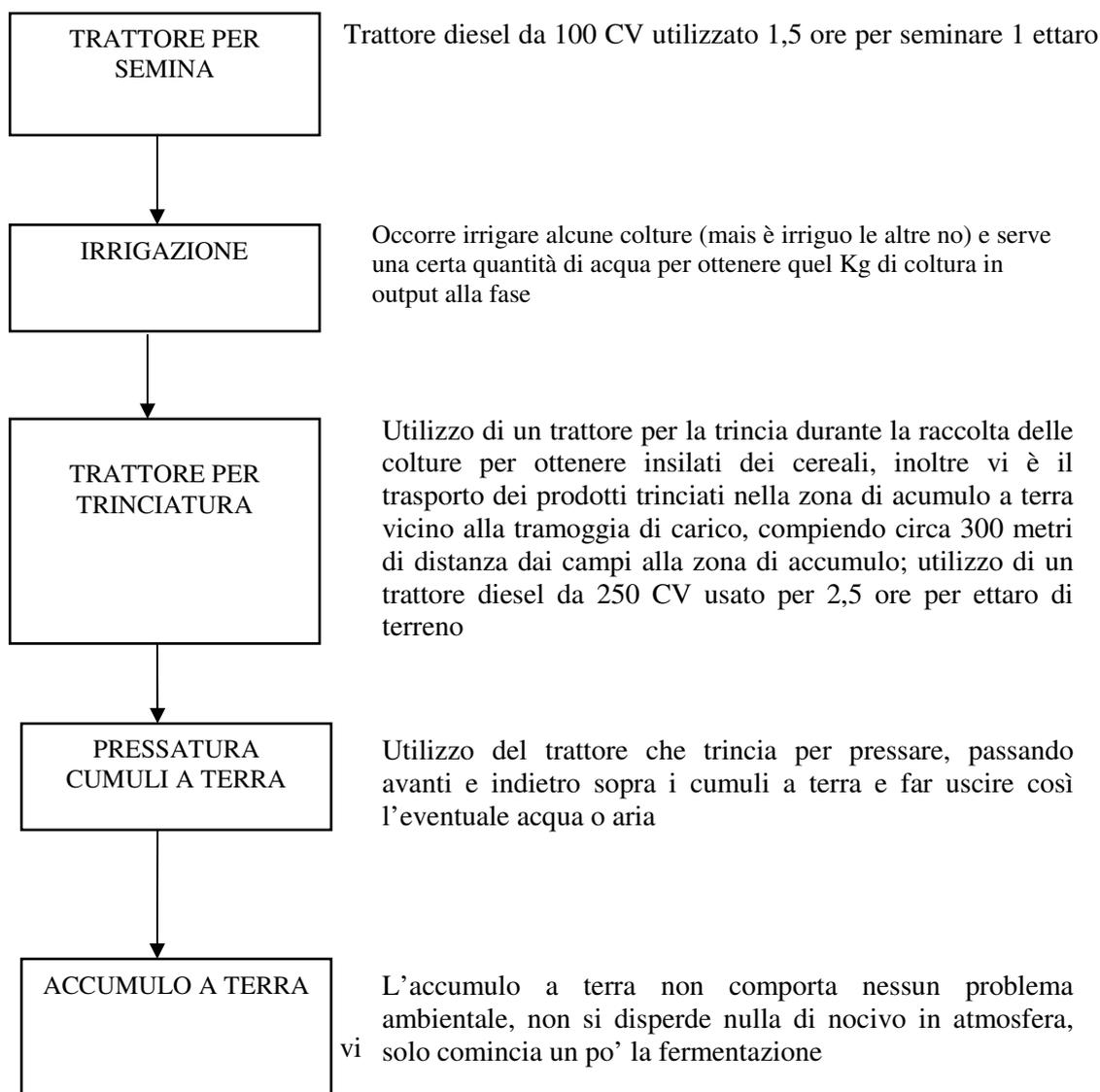
Le quantità delle diverse tipologie di materia prima impiegate risultano le seguenti :

80 quintali di insilati al giorno caricati in tramoggia  
120 quintali di liquami al giorno pompati in vasca  
100 q di sottoprodotti al giorno caricati in tramoggia

e ogni ora viene immesso 1/20 di quanto viene caricato in tramoggia o in vasca.

### FASE 1\_COLTURE DEDICATE

La presente fase si articola in diverse operazioni eseguite al fine di ottenere in output 1 Kg di coltura dedicata, le quali compariranno nella scheda della presente fase come tutti gli input necessari per ottenere il kg di coltura dedicata. Le operazioni (input) sono così schematizzate :



L'accumulo a terra non viene considerato, in quanto non impatta a livello ambientale dal momento che non produce nessuna emissione né al suolo né in aria né in acqua, inizia solamente in parte la fermentazione.

#### Trattore per semina

Il campo a coltivazione è di 60 ha.

Sapendo che 1 ha equivale a 100 m<sup>2</sup>

Le piante sono disposte a una distanza di 50 cm una dall'altra ←→

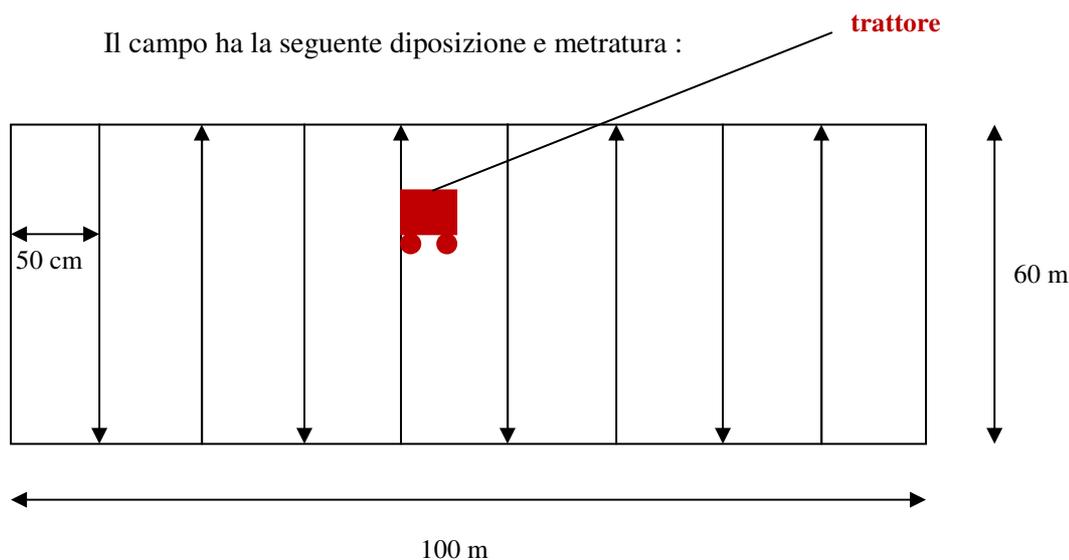
La produttività delle colture è di 12 t/ha, equivalente a 120 q/ha

La semina viene effettuata una volta all'anno

Avremo quindi :

$60 * 100 = 6.000 \text{ m}^2$  di terreno da seminare, dei quali 100 m di lunghezza e 60 m di larghezza

Il campo ha la seguente disposizione e metratura :



Le piantine dei cereali si trovano a una distanza di 50 cm, per cui con una lunghezza del campo di 100 m si ottiene :

$$10000 \text{ cm} / 50 \text{ cm} = 200 \text{ file di piante da seminare}$$

Per seminare queste 200 file il trattore va avanti e indietro per la profondità del campo di 60 m, per cui :

$$200 * 60 = 12.000 \text{ m da seminare in totale}$$

In totale quindi otteniamo 12 km da seminare all'anno.

In output la quantità ottenuta dalla semina risulta :

$60 \text{ ha} * 120 \text{ q/ha} = 7.200 \text{ q}$  di colture ottenute dalla semina (720.000 Kg)

Nel SimaPro si è inserito il mezzo di trasporto tra quelli esistenti del database: “**Tractor and Trailer**” all’interno della categoria Transport-Road-Tractor and trailer e si è calcolata la tratta percorsa annuale per effettuare la semina.

L’unità di misura richiesta dal programma è kgkm, che indica i **km percorsi da 1 kg**.

**Nel software Simapro si utilizza un fattore moltiplicativo che tiene conto dei km totali effettuati sia a pieno carico che a vuoto; tale fattore è 1,7 da utilizzare con il valore dei km a pieno carico per ottenere i km totali percorsi.**

In questo caso però non essendoci distinzione tra trasporto a pieno carico e scarico, i 12 km costituiscono già i km totali da percorrere.

$12 \text{ km} / 720.000 \text{ kg} = \mathbf{0,000166 \text{ kgkm}}$

#### Irrigazione

Nel software vi è anche la possibilità di inserire come input delle risorse naturali quali l’acqua; in questa fase si considera l’utilizzo annuo di acqua necessaria per l’irrigazione delle colture, al fine di ottenere come output sempre 1 kg di coltura dedicata.

L’unità di misura richiesta per l’acqua è il m<sup>3</sup> utilizzando la voce del software “**Water fresh**”equiparata cioè all’acqua del rubinetto.

Tra le colture coltivate solamente il 10% è irriguo (costituito da mais) e quindi avremo il 10% di 1 kg come output che necessita di acqua.

Considerando che occorrono 50 mm di acqua per 10 ettari di terreno e che l’irrigazione avviene 2 volte all’anno in media per questo tipo di colture

$50 \text{ mm} / 10 \text{ ha} \rightarrow 5 \text{ mm} / 1 \text{ ha}$ , equivalente a 0,005 m di acqua necessaria per ogni ettaro di terreno

Produttività colture è sempre di 12 t / ha

Il nostro terreno di 60 ha non necessita tutto di essere irrigato ma solamente un 10%, per cui :

$60 \text{ ha} * 10\% = 6 \text{ ha}$  di terreno da irrigare

Avendo una produttività di 12 t per ettaro risulta :  $12 * 6 = 72$  t, equivalente a 72.000 kg (resa del 10% del terreno di mais)

6: 72.000 = X : 0,1 (10% di 1 kg di output di coltura)

X = 0,0000083 ha, resa del 10% del terreno di mais

0,005 m di acqua \* 0,0000083 = **0,000000415 m<sup>3</sup>** di acqua necessaria per ottenere 1 kg di coltura, considerando che solamente il 10% necessita di acqua.

#### Trattore per trinciatura

La trinciatura è un metodo di raccolta delle colture effettuando un taglio particolare per cui ottengo i cosiddetti *insilati* dei cereali coltivati.

Nel SimaPro si è inserito il mezzo di trasporto tra quelli esistenti del database: “**Tractor and Trailer**” all’interno della categoria Transport-Road-Tractor and trailer e si è calcolata la tratta percorsa per effettuare la raccolta delle colture con trinciatura e loro trasporto al deposito di accumulo a terra vicino alla tramoggia.

L’unità di misura richiesta dal programma è kgkm, che indica i **km percorsi da 1 kg**.

**Nel software Simapro viene utilizzato un fattore di scala che tiene già conto dei km totali effettuati sia a pieno carico che a vuoto; tale fattore è 1,7 da utilizzare con il valore dei km a pieno carico per ottenere i km totali percorsi.**

In questo caso abbiamo il tragitto del trattore dall’azienda ai campi a vuoto, poi avviene la trincia lungo i campi, più il tragitto dai campi all’accumulo a terra a pieno carico. Trattore è da 250 CV con capacità di carico di 6.000 kg.

I km compiuti a pieno carico risultano 500 m in media, per cui :

$500 * 1,7 = 850$  metri totali, tra km a vuoto e km a pieno carico

$850 \text{ m} = 0,85 \text{ km}$

$0,850 / 6.000 = \mathbf{0,000142 \text{ kgkm}}$  percorsi da 1 kg di coltura dedicata in output

### Pressatura cumuli a terra

La pressatura dei cumuli di insilati depositati al suolo dopo la loro raccolta dei campi avviene con lo stesso trattore utilizzato per trinciare e quindi come input nel software si utilizza sempre **Tractor and Trailer**.

Anche qui vale lo stesso discorso del calcolo dei kgkm percorsi dal trattore per eseguire la pressatura dei cumuli, anche se in questo caso non occorre utilizzare il fattore 1,7 in quanto i km per pressare sono tutti percorsi a vuoto.

Si suppone di effettuare 30 metri per passare avanti e indietro sui cumuli a terra di insilati, al fine di far fuoriuscire l'acqua eventualmente presente all'interno (30 m = 0,003 km).  
A terra è presente una quantità di 100 t di insilati da pressare, equivalenti a 100.000 kg.

$$0,03 \text{ km} / 100.000 \text{ kg} = \mathbf{0,000003 \text{ kgkm}}$$

I valori appena calcolati delle diverse operazioni necessarie per ottenere 1 kg di output di coltura dedicata rappresentano tutti gli input necessari per la fase delle colture dedicate considerata.

Nell'assemblaggio per la fase Colture dedicate occorrerà inserire il totale di kg annuale di colture dedicate, corrispondente a 2.920.000 kg all'anno derivante da :

$$80 \text{ q di insilati al giorno} * 365 \text{ giorni all'anno} = 29.200 \text{ q equivalente a } 2.920.000 \text{ kg all'anno}$$

### **FASE 2\_LIQUAMI BOVINI**

Anche questa fase si articola in diverse operazioni eseguite al fine di ottenere in output 1 Kg di liquami bovini, le quali compariranno nella scheda della presente fase come tutti gli input necessari per ottenere il kg di liquame. Le operazioni (input) sono così schematizzate :

CIBO E ACQUA PER  
L'ALIMENTAZIONE DELLE  
MUCCHE

Quantità di acqua e di cereali necessari per alimentare  
ottenere in output i liquami per alimentare i fermentatori

POMPAGGIO LIQUAMI  
NELLA VASCA  
FERMENTATIVA

Pompaggio dei liquami raccolti direttamente dalle stalle in un  
serbatoio di accumulo e successivamente inviati direttamente nelle  
vasche di fermentazione attraverso una pompa

#### Input acqua

Si utilizza la voce del software “**Water fresh**” all’interno degli input risorse naturali,  
intesa come acqua di acquedotto.

1 litro = 1 dm<sup>3</sup>

1 m<sup>3</sup> = 1.000 litri

Si utilizzano per abbeveraggio 75 litri di acqua al giorno per ogni capo bovino

In totale si hanno 250 capi bovini

$75 * 250 = 18.750$  litri di acqua al giorno per tutto l'allevamento di mucche

$18.750 \text{ litri} / 1.000 = 18,75 \text{ m}^3$  di acqua al giorno per tutti i 250 capi bovini

$18,75 : 12.000$  (kg di liquame totali prodotti al giorno) =  $X : 1$  (kg di liquame come  
output)

$X = 0,00156 \text{ m}^3$  di acqua per produrre 1 kg di liquame in output

#### Input cereali

Si utilizza la voce del software “**Corn**” all’interno degli input risorse naturali, intesa come  
cereali.

Le mucche sono distinte tra mucche attive in numero 110, cioè capi bovini che producono latte, e mucche non attive in numero 140, cioè capi a riposo perché o in al lattazione o incinta.

I capi a riposo mangiano 25 kg di insilati al giorno per ogni capo bovino.

I capi attivi mangiano 39 kg di insilati al giorno per ogni capo bovino.

Vediamo la media di kg in alimentazione alle mucche :

$[(39 * 110) + (25 * 140)] / 2 = 31$  kg di insilati al giorno per ogni mucca

$31 * 250$  capi = 7.750 kg di insilati al giorno per produrre 120 q al giorno di liquame

$7.750 : 12.000 = X : 1$  (kg di liquame come output)

$X = 0,646$  kg di cibo per produrre 1 kg di liquame

#### Pompaggio liquame

Si utilizza la voce del software “**Electricity Italy B250**”

La pompa utilizzata per pompare i liquami nella vasca è una CRI-MAN da 11 kW e funziona per 1 ora al giorno

$11 \text{ kW} / 12.000$  (kg di liquame prodotto al giorno) = 0,000916 kW per 1 kg di liquame in output

$0,000916 * 1$  ora di funzionamento al giorno = **0,000916 kWh**

I valori appena calcolati delle diverse operazioni necessarie per ottenere 1 kg di output di liquame bovino rappresentano tutti gli input necessari per la fase considerata.

Nell'assemblaggio per la fase Liquami bovini occorrerà inserire il totale di kg annuale di liquame prodotto, corrispondente a 4.380.000 kg all'anno derivante da :

$120 \text{ q di liquame al giorno} * 365 \text{ giorni all'anno} = 43.800 \text{ q equivalente a } 4.380.000 \text{ kg all'anno}$

### FASE 3\_SOTTOPRODOTTI ACQUISTATI

In tale fase è compreso solamente il trasporto dei sottoprodotti dalle aziende fornitrici all'azienda agricola Mengoli.

Vengono utilizzate due tipologie di camion : per il 50% un camion da 120 q di portata e per il 50% un camion da 300 q di portata.

I km percorsi a tratta sono compresi tra 7 e 17 km → media risulta di 12 km a pieno carico.

$12 * 1,7 = 20,4$  km totali percorsi a tratta per trasportare i sottoprodotti nel nostro impianto

Nella scheda della fase si inseriscono come input le due tipologie di camion con le rispettive capacità come “**Lorry**”; l'unità di misura è quindi sempre kgkm.

*Lorry da 16 t*

$20,4 : 12.000$  (kg di capacità di carico) = 0,0017 kgkm

Questo camion viene utilizzato al 50%, per cui il valore da inserire per il lorry da 16 risulta dimezzata e cioè  $0,0017 / 2 = \mathbf{0,00085}$  kgkm

*Lorry da 40 t*

$20,4 : 30.000$  (kg di capacità di carico) = 0,00068 kgkm

Anche questo camion è utilizzato per il 50% e quindi si avrà  $0,00068 / 2 = \mathbf{0,00034}$  kgkm

I valori appena calcolati delle diverse operazioni necessarie per ottenere 1 kg di output di sottoprodotti acquistati rappresentano tutti gli input necessari per la fase considerata.

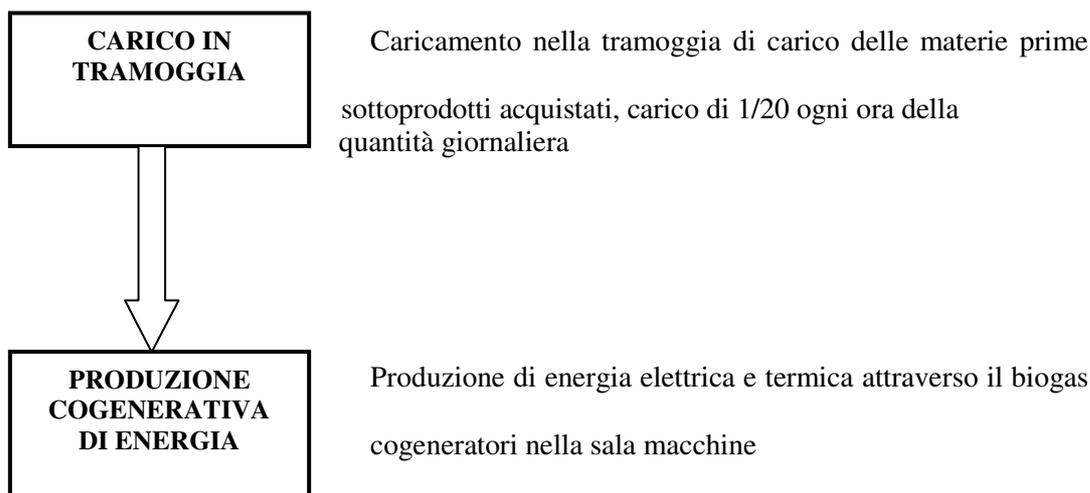
Nell'assemblaggio per la fase Sottoprodotti acquistati occorrerà inserire il totale di kg annuale di sottoprodotti acquistati, corrispondente a 3.650.000 kg all'anno derivante da :

$100$  q di sottoprodotti al giorno \*  $365$  giorni all'anno =  $36.500$  q equivalente a  $3.650.000$  kg all'anno

## MACROFASE 2 : PRODUZIONE BIOGAS E DIGESTATO

Carico in tramoggia delle materie prime necessarie di insilati e sottoprodotti acquistati, pompato poi nella prima vasca di fermentazione; pompaggio dei liquami in tale prima vasca. Biogas prodotto dall'impianto conferito nella sala macchine ai due generatori per la produzione di energia elettrica e termica dal raffreddamento del motore. Infine si avrà la produzione di energia in minima parte auto consumata e per il resto venduto tramite l'immissione in rete; stessa cosa per l'energia termica auto consumata per le esigenze dell'azienda e personali.

### FLOW CHART MACROFASE 2



Nella fase del processo di produzione energetica si è pensato di considerare separatamente l'energia termica ed elettrica, ma di unirle in modo da avere una visione finale globale dell'impatto che deriva dalla produzione di energia e del kWh equivalente prodotto dall'impianto. In questo caso, a differenza del precedente impianto, avremo sempre 1 kWh equivalente come output della fase ma le cui quote parte sono rappresentate solamente da due elementi : la quota parte di energia (termica ed elettrica insieme) e la quota parte di perdita energetica.

Questa scelta deriva dal fatto che nell'impatto di tale fase vi sarebbe stata una suddivisione del peso dell'impatto fra le sue componenti termica ed elettrica in funzione dei diversi kWh annuali prodotti; in questo modo si sarebbe perso di vista l'impatto della produzione di energia tramite motore e cogeneratore, comparando suddivisa la produzione di energia termica da quella elettrica con impatti diversi in base ai rispettivi kWh annuali prodotti dalle due tipologie.

### **FASE 1\_CARICO IN TRAMOGGIA CON COCLEA**

In tale fase avviene il prelievo della materia prima (insilati e sottoprodotti acquistati) dalla tramoggia di carico, tramite l'utilizzo di una coclea che provvede a caricare nella prima vasca fermentativa ogni ora 1/20 della quantità giornaliera immessa.

La coclea è azionata da un motore elettrico che avrà un certo assorbimento di corrente, in particolare nel nostro caso presenta una potenza pari a 1 kW.

All'interno del database si è deciso di prendere in considerazione la macchina elettrica per la produzione di elettricità necessaria ad attivare la coclea "**Electricity Italy B250**" (Energy-Electricity country mix-Medium voltage-electricity italy B250).

L'alimentazione della coclea è in continuo per tutto l'anno!

Per arrivare alla produzione in output di 1 kWh di energia si deve calcolare quante energia assorbe la coclea per effettuare il caricamento delle materie prime nella vasca.

Il carico giornaliero effettuato corrisponde alla somma del carico giornaliero di insilati e sottoprodotti, per cui :

100 q di sottoprodotti acquistati al giorno + 80 q di insilati al giorno = 180 q al giorno caricati in tramoggia

180 q = 18.000 kg al giorno caricati

La coclea funziona per 20 ore al giorno, essendo caricata 1/20 ogni ora della quantità immessa giornalmente

Vi sono due modi di procedere, in base a dove si vuole inserire la presente fase :

1.  $20 \text{ h / giorno} * 1 \text{ kW di potenza della coclea} = 20 \text{ kWh al giorno}$

$20 / 18.000 = \mathbf{0,00111 \text{ kWh}}$  necessari per caricare 1 kg di materia prima

2.  $20 \text{ h / giorno} * 365 = 7.300 \text{ ore all'anno di funzionamento}$

$7.300 * 1 \text{ kW di potenza del motore della coclea} = 7.300 \text{ kWh all'anno di funzionamento}$

$7.300 / 6.818.000 \text{ kWh prodotti all'anno} = \mathbf{0,00107 \text{ kWh}}$  per produrre in output 1 kWh di energia

A seconda di dove vado a inserire la fase di Carico in tramoggia posso utilizzare uno o l'altro valore di kWh.

Nel nostro caso essendo la fase inserita come fase a sé all'interno della macrofase riguardante la produzione di energia riferisco i kWh consumati dalla coclea al caricamento di 1 kg di materia prima e quindi il valore del caso 1; in alternativa inserendo la fase di Caricamento come input nella fase Produzione cogenerativa di energia si sarebbero dovuti riferire i kWh consumati dalla coclea alla produzione di 1 kWh di energia.

Nell'assemblaggio, avendo scelto la modalità 1, si inserisce come valore totale i kg totali caricati all'anno dalla coclea :

$18.000 \text{ kg al giorno} * 365 = 6.570.000 \text{ kg caricati all'anno}$

## **FASE 2\_PRODUZIONE COGENERATIVA DI ENERGIA**

Tale fase sta ad indicare il vero e proprio processo produttivo dell'impianto e cioè la produzione di elettricità per le utenze elettriche (eventualmente vendita) e di calore per le utenze termiche (riscaldamento stalle, vasche fermentative e abitazione dell'azienda agricola).

Nel realizzare tale fase si è considerata una unica fase al cui interno vi sono i sottoprocessi :

**VASCHE FERMENTAZIONE + GASOMETRO + COGENERATORE E MOTORE**

La presente fase ha in testa la fase di carico delle materie prime insilati e sottoprodotti tramite coclea nella prima vasca e il pompaggio dei liquami dalle stalle nella prima vasca; in coda la fase ha la vasca del digestato in cui si riversa la materia prima dopo il trattamento di fermentazione.

350 kW erogati totali dall'impianto

8.700 ore di funzionamento all'anno

La produzione annua di energia risulta così suddivisa :

2.500.000 kWh di energia elettrica + 3.500.000 kWh di energia termica = 6.000.000 kWh di energia totali

La perdita è del 12% di energia totale prodotta dall'impianto; di conseguenza la produzione di energia utile corrisponderà a un totale di 88%

Ricaviamo la produzione totale di energia annua :

$$6.000.000 + 12\% X = X$$

$$X (1 - 12\%) = 6.000.000$$

$$X = 6.000.000 / (1 - 0,12) = 6.000.000 / 0,88 = 6.818.000 \text{ kWh di energia totale all'anno prodotta}$$

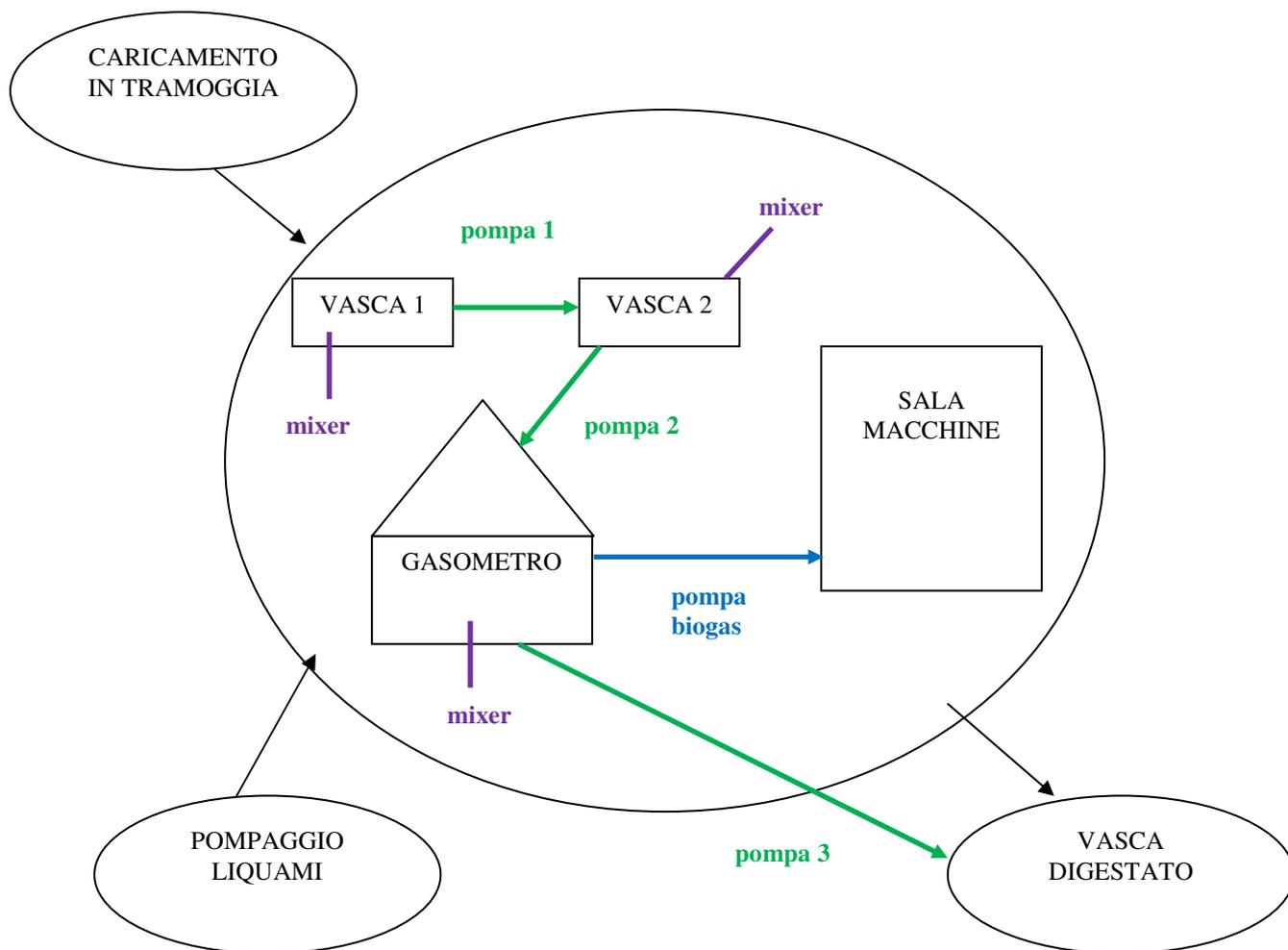
2.500.000 kWh corrispondono al 36,7% dell'energia totale utile prodotta dall'impianto

3.500.000 kWh corrispondono al 51,3% dell'energia totale utile prodotta dall'impianto

In totale quindi l'energia utile prodotta risulta : 36,7 + 51,3 = 88%

818.000 kWh di energia persa all'anno

Per ogni kWh : 36,7% è la quota parte elettrica, 51,3% è la quota parte termica e il 12% sono le perdite



Come si può vedere dalla figura in tale fase vi sono diversi elementi che assorbono energia :

- Le pompe di collegamento tra una vasca e l'altra (pompa 1, pompa 2, pompa 3) per permettere al prodotto della fermentazione di passare da una vasca all'altra
- La pompa che invia il biogas ottenuto dalla terza vasca (il gasometro) alla sala macchine dove verrà utilizzato dai cogeneratori per produrre energia elettrica e dal raffreddamento del motore e dai gas di scarico si produrrà energia termica
- I tre mixer presenti nelle tre vasche per mantenere costantemente mescolato il prodotto della fermentazione ed evitare in questo modo la formazione di croste in superficie dannose per il funzionamento dell'impianto

Tutti questi elementi comportano un assorbimento più o meno elevato di energia, necessaria per il buon funzionamento dell'impianto e per la produzione dell'energia preventivata; i diversi assorbimenti di questi elementi sono considerati come gli input della presente fase per produrre il kWh equivalente di energia. Inoltre vi è anche il consumo energetico di corrente del motore e cogeneratore per il loro funzionamento e poter così produrre l'energia.

Tali elementi sono tutti controllati dal PLC, sistema di controllo che governa tutto l'impianto.

Per considerare gli assorbimenti energetici causati dai motori, dalle tre pompe, dai tre mixer e dalla pompa del biogas nel database è stata considerata la voce "**Electricity Italy B250**" dalla categoria Energy – Electricity Country Mix – Medium Voltage.

#### Assorbimento delle 3 pompe

La pompa utilizzata per pompare il prodotto della fermentazione nelle varie vasche dell'impianto è una DODA da 18 kW che funziona 1,5 ore al giorno

Le ore di funzionamento annuali di ogni pompa sono :

$1,5 * 365 \text{ gg /anno} = 547,5 \text{ ore di funzionamento all'anno di ognuna delle tre pompe}$

Considerando tre pompe avremo :

$547,5 * 3 = 1.642 \text{ ore all'anno di funzionamento totale delle pompe dell'impianto}$

$1.642 * 18 \text{ kW (potenza pompa)} = 29.556 \text{ kWh elettrici totali consumati dalle pompe dell'impianto}$

$29.556 \text{ kWh elettrici consumati} / 6.818.000 \text{ kWh totali prodotti dall'impianto} = \mathbf{0,00433}$   
**kWh** assorbiti dalle tre pompe dell'impianto per ottenere in output 1 kWh equivalente di energia

### Assorbimento dei 3 mixer nelle vasche 1 e 2 e nel gasometro

I mixer utilizzati hanno diverse potenze, in particolare ve ne sono due da 18 kW e uno da 15 kW e funzionano per 6 minuti ogni 20 minuti.

Funzionamento in continuo.

Funzionando 6 minuti ogni 20 si può dire che i mixer funzionano tre volte in un'ora, per cui :

3 volte ogni ora \* 6 minuti = 18 minuti di funzionamento ogni ora

18 \* 24 ore al giorno \* 365 giorni all'anno = 157.680 minuti all'anno di funzionamento per ogni mixer.

$157.680 / 60 = 2.628$  ore di funzionamento all'anno per ogni mixer

Suddividiamo il funzionamento totale dei mixer nelle due tipologie di mixer :

- *2 Mixer da 18 kW*

$2.628$  ore all'anno \* 2 = 5.256 ore all'anno funzionamento di due mixer

$5.256 * 18 \text{ kW} = 94.608 \text{ kWh}$  all'anno di funzionamento dei due mixer

- *1 Mixer da 15 kW*

$2.628$  ore all'anno \* 15 kW = 39.420 kWh all'anno di funzionamento del mixer

In totale quindi avremo :

$94.608 + 39.420 = 13.028 \text{ kWh}$  di funzionamento all'anno dei tre mixer.

$13.028 / 6.818.000 \text{ kWh}$  annuali prodotti dall'impianto = **0,0196 kWh** consumati dai 3 mixer per ottenere in output 1 kWh di energia

### Assorbimento motore

Si hanno due motori : un motore Deutz da 240 kW e un motore Man da 110 kW.

L'assorbimento del motore è stimato nel 2% delle'energia elettrica totale prodotta all'anno

2% di 2.500.000 kWh all'anno = 50.000 kWh all'anno assorbiti dai due motori

50.000 / 6.818.000 kWh all'anno prodotti di energia = 0,00733 kWh assorbiti dal motore per produrre 1 kWh di energia

#### Assorbimento della pompa del biogas

Per pompare il biogas dal gasometro alla sala macchine si utilizza una soffiante da 2,5 kW con un assorbimento di 2,4 kWh al giorno.

2,4 kWh al giorno \* 365 gg / anno = 876 kWh all'anno assorbiti dalla pompa del biogas

876 / 6.818.000 kWh prodotti all'anno dall'impianto = **0,000128 kWh** assorbiti dalla pompa del biogas per ottenere in output 1 kWh di energia

Nell'assemblaggio inserirò per la fase Produzione cogenerativa di energia il valore di 6.000.000 kWh derivante da :

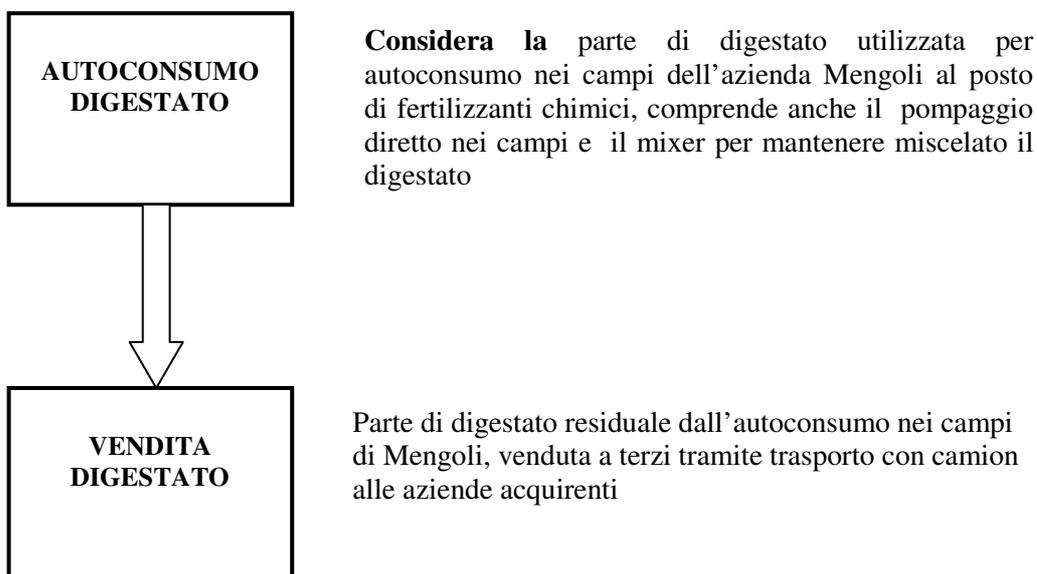
2.500.000 kWh elettrici + 3.500.000 kWh termici

Per la perdita inserirò il valore di 818.000 kWh di energia persa.

### **MACROFASE 3 : UTILIZZO DIGESTATO**

In tale fase si parte dalla produzione del digestato derivante dalla vasca gasometro pompata nella vasca del digestato finale. Il digestato finale è destinato a due utilizzi : autoconsumo nei campi mediante un sistema di pompaggio direttamente dalla vasca nei campi dell'azienda, oppure la vendita dell'esubero del digestato non auto consumato ad aziende terze tramite trasporto con camion alle aziende acquirenti.

### FLOW CHART MACROFASE 3



Digestato totale prodotto dall'impianto equivale, in massa, alla quantità immessa in input all'impianto; in pratica ciò che entra è uguale a ciò che esce, come quantità.

### FASE 1\_AUTOCONSUMO DIGESTATO

Pompa utilizzata per pompare il digestato dalla vasca direttamente nei campi dell'azienda agricola Mengoli è una Doda da 90 kW che funziona per 120 ore all'anno.

Mixer utilizzato per mantenere costantemente miscelato anche il digestato per non creare "croste" superficiali da 16 kW, funzionamento per 6 minuti ogni 20 minuti sempre.

Per considerare gli assorbimenti energetici causati dalla pompa per pompare il digestato nei campi e dal mixer della vasca del digestato è stata considerata la voce "**Electricity Italy B250**" dalla categoria Energy – Electricity Country Mix – Medium Voltage.

Assorbimento pompa per pompare il digestato nei campi

120 ore all'anno utilizzo pompa \* 90 kW = 10.800 kWh all'anno assorbiti dalla pompa per pompare il digestato nei campi dell'azienda

10.800 / 6.818.000 kWh annuali totali di energia prodotta = **0,00158 kWh** assorbiti dalla pompa per pompare il digestato nei campi per ottenere in output 1 kWh di energia

Mixer per rimescolare il digestato nella sua vasca

Mixer funziona come i mixer precedenti e quindi presenta un funzionamento di 2.628 ore all'anno

2.628 \* 16 kW di potenza del mixer = 42.048 kWh all'anno consumati dal mixer nella vasca del digestato

42.048 / 6.818.000 kWh annuali totali prodotti dall'impianto = **0,00617 kWh** assorbiti dal mixer della vasca del digestato

Nell'assemblaggio il totale di digestato auto consumato nei campi dell'azienda risulta di 4.800.000 kg all'anno, derivante da :

300 q al giorno di digestato prodotto dall'azienda (300 q di materie prime in input all'impianto al giorno)

300 \* 365 = 109.500 q all'anno di digestato prodotto dall'impianto

Nei campi possono essere utilizzati al massimo 800 q all'anno di digestato

Azienda possiede 60 ha di terreno coltivati

800 q (quantità massima utilizzabile nei campi) \* 60 ha di terreno = 48.000 q all'anno di digestato da utilizzare nei campi dell'azienda agricola, corrispondente a 4.800.000 kg di digestato

## **FASE 2\_VENDITA DIGESTATO**

Digestato totale utilizzato nei campi dell'azienda all'anno, e quindi digestato totale per autotocumo, risulta di 48.000 q.

Il totale di digestato prodotto dall'azienda all'anno è di 109.500 q (300 q al giorno \* 365 gg / anno).

$109.500 - 48.000 = 61.500$  q di digestato residuale dall'autoconsumo e perciò venduto a terzi tramite distribuzione con carro botte alle aziende utilizzatrici e acquirenti del digestato, equivalente a 6.150.000 kg

Si utilizza un carro botte, si tratta di un trattore con la funzionalità di carro botte con capacità di carico compresa tra 120 e 190 q → media di capacità di portata risulta di 155 q.

In media il carro botte compie 2 km a pieno di tragitto per trasportare il digestato alle aziende acquirenti, successivamente torna all'azienda Mengoli a vuoto.

Si è inserito il mezzo di trasporto tra quelli esistenti del database: “**Tractor and Trailer**” all'interno della categoria Transport-Road-Tractor and trailer e si è calcolata la tratta percorsa per effettuare la distribuzione del digestato venduto agli utilizzatori.

L'unità di misura richiesta dal programma è kgkm, che indica i **km percorsi da 1 kg**.

$2 \text{ km} * 1,7 = 3,4$  km totali percorsi per distribuire il digestato in esubero dell'azienda agli acquirenti

$3,4 / 15.500 \text{ kg di portata del carro botte} = \mathbf{0,000219 \text{ kgkm}}$

Nell'assemblaggio si considera per la presente fase il totale di digestato venduto corrispondente a :

6.150.000 kg

## TOTALI

Quando si realizza l'assemblaggio delle diverse fasi per consultare i risultati totali di impatto ambientale, vengono selezionate le fasi di interesse per quell'assemblaggio e indicate le quantità annue totali :

Colture dedicate : 2.920.000 kg

Liquami bovini : 4.380.000 kg

Sottoprodotti acquistati : 3.650.000 kg

Da queste materie prime si ottengono i 300 q al giorno caricati in input all'impianto, corrispondenti a :

$300 * 365 = 109.500$  q equivalenti a 1.090.000 kg di materie prime in input

Caricamento in tramoggia con coclea : 6.570.000 kg di insilati e sottoprodotti (2.920.000 + 4.380.000)

Perdita di energia : 818.000 kWh (corrispondente al 12% del totale annuo di energia prodotto di 6.818.000)

Produzione cogenerativa di energia : 6.000.000 kWh (corrispondente all'88% di energia prodotta annuale di 6.818.000, suddivisa in 51,3% di energia termica e 36,7% di energia elettrica)

Vendita digestato : 6.150.000 kg

Autoconsumo digestato : 4.800.000 kg

#### **5.4.2. Risultati con metodo Eco-Indicator99**

Completato l'inventario delle emissioni e dei consumi di risorse imputabili all'impianto di produzione cogenerativa di Castel d'Aiano con approvvigionamento La Fenice, è possibile, attraverso modelli predisposti all'interno del software SimaPro 6.0, giungere alla valutazione dell'entità con cui ogni singola fase contribuisce al punteggio relativo alle varie categorie di danno considerate : *Carcinogens, Respiration organics, Respiration inorganics, Climate change, Radiation, Ozone layer, Ecotoxicity, Acidification/Eutrophication, Land Use, Minerals e Fossil fuels.*

Dall'analisi della tabella sotto riportata è possibile risalire all'entità del danno con cui ciascuna fase contribuisce alla definizione del punteggio totale, relativo alle diverse categorie di impatto considerate nel metodo degli *Eco-indicator99*

SimaPro 6.0		Data:	15/11/2010	Periodo:	12.08.46					
Titolo:	Analizzando 1 p assemblaggio 'Assemblaggio Mengoli'									
Metodo:	Eco-indicator 99 (H) V2.1 / Europe EI 99 H/A									
Valore:	Valutazione dei danni									
Categoria d'impatto	Unità	Totale	Colture dedi	Liquami bovini	Sottoprodotti	Caricamento	Perdita di en	Vendita digest	Autoconsumo digest	Produzione di en
Carcinogens	DALY	0,00747	3,79E-08	0,000136	4,15E-08	0,000247	0,000125	0,00000011	0,000257	0,00671
Resp. organics	DALY	0,000284	2E-11	0,00000516	1,02E-09	0,00000938	0,00000474	5,79E-11	0,00000976	0,000255
Resp. inorganics	DALY	0,0884	1,68E-07	0,00161	9,01E-07	0,00292	0,00147	0,000000486	0,00303	0,0793
Climate change	DALY	0,0287	2,76E-08	0,000521	1,45E-07	0,000947	0,000479	8,01E-08	0,000984	0,0257
Radiation	DALY	1,91E-13	3,2E-14	2,03E-30	6,65E-14	x	x	9,3E-14	x	x
Ozone layer	DALY	0,000081	1,06E-12	0,00000147	1,6E-12	0,00000267	0,00000135	3,08E-12	0,00000278	0,0000727
Ecotoxicity	PDF*m2yr	4760	0,000768	86,5	0,0223	157	79,5	0,00223	163	4270
Acidification/ Eutrop	PDF*m2yr	2700	0,000828	49	0,0329	89	45	0,0024	92,6	2420
Land use	PDF*m2yr	0,0437	0,00825	5,22E-19	0,0115	x	x	0,0239	x	x
Minerals	MJ surplus	0,0993	0,0219	1,38E-18	0,0139	x	x	0,0635	x	x
Fossil fuels	MJ surplus	2,28	0,224	1,42E-17	1,41	x	x	0,652	x	x

### Risultati dell'analisi del Ciclo di Vita della produzione del biogas con il metodo Eco-Indicator99 per le varie categorie d'impatto

Si è notato, in particolare per le categorie *Carcinogens*, *Respiration Organics*, *Respiration Inorganics*, *Climate Change*, *Ozone Layer*, *Ectotoxicity*, *Acidification/Eutrophication*, che la fase che contribuisce maggiormente al relativo punteggio è la produzione di energia, mentre per la categoria *Radiation* la fase maggiormente impattante risulta le colture dedicate. Per la categoria *Land Use*, *Minerals* e *Fossil Fuels* la fase maggiormente impattante è la vendita del digestato; a seguire per tali categorie la fase più impattante risulta le colture dedicate.

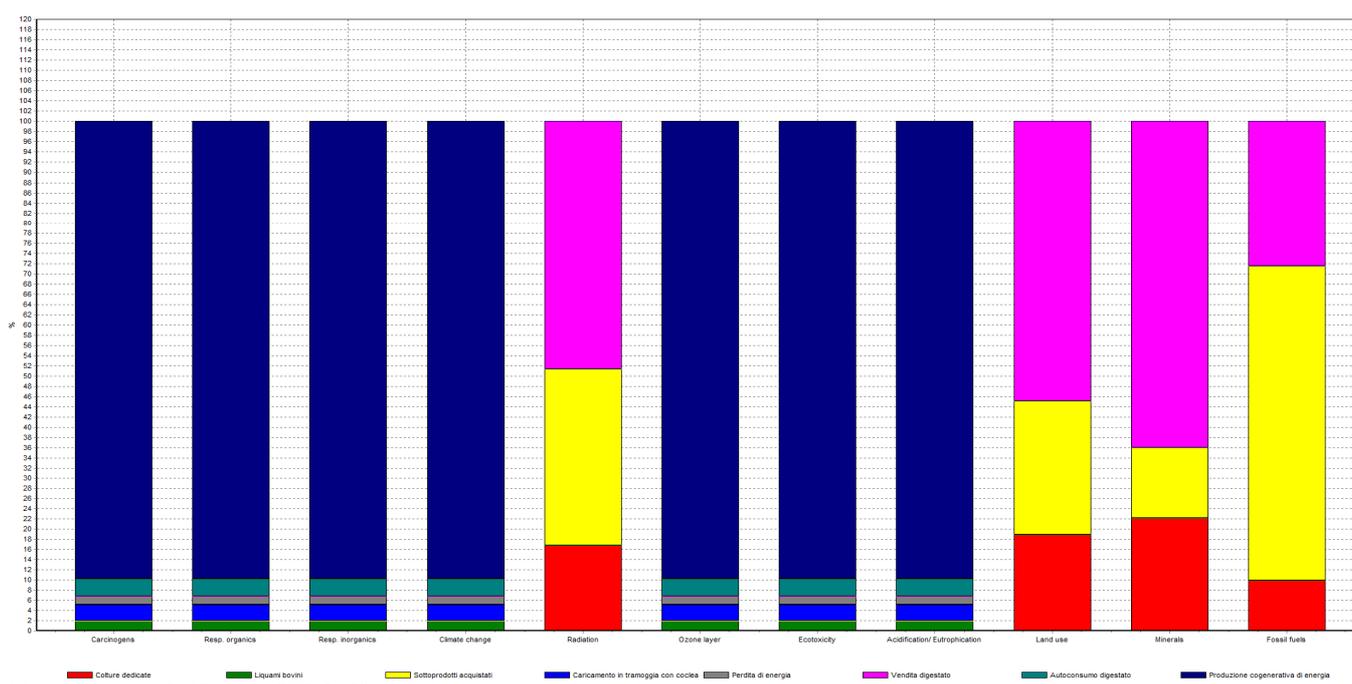
Il Grafico sottostante (istogramma) esprime in percentuale il contributo che le varie fasi portano alla definizione del punteggio complessivo, relativo alle differenti categorie di impatto. In pratica visualizza graficamente e quindi in maniera immediata quanto appena detto osservando la tabella precedente.

Si vede infatti che la fase maggiormente impattante risulta la Cippatura (gialla) e il taglio (rossa); inoltre viene evidenziato come il trasporto del cippato all'impianto, l'esbosco e il trasporto ceneri siano anch'essi abbastanza impattanti e in particolare impattano molto solo su *Land Use*, *Minerals* e *Fossil fuels* e non sulle prime categorie legate alla salute e all'ecosistema.

La procedura generale di un'analisi del ciclo di vita di un prodotto, condotta mediante il metodo degli *Eco-indicator*, prevede che i diversi tipi di impatto siano raggruppati per categorie e, successivamente, venga calcolato un punteggio globale: in tal modo è possibile riferirsi a macrocategorie di impatto, piuttosto che alle singole tipologie di danno riscontrate.

Le tre macrocategorie d'impatto sono :

1. Human Health (Salute umana); ad essa contribuiscono: *Carcinogens, Respiration organics, Respiration inorganics, Climate change, Radiation e Ozone layer.*
2. Ecosystem Quality (Qualità dell'ecosistema); ad essa contribuiscono: *Ecotoxicity, Acidification/Eutrophication e Land Use.*
3. Resources (Sfruttamento delle risorse); ad essa contribuiscono: *Minerals e Fossil fuels.*



**Contributo, espresso in percentuale, delle varie fasi della produzione del biogas alla definizione del punteggio complessivo relativo alle differenti categorie di impatto, con il metodo degli *Eco-indicator 99*.**

## LEGENDA :

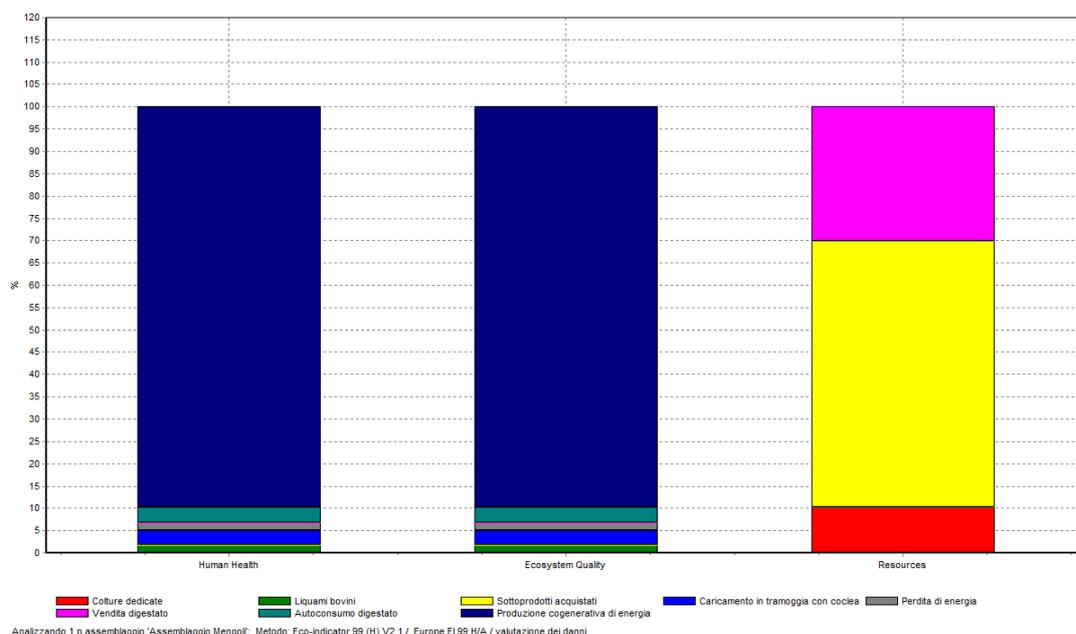
	Colture dedicate		Autoconsumo
	Liquami bovini		Produzione cogenerativa di energia
	Sottoprodotti acquistati		Vendita digestato
	Caricamento in tramoggia con coclea		Perdita di energia

Sotto riportiamo anche il grafico (istogramma) relativo solo alle 3 macro categorie elencate, per avere un'idea ancora più chiara ed immediata dell'impatto delle diverse fasi a livello più macro.

Si può notare come la fase di produzione di energia sia la più impattante nella macro categoria Salute Umana ed Ecosistema e non compaia invece nella categoria Risorse; questo è da imputare al fatto che per la produzione cogenerativa di energia avviene un consumo di elettricità da parte dei tre mixer e delle 3 pompe impiegate nell'impianto con consumi abbastanza consistenti; in particolare i mixer che funzionano per un numero elevato di ore (18 minuti ogni ora!). L'uso di tale elettricità è sicuramente dannosa per la salute umana e per l'ecosistema pianeta in quanto per produrla occorre l'utilizzo di combustibili fossili con la conseguente emissione in atmosfera di sostanze dannose.

Infine si nota come la fase sottoprodotti acquistati e vendita digestato (che includono l'utilizzo di un mezzo di trasporto) e in misura minore le colture dedicate siano le più impattanti per la categoria Risorse, in quanto le prime due consistono in un trasporto che emette quantità di CO<sub>2</sub> nell'ambiente utilizzando combustibili fossili (risorse), nonostante il tragitto compiuto sia comunque limitato rispetto all'impianto di Castel d'Aiano; le colture dedicate invece incidono su questa macrocategoria in quanto si tratta di utilizzare trattori per seminare e trinciare che emettono CO<sub>2</sub> nell'atmosfera, nell'utilizzo di acqua per irrigare e inoltre comporta anche l'utilizzo di risorse naturali, anche se le quantità in gioco di acqua d'irrigazione e di km compiuti per seminare e trinciare sono limitate.

Ovviamente le colture dedicate incidono in misura minore delle altre due fasi, in quanto innanzitutto le quantità in gioco sono molto minori delle altre due fasi; inoltre la semina viene effettuata una volta all'anno e i km effettuati dal trattore sono nettamente inferiori ai km effettuati dagli altri mezzi di trasporto per la vendita digestato e per il trasporto dei sottoprodotti.



**Contributo, espresso in percentuale, delle varie fasi alla definizione del punteggio complessivo relativo alle tre macro categorie di impatto, con il metodo degli *Eco-indicator 99*.**

Si può notare che per la macro categoria Risorse la fase sottoprodotti acquistati incide maggiormente della vendita digestato, nonostante la quantità trasportata nella vendita del digestato sia il doppio della quantità trasportata di sottoprodotti. Tale risultato però deriva dal fatto che per il trasporto dei sottoprodotti si compie una distanza molto maggiore del tragitto effettuato per trasportare il digestato agli acquirenti (12 km in media per i sottoprodotti contro i 2 km per il digestato); in questo modo il numero dei km percorsi in totale in un anno risulterà sicuramente maggiore, anche se la quantità trasportata è nettamente inferiore.

SimaPro 6.0		Data:	15/11/2010	Periodo:	12.09.05					
Titolo:	Analizzando 1 p assemblaggio 'Assemblaggio Mengoli'									
Metodo:	Eco-indicator 99 (H) V2.1 / Europe EI 99 H/A									
Valore:	Valutazione dei danni									
Categoria di danno	Unità	Totale	Culture ded	Liquami bov	Sottoprodotti	Caricamento	Perdita di en	Vendita digest	Autoconsumo digest	Produzione di en
Human Health	DALY	0,125	2,33E-07	0,00227	0,00000109	0,00412	0,00208	0,000000677	0,00429	0,112
Ecosystem Quality	PDF*m2yr	7460	0,00985	135	0,0666	246	124	0,0286	256	6700
Resources	MJ surplus	2,38	0,246	1,56E-17	1,42 x	x		0,715 x		x

### Risultati dell'analisi del Ciclo di Vita di produzione del biogas con il metodo Eco-Indicator99 per le tre macro categorie d'impatto

Nel diagramma sottostante invece (il network) è riportato il contributo delle singole fasi alla definizione del punteggio totale dell'impatto, ottenuto con il metodo degli *Eco-indicator 99* considerando tutti i fattori d'impatto.

Nel diagramma viene evidenziato che la fase a maggior impatto ambientale risulta la produzione cogenerativa di energia : tale fase è rappresentata infatti con una freccia rossa di maggiore spessore.

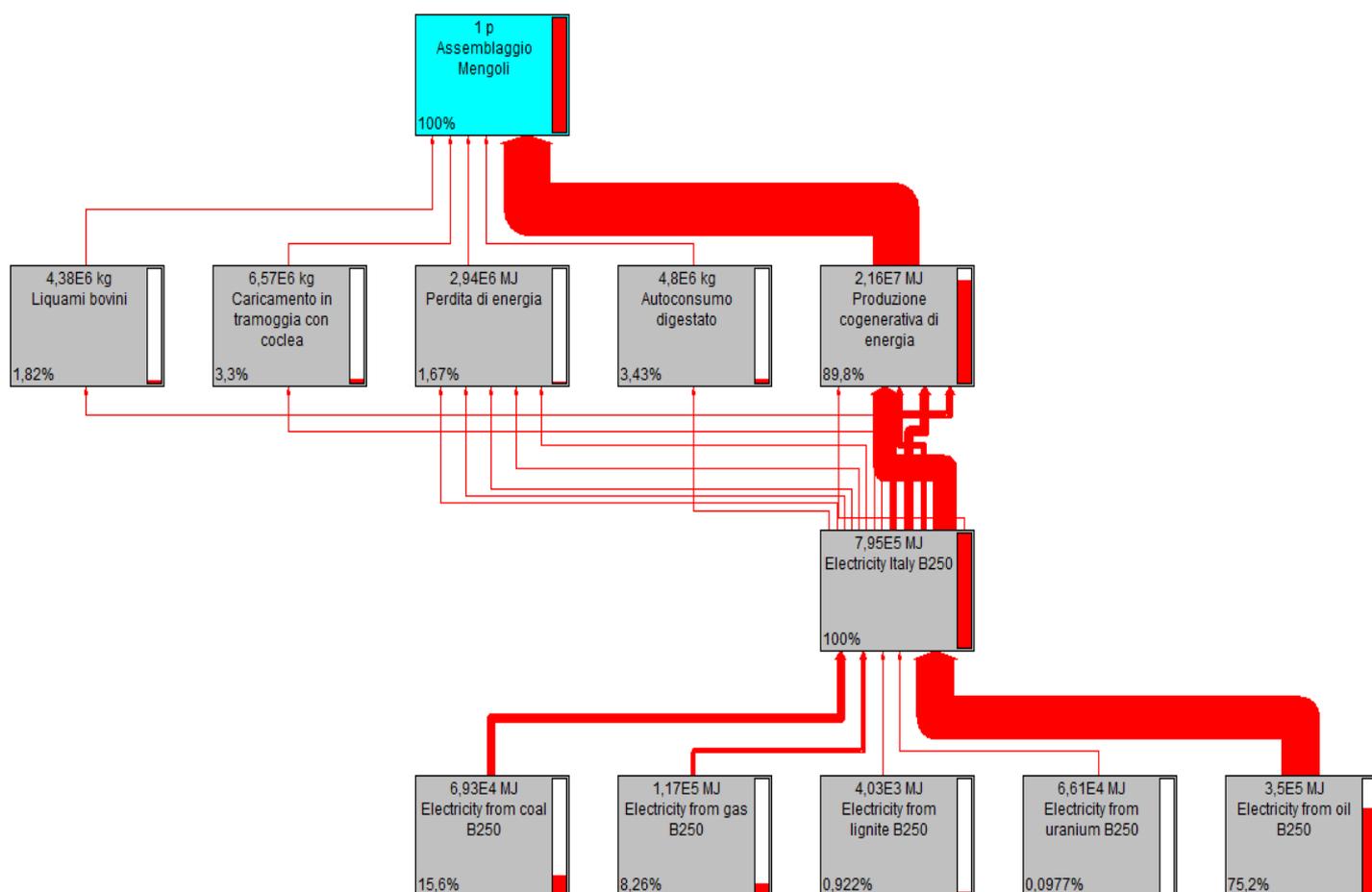
Successivamente alla produzione di energia, distanziata, abbiamo l'autoconsumo digestato e il caricamento in tramoggia con coclea come fasi a maggiore impatto.

Ovviamente scendendo nel dettaglio di tale diagramma saranno rappresentate tutte le altre fasi che appariranno in ordine di impatto ambientale decrescente (più si scende nel dettaglio e più compariranno anche tutti gli input che concorrono in ogni fase), infatti possiamo notare a minimo impatto globale la fase di liquami bovini.

Le fasi che risultano da tale network sono le più impattanti dal punto di vista globale, considerando cioè tutti i fattori d'impatto e non singolarmente uno ad uno.

Quindi si evince, facendo un bilancio ambientale complessivo, che la fase a maggiore impatto risulta essere la produzione cogenerativa di energia, in quanto tale fase consuma molta energia (in tale fase sono inclusi i consumi delle tre pompe disposte tra una vasca e l'altra e dei tre mixer presenti in ogni vasca di fermentazione, per i quali elementi occorre di conseguenza un elevato consumo di combustibile fossile che emette quindi in atmosfera sostanza dannose), soprattutto ad opera più dei mixer che delle pompe essendo in funzione per un numero di ore molto elevato all'anno (18 minuti ogni ora in continuo).

E' dunque evidente che in proporzione, in confronto, il trasporto impatta globalmente in misura minore di quest'ultima; anche questo risultato è logico in quanto il trasporto è contenuto nell'arco di 100 km, raggio di distanza in cui sono stati compiuti studi dai quali risulta una distanza per cui l'impatto del trasporto non è estremamente rilevante.



Si può notare come le fasi a maggiore impatto siano : in primis la produzione cogenerativa di energia con un 89,9% (utilizzo di pompe e soprattutto di mixer utilizzati per un numero elevato di ore che consumano molta energia derivante dall'utilizzo di combustibile fossile), a seguire distanziata la fase di autoconsumo digestato con un 3,43% di incidenza e il caricamento in tramoggia con un 3,3% di incidenza.

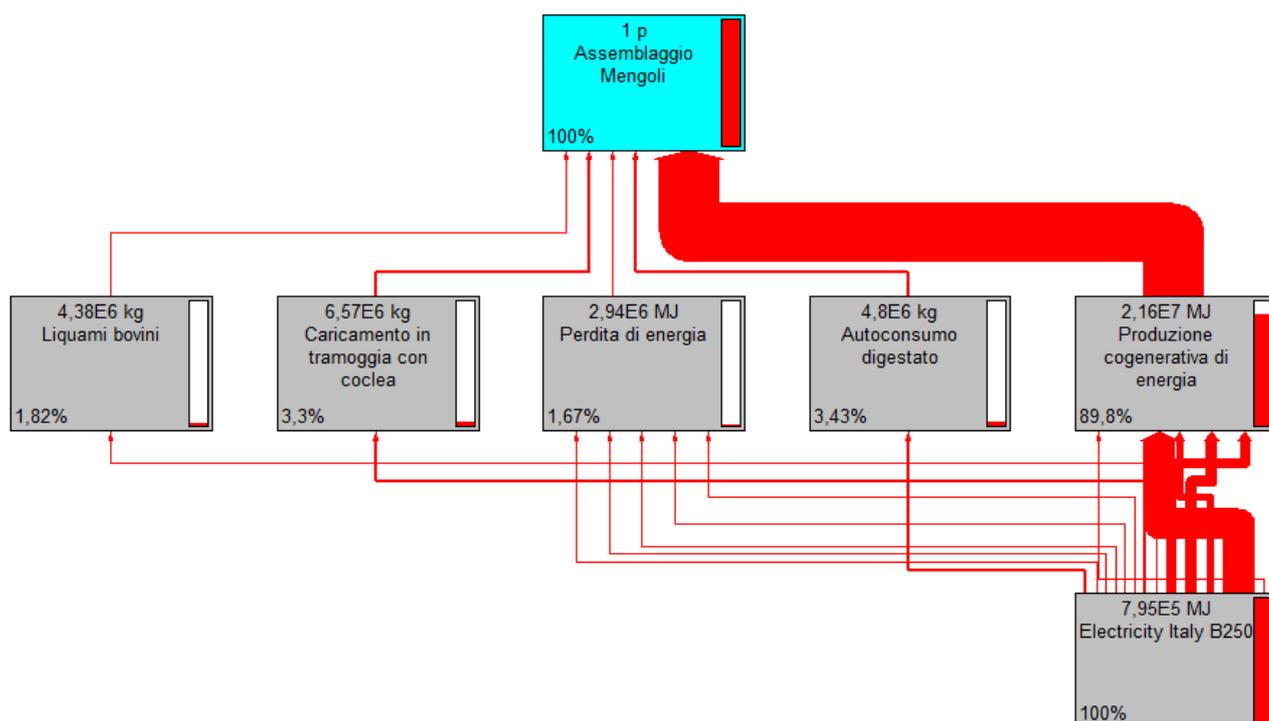
L'impatto del caricamento deriva dal fatto che tale fase richiede un consumo di elettricità per far funzionare la pompa che carica le materie prime nella prima vasca, seppure minima rispetto alle altre fasi risulta però impattante dal punto di vista ambientale, trattandosi di elettricità prodotta da combustibili fossili (occorre comunque sempre un prelievo esterno di energia per il funzionamento); l'impatto dell'autoconsumo digestato

deriva anch'esso dall'utilizzo di elettricità da fonte fossile per il funzionamento della pompa per il pompaggio del digestato nei campi.

Successivamente vi è la fase dei liquami bovini con un 1,8% di incidenza; tale fase risulta a impatto in quanto per tale fase vi è un consumo di acqua per abbeverare le mucche e di cereali derivanti dai campi per nutrire gli animali, che costituiscono quindi un consumo di risorse in quantità non troppo ridotta (i capi bovini bevono e mangiano molto essendo animali di grosso peso) e inoltre vi è anche il consumo elettrico della pompa per pompare i liquami nella prima vasca.

Da notare che i liquami impattano decisamente meno dell'autoconsumo digestato e del caricamento in tramoggia, nonostante tutte e tre le fasi utilizzino pompe con consumo di elettricità. Occorre tenere presente però che la pompa dei liquami ha una potenza minore della pompa del digestato nei campi (11 kW per la prima contro i 90 kW della seconda); inoltre per quanto riguarda i kg totali da gestire per la pompa per i liquami risultano minori dei kg totali della pompa per il caricamento (infatti il caricamento utilizza una pompa per 6.570.000 kg di materie prime, inferiore ai 4.380.000 kg della pompa dei liquami).

Possiamo anche studiare il network nelle 3 macro categorie e vedere l'incidenza delle diverse fasi più impattanti in ciascuna delle tre.

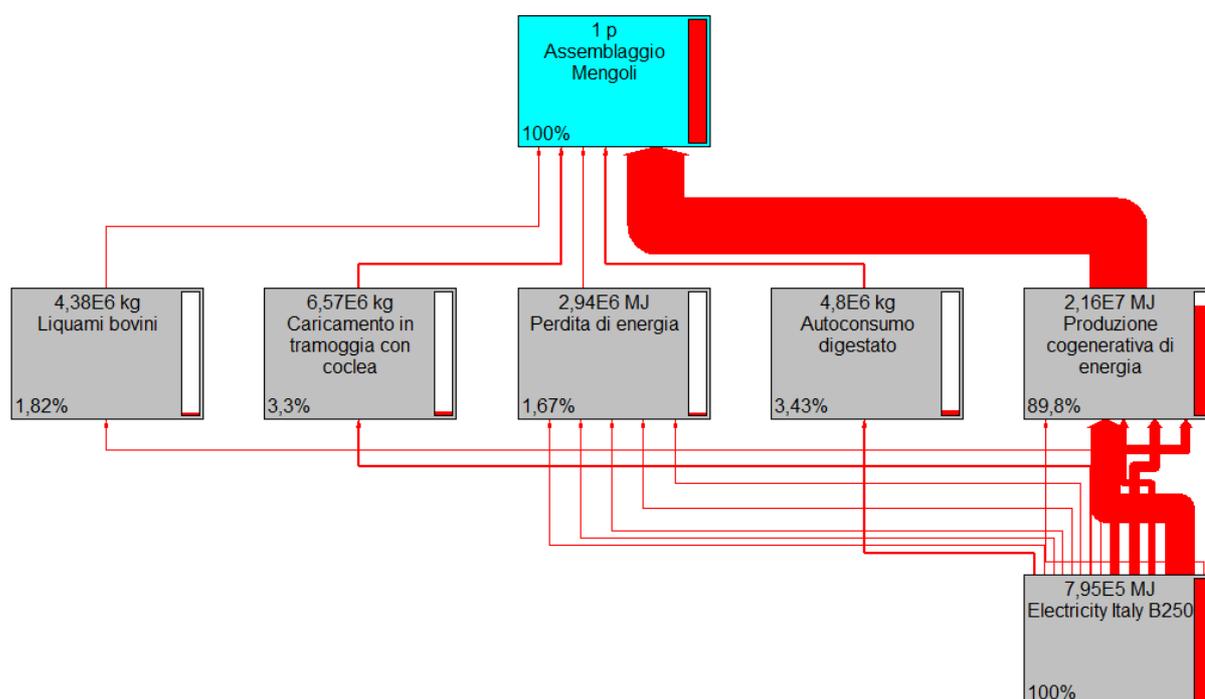


#### Network relativo alla macrocategoria Salute umana (Human Health)

Dall'analisi di questa network vediamo ciò che è stato riscontrato precedentemente (percentuali simili), cioè sulla salute umana impatta per prima la produzione cogenerativa di energia con un 89,9%, a seguire distanziato l'autoconsumo digestato con un 3,43% e il caricamento in tramoggia con un 3,3% e infine i liquami bovini con un 1,8% (la fase maggiormente impattante è sempre appunto la produzione di energia che va a incidere sulle sostanze emesse in atmosfera dannose per la salute umana).

Stesse conclusioni si possono trarre per il network di seguito, relativo alla macro categoria Ecosistema (Ecosystem Quality), la produzione cogenerativa di energia in primis a seguire l'autoconsumo digestato e il caricamento in tramoggia, infine i liquami bovini.

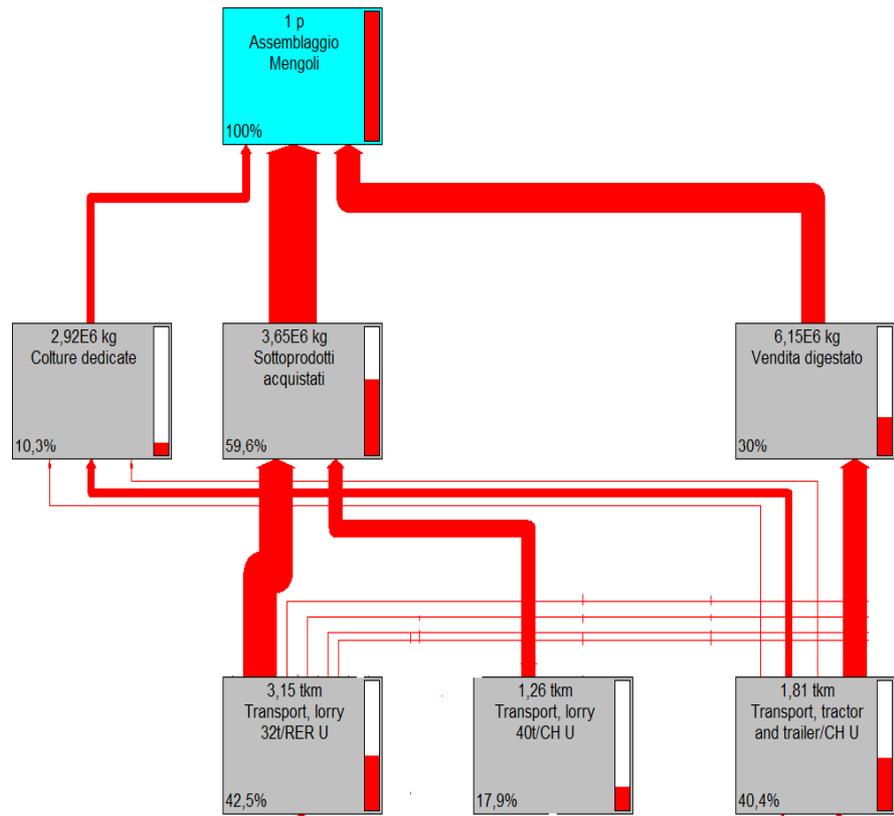
Anche qui la fase a maggiore impatto è la produzione di energia sempre, in quanto va a incidere sulle sostanze emesse in atmosfera dannose anche per l'ecosistema ambientale del pianeta



### Network relativo alla macro categoria Ecosystem Quality

Per il network della macro categoria Risorse (Resources) si evidenziano i risultati esposti precedentemente, cioè l'impatto maggiore deriva dal trasporto dei sottoprodotti acquistati con un 59,6% di incidenza, a seguire il trasporto del digestato venduto con un 30% di incidenza e infine le colture dedicate in misura minore con una percentuale del 10,3%. Questo perché i sottoprodotti acquistati da trasportare compiono una distanza di trasporto molto maggiore del tragitto effettuato per trasportare il digestato agli acquirenti (12 km in media per i sottoprodotti contro i 2 km per il digestato); in questo modo il numero dei km percorsi in totale in un anno risulterà sicuramente maggiore, anche se la quantità trasportata è nettamente inferiore.

Tale metodo considera nella categoria Risorse solo per 1/3 il consumo di risorse (da cui deriverebbe un impatto maggiore della vendita digestato, presentando una quantità trasportata doppia) e per il resto il consumo di combustibili fossili e uso del territorio, che danno quindi un peso maggiore al totale dei km percorsi, visto che più km si fanno e più l'impatto ambientale è dannoso. Infine per il trasporto dei sottoprodotti viene utilizzato un mezzo con una capacità maggiore del mezzo utilizzato per il trasporto conseguente alla vendita del digestato e questo comporta un incidenza maggiore dell'impatto ambientale in tale metodo, in quanto mezzi di capacità maggiore inquinano maggiormente.



Network relativo alla macrocategoria Resources

### 5.4.3. Risultati con metodo Edip/Umip96

SimaPro 6.0		Data:	15/11/2010	Periodo:	12.12.36					
Titolo:	Analizzando 1 p assemblaggio 'Assemblaggio Mengoli'									
Metodo:	EDIP/UMIP 96 V2.1 / EDIP World/Dk									
Valore:	Caratterizzazione									
Categoria d'impatto	Unità	Totale	Colture dedic	Liquami bov	Sottoprodotti	Caricamento	Perdita di en	Vendita digest	Autoconsumo digest	Produzione di en
Global warming (GWP 100)	g CO2	1,38E+08	133	2510000	696	4570000	2310000	385	4750000	124000000
Ozone depletion	g CFC11	45	0,00000101	0,817	0,00000152	1,49	0,751	0,00000293	1,54	40,4
Acidification	g SO2	1210000	0,31	21900	4,85	39900	20200	0,899	41500	1080000
Eutrophication	g NO3	424000	0,142	7710	7,6	14000	7080	0,412	14600	381000
Photochemical smog	g ethene	3540	0,0348	64,3	0,0892	117	59,1	0,101	122	3180
Ecotoxicity water chronic	m3	4280000	74,1	77700	109	141000	71400	215	147000	3840000
Ecotoxicity water acute	m3	383000	1,99	6950	3,54	12600	6390	5,78	13100	344000
Ecotoxicity soil chronic	m3	2370	0,00358	43,1	0,0568	78,3	39,6	0,0104	81,4	2130
Human toxicity air	m3	1,59E+10	10800	289000000	176000	526000000	266000000	31400	547000000	14300000000
Human toxicity water	m3	977000	23	17700	32,3	32200	16300	66,7	33500	877000
Human toxicity soil	m3	7780	0,00449	141	0,164	257	130	0,013	267	6990
Bulk waste	kg	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Hazardous waste	kg	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Radioactive waste	kg	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Slags/ashes	kg	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Resources (all)	kg	0,0003	0,0000593	3,75E-21	0,0000688	x	x	0,000172	x	x

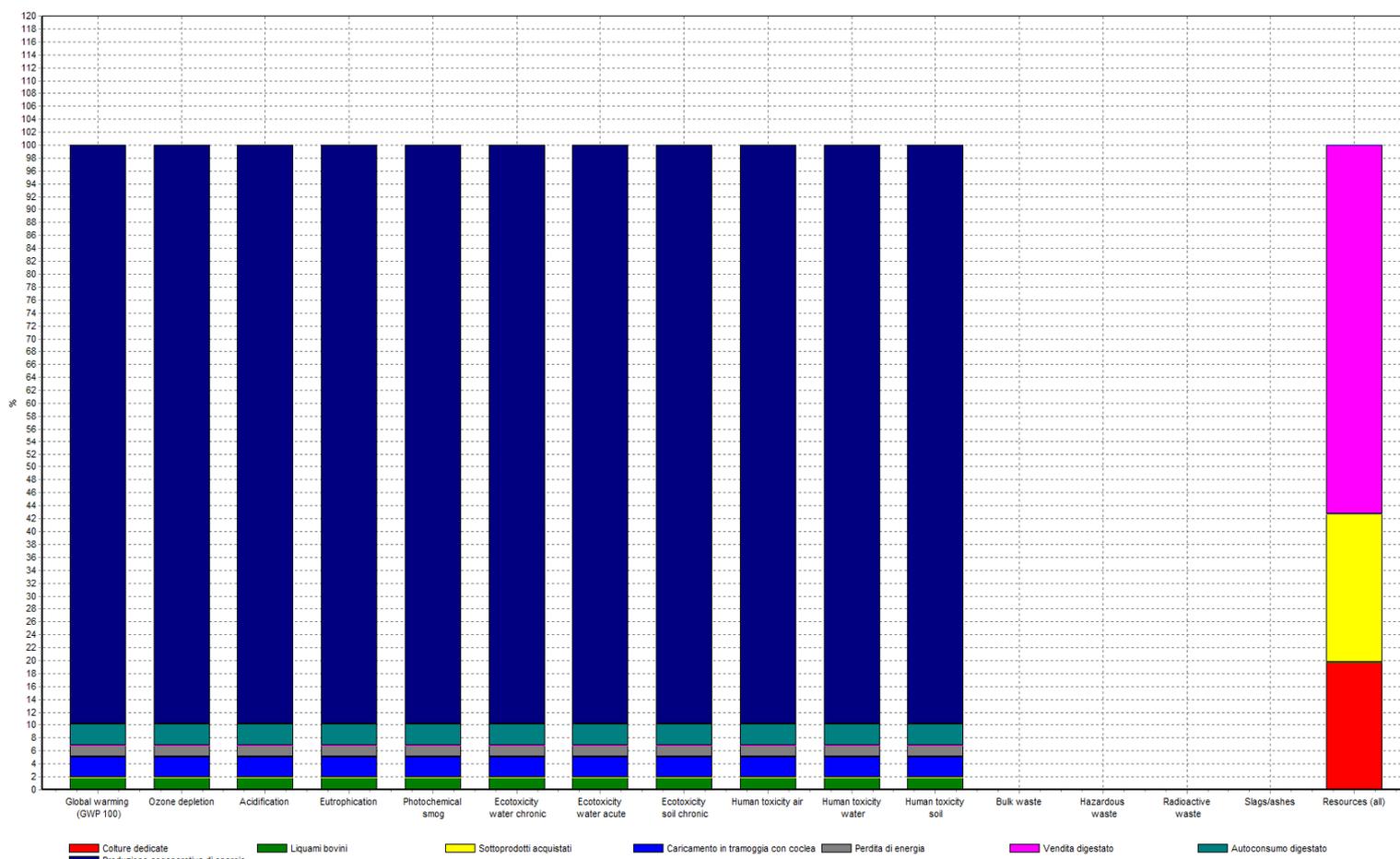
#### Risultati dell'analisi del ciclo di vita della produzione del biogas con il metodo EDIP/UMIP96.

- Il *Global warming (GWP 100)* rappresenta il contributo di ciascuna fase della filiera all'incremento della temperatura media terrestre conseguente all'effetto serra ed è espresso in grammi di anidride carbonica emessa. Esso risulta particolarmente influenzato dalla fase di produzione cogenerativa di energia con 124.000.000 g CO<sub>2</sub>, seguita dalla fase di caricamento in tramoggia con 4.750.000 g CO<sub>2</sub>, successivamente vi è l'autoconsumo digestato con 4.570.000 g CO<sub>2</sub> e infine i liquami bovini con 2.510.000 g di CO<sub>2</sub>.
- L'*Ozone depletion* indica il contributo di ciascuna fase della filiera al deperimento dello strato di ozono stratosferico, ed è valutato in riferimento ai grammi di CFC11 emessi. La fase in cui si riscontra la maggiore emissione di tali sostanze è sempre quella di produzione cogenerativa di energia (40,4 g CFC11), seguita dall'autoconsumo digestato (1,54 g CFC11) e dal caricamento in tramoggia (1,49 g CFC11) e infine dai liquami (0,817 g CFC11).

- L'*Acidification*, espressa in grammi di SO<sub>2</sub>, definisce il contributo di ciascuna fase della filiera all'emissione di solfati, responsabili, tra l'altro, delle piogge acide. Essa risulta influenzata soprattutto dalla fase di produzione cogenerativa di energia (1.080.000 g SO<sub>2</sub>), seguita dalla fase di autoconsumo digestato (41.500 g SO<sub>2</sub>) e caricamento in tramoggia (39.900 g di SO<sub>2</sub>), infine i liquami (21.900 g SO<sub>2</sub>).
- L'*Eutrophication* esprime il contributo di ciascuna fase della filiera all'incremento di nutrienti nelle acque, e viene calcolata in riferimento ai grammi di NO<sub>3</sub>. Essa è influenzata principalmente dalla fase di produzione cogenerativa di energia con 381.000 g NO<sub>3</sub>, seguita da autoconsumo digestato (14.600 g NO<sub>3</sub>) e caricamento in tramoggia (14.000 g NO<sub>3</sub>), infine sempre i liquami (7.710 g NO<sub>3</sub>).
- Il *Photochemical smog* è espresso in grammi di etene. Ad esso contribuisce principalmente la fase di produzione cogenerativa di energia con 3.180 g, seguita dalla fase di autoconsumo digestato con 122 g e dal caricamento in tramoggia con 117g, infine i liquami con 64,3 g.
- L'*Ecotoxicity water chronic* è espressa in m<sup>3</sup>, ed è influenzata dalla fase di produzione cogenerativa di energia con 3.840.000 m<sup>3</sup>, seguita dalla fase di autoconsumo digestato con 147.000 m<sup>3</sup> e il caricamento in tramoggia (141.000 m<sup>3</sup>) e infine i liquami bovini (77.700 m<sup>3</sup>).
- L'*Ecotoxicity water acute* è espressa in m<sup>3</sup>, ed è influenzata nell'ordine, dalla fase di produzione generativa di energia con 344.000 m<sup>3</sup>, seguita dalla fase di autoconsumo digestato con 13.100 m<sup>3</sup> e caricamento in tramoggia ( 12.600), infine il liquami bovini (6.950 m<sup>3</sup>).
- L'*Ecotoxicity soil cronic* è espresso in m<sup>3</sup>, è influenzato dalla fase di produzione cogenerativa di energia, con 2.130 m<sup>3</sup>, seguita dalla fase di autoconsumo digestato con 81,4 m<sup>3</sup> e caricamento in tramoggia con 78,3 m<sup>3</sup> e infine i liquami bovini con 43,1 m<sup>3</sup>.
- All'*Human toxicity air*, calcolata in m<sup>3</sup>, contribuiscono la produzione cogenerativa di energia con 14,3×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>, seguito dalla fase di autoconsumo digestato con 547.000.000 m<sup>3</sup> e di caricamento con 526.000.000 m<sup>3</sup>, infine i liquami bovini con 289.000.000 m<sup>3</sup>.
- All'*Human toxicity water*, calcolata in m<sup>3</sup>, contribuiscono la produzione cogenerativa di energia con 877.000 m<sup>3</sup>, segue l'autoconsumo digestato con 33.500 m<sup>3</sup> e il caricamento in tramoggia con 32.200 m<sup>3</sup>, infine i liquami bovini con 17.700 m<sup>3</sup>.
- All'*Human toxicity soil*, calcolato in m<sup>3</sup>, contribuisce maggiormente la produzione cogenerativa di energia con 6.990 m<sup>3</sup>, seguita dall'autoconsumo digestato con 267 m<sup>3</sup> e dal caricamento in tramoggia con 257 m<sup>3</sup>, infine i liquami bovini con 141m<sup>3</sup>.

▪ *Resources (all)*, espresso in kg, è influenzato principalmente dalla fase di vendita digestato (0,000172 kg), seguita dalla fase di sottoprodotti acquistati (0,0000688 kg) e infine dalle colture dedicate (0,0000593 kg).

Il seguente grafico rappresenta i risultati ottenuti con il metodo EDIP/UMIP 96 relativamente all'analisi del ciclo di vita della produzione del biogas; in particolare, ad ogni categoria di impatto è associato il contributo di ciascuna fase della filiera, espresso in percentuale. In questo modo il grafico evidenzia in maniera immediata e semplice quanto detto finora esplicitato dalla precedente tabella.



**Contributo, espresso in percentuale, delle varie fasi della filiera di produzione del biogas alla definizione del punteggio delle singole categorie di impatto con il metodo EDIP/UMIP 96.**

#### LEGENDA :

	Colture dedicate		Autoconsumo
	Liquami bovini		Produzione
	Sottoprodotti acquistati		Vendita digestato
	Caricamento in tramoggia con coclea		Perdita di energia
			cogenerativa di energia

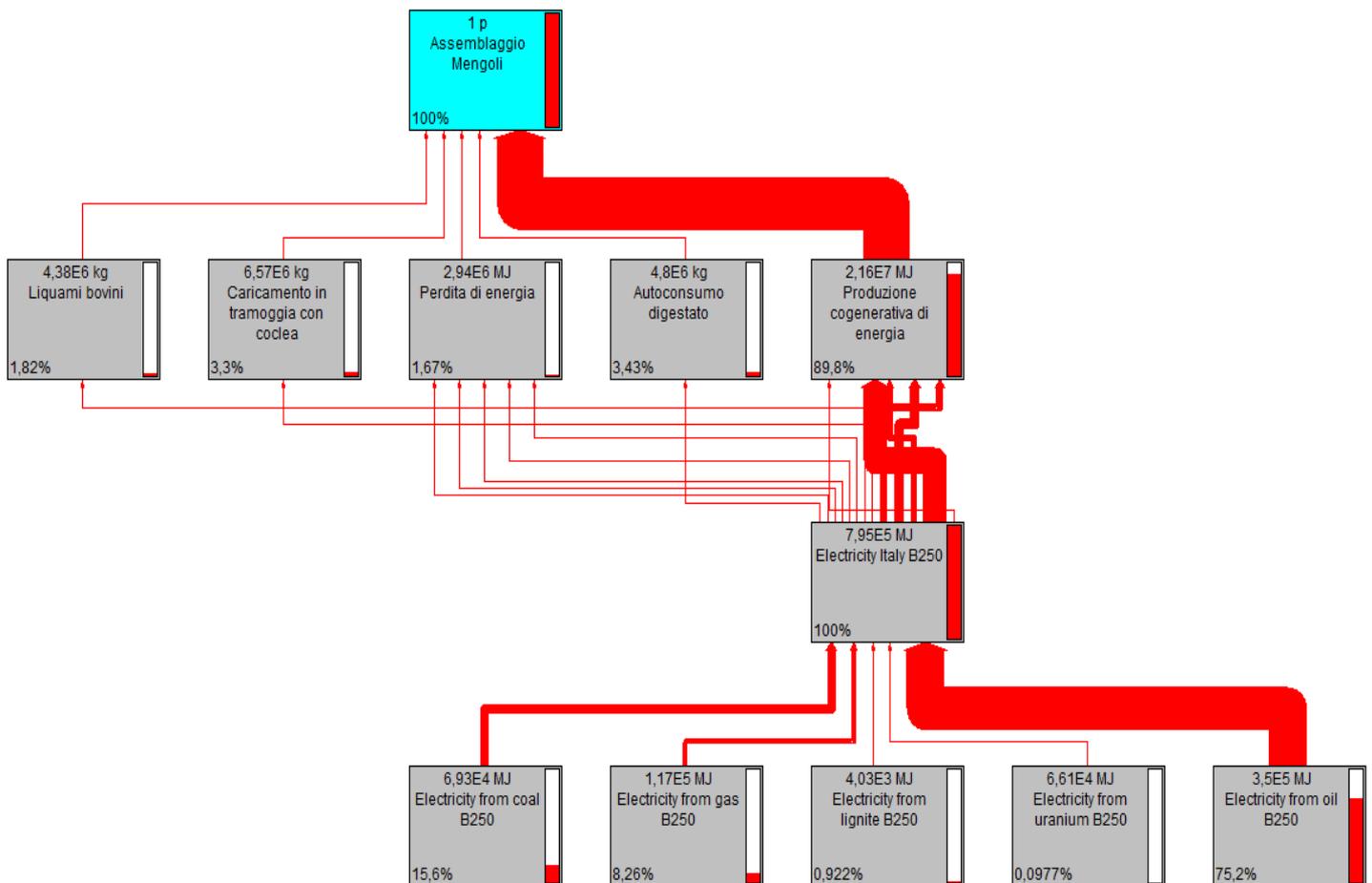
Dall'analisi del presente grafico è possibile evincere come le categorie di impatto: *Global warming (GWP 100)*, *Ozone depletion*, *Acidification*, *Eutrophication*, *Ecotoxicity water chronic*, *Ecotoxicity water acut*, *Photochemical smog*, *Ecotoxicity soil chronic*, *Human toxicity air*, *Human toxicity soil* siano influenzate principalmente dalla fase di produzione cogenerativa di energia.

Alla definizione del punteggio della categoria *Resources (all)* invece le fasi che generano maggiore impatto sono la fase di vendita digestato, sottoprodotti acquistati e infine in misura minore la fase di colture dedicate.

Nel diagramma sottostante (network) è riportato il contributo delle singole fasi alla definizione del punteggio totale dell'impatto, ottenuto con il metodo Edip/Umip96 considerando tutti i fattori d'impatto.

Nel diagramma viene evidenziato che la fase a maggior impatto ambientale risulta la produzione cogenerativa di energia : tale fase è rappresentata infatti con una freccia rossa di maggiore spessore (89,8%); a seguire vi è distanziato l'autoconsumo digestato (3,43%) e il caricamento in tramoggia (3,3%) a maggiore impatto globale, considerando nel suo insieme tutti gli indicatori di impatto e infine i liquami bovini (1,82%).

Come evidenziato, con tale metodo, il network generale di tutti gli indicatori d'impatto risulta identico al network generale con il metodo eco-indicator con anche le stesse percentuali.

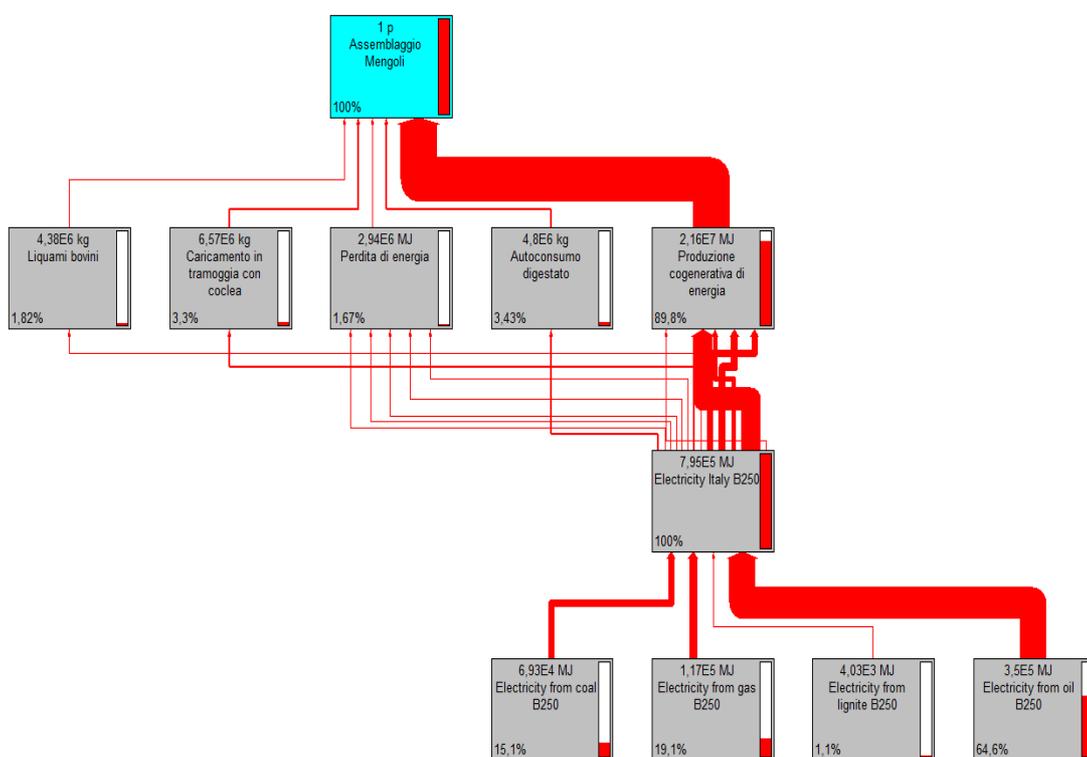


Si possono quindi trarre le medesime conclusioni indicate per il metodo eco.indicator99 : le fasi che risultano da tale network sono le più impattanti dal punto di vista globale, considerando cioè tutti i fattori d'impatto e non singolarmente uno ad uno.

Quindi si evince, facendo un bilancio ambientale complessivo, che la fase a maggiore impatto risulta essere la produzione cogenerativa di energia, in quanto tale fase consuma molta energia (in tale fase sono inclusi i consumi delle tre pompe disposte tra una vasca e l'altra e dei tre mixer presenti in ogni vasca di fermentazione, per i quali elementi occorre di conseguenza un elevato consumo di combustibile fossile che emette quindi in atmosfera sostanze dannose), soprattutto ad opera più dei mixer che delle pompe essendo in funzione per un numero di ore molto elevato all'anno (18 minuti ogni ora in continuo). E' dunque evidente che in proporzione, in confronto, il trasporto impatta globalmente in misura minore di quest'ultima; anche questo risultato è logico in quanto il trasporto è contenuto nell'arco di 100 km, raggio di distanza in cui sono stati compiuti studi dai quali risulta una distanza per cui l'impatto del trasporto non è estremamente rilevante.

Inoltre in tale impianto i km percorsi dal trasporto del digestato e dei sottoprodotti risultano veramente minimi.

Analizzando il network sotto riportato del solo indicatore Global Warming invece possiamo notare i medesimi risultati precedentemente descritti; il risultato è da aspettarselo, in quanto la fase di produzione cogenerativa di energia consuma molta energia per via delle pompe e soprattutto dei mixer ad elevato assorbimento, funzionando per un numero elevato di ore al giorno (18 minuti ogni ora in continuo) usa combustibili fossili che immettono in atmosfera sostanze dannose e CO<sub>2</sub>, che influisce sul riscaldamento globale del pianeta.



### Network relativo all'indicatore Global Warming

Se osserviamo il grafico sottostante relativo all'indicatore Risources risulta il maggiore impatto ambientale dato dalla vendita digestato con un 57,3%, a seguire vi è il trasporto dei sottoprodotti acquistati con un 22,9% e infine le colture dedicate con un'incidenza del 19,8% anche qui in misura minore delle precedenti fasi.

Le prime due fasi consistono infatti in un trasporto che emette enormi quantità di CO<sub>2</sub> nell'ambiente utilizzando combustibili fossili (risorse), nonostante il tragitto compiuto sia comunque limitato rispetto all'impianto di Castel d'Aiano.

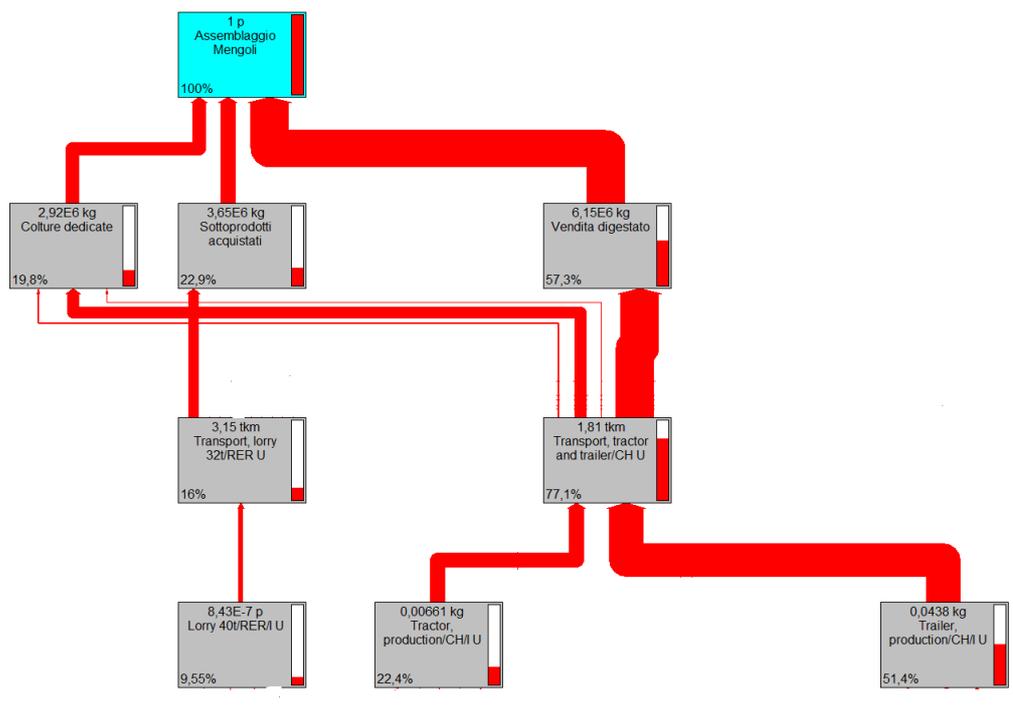
Le colture dedicate invece incidono su questa macrocategoria in quanto si tratta di utilizzare trattori per seminare e trinciare che emettono CO<sub>2</sub> nell'atmosfera, nell'utilizzo di acqua per irrigare che comporta anche l'utilizzo di risorse naturali, anche se le quantità in gioco di acqua d'irrigazione e di km compiuti per seminare e trinciare sono limitate. Ovviamente le colture dedicate incidono in misura minore delle altre due fasi, in quanto innanzitutto le quantità in gioco sono molto minori delle altre due fasi; inoltre la semina viene effettuata una volta all'anno e i km effettuati dal trattore sono nettamente inferiori ai km effettuati dagli altri mezzi di trasporto per la vendita digestato e per il trasporto dei sottoprodotti.

E' da notare però che impatta maggiormente la vendita digestato che i sottoprodotti acquistati, a differenza di quanto avviene per il network Resources con il metodo eco-indicator99; inoltre anche le colture dedicate incidono in misura maggiore con il presente metodo rispetto agli eco-indicator99 in cui le colture incidono per un 10,9%.

Sicuramente un fattore importante nella differenza di risultati riscontrata tra i due metodi è da imputare al fatto che gli indicatori usati risultano differenti nei due metodi, quindi anche la categoria d'impatto Resources considera elementi diversi nella valutazione del suo impatto ambientale.

Le colture dedicate presentano un impatto maggiore in quanto nel metodo edip/umip96 la categoria d'impatto Resources dà un peso maggiore al consumo di risorse naturali, mentre negli eco-indicator99 la parte relativa alle risorse naturali contribuisce solo per 1/3 alla macrocategoria Risorse.

Per le altre due fasi, che presentano risultati invertiti, è da imputare al fatto che gli elementi che concorrono a costituire la categoria d'impatto Resources in questo metodo danno maggiore importanza ad elementi legati alle risorse naturali (nel metodo eco-indicator appunto le risorse naturali contribuiscono solamente per 1/3 al totale della categoria Risorse); la vendita digestato, presentando una quantità annuale doppia, impatta dunque in misura maggiore dei sottoprodotti trasportati.



## 5.5. RISULTATI IMPIANTO A BIOGAS AZIENDA MENGOLI E IMPIANTO A CIPPATO DI CASTEL D'AIANO A CONFRONTO

I due impianti a biomassa sono basati su un funzionamento e su materie prime molto diverse.

Pertanto una comparazione diretta tra le fasi non è possibile, in quanto si hanno fasi e processi diversi; tuttavia è possibile comparare **i risultati ottenuti dall'applicazione del Software Sima Pro**, che esprimono gli impatti ambientali di entrambi gli impianti a biomassa considerati, sulla base dell'utilizzo e del calcolo di alcuni indicatori, a seconda dei due metodi utilizzati: metodo **EDIP/UMIP 96** e metodo **Eco-indicator 99**.

Nonostante le evidenti differenze, sicuramente la comparazione diretta non è possibile, però possiamo evidenziare delle conclusioni sull'impatto ambientale di ognuna delle tipologie d'impianto prese in considerazione.

Per quanto riguarda l'impianto a cippato di Castel d'Aiano la fase a maggiore impatto ambientale risulta la cippatrice, la quale comporta un elevato consumo di carburante diesel derivante da combustibili fossili; in pratica la fase di cippatura costituisce un processo molto energivoro e quindi a grande impatto ambientale per l'elevato consumo di carburante e le conseguenti emissioni nocive in atmosfera. Si potrebbe perciò pensare di intervenire sull'utilizzo della cippatrice, magari introducendo per la maggior parte scarti di precedenti lavorazioni della legna per integrare la produzione di cippato; infatti utilizzando scarti di precedenti lavorazioni l'energia richiesta per cippare risulta inferiore, trattandosi di legna con pezzatura già fine e non di interi tronchi. Ovviamente altro fattore importante risulta il trasporto del cippato dall'azienda forestale all'impianto, è necessario dunque contenere il numero dei km percorsi per effettuare tale rifornimento all'impianto : l'approvvigionamento La Fenice infatti, trovandosi a una distanza molto prossima all'impianto, comporta un impatto minore del trasporto del cippato all'impianto. Infine vi è il trasporto delle ceneri che dovrebbe essere contenuto almeno entro un raggio di 100 km, distanza per la quale precedenti studi hanno dimostrato che l'impatto del trasporto non crea eccessivi danni ambientali.

Per quanto riguarda l'impianto a biogas dell'azienda Mengoli la fase a maggiore impatto risulta la produzione di energia, al cui interno vi sono le pompe tra una vasca e l'altra e soprattutto i mixer che funzionano in continuo per 18 minuti ogni ora per tutto l'anno; i mixer dunque sono l'elemento più energivoro che, consumando elettricità derivante da fonti fossili, genera un elevato impatto ambientale.

Si potrebbe utilizzare mixer a minore potenza, ma d'altronde i mixer sono indispensabili per evitare la formazione di croste superficiali dannose per la produzione e sono utili per poter permettere ai batteri di compiere il loro lavoro correttamente.

Una possibile soluzione è l'utilizzo dell'energia indispensabile per i mixer e le pompe derivante da pannelli fotovoltaici (soluzione sostenibile).

In questo caso poi il trasporto del digestato venduto e dei sottoprodotti acquistati non impattano in maniera eccessiva, trattandosi di un numero di km percorsi limitato.

## 5.6. RISULTATI MENGOLI CON MINI BREF

Il software Mini Bref di Arpa Bologna è stato descritto nel capitolo 3, nel quale si è anche analizzato l'impianto di Castel d'Aiano secondo tale metodologia di analisi ambientale.

Ora si vuole compiere la stessa analisi ambientale anche nel caso dell'impianto agricolo Mengoli, in particolare importante per evidenziare il vantaggio ambientale della produzione cogenerativa rispetto alla produzione separata anche per questo impianto.

Inseriamo i valori e le informazioni sull'impianto nella sezione dedicata agli "Input".

- Composizione del biogas prodotto : è stato preso in considerazione il biogas dell'Olanda, molt simile a quello prodotto in Italia e risulta la seguente composizione del biogas prodotto

Elemento	Concentrazione in massa
<b>C</b>	<b>41,98%</b>
<b>H</b>	<b>7,69%</b>
<b>O</b>	<b>50,33%</b>
<b>Totale</b>	<b>100%</b>

- L'impianto considerato non prevede il ricorso alla procedura per determinare le concentrazioni degli inquinanti, in quanto gli inquinanti sono entro i valori limite imposti dalla legge.

Per le concentrazioni degli inquinanti nelle norme vengono definiti i valori delle emissioni limite dei principali inquinanti e utilizzeremo tali valori imposti per legge (D.Lgs. 152/06)

Macroinquinante	g/kWh
NO <sub>x</sub>	400
CO	200
SO <sub>x</sub>	200
COT e COV	COT (20); COV (50)
Polveri	50

L'impianto in questione è un impianto cogenerativo e tramite il Mini Bref è possibile evidenziare i benefici in termini di impatto ambientale (impatto sugli indici considerati dal software) che tale soluzione comporta, rispetto alla produzione separata. E' necessario, quindi, conoscere il sistema antecedente alla cogenerazione per poter evidenziare i risultati cogenerazione – non cogenerazione.

Per la produzione di calore questa sostituisce una serie di caldaie di scarso rendimento; per la produzione di elettricità l'impianto non va a sostituire una precedente produzione di energia elettrica, dunque non sono disponibili dati di emissione in merito e veniva prelevata dalla Rete Nazionale.

Si intende valutare se risulta migliore dal punto di vista dell'inquinamento la produzione cogenerativa o separata di energia.

A questo punto il Mini Bref possiede tutti i dati necessari per il calcolo degli **indici ambientali**

Indici d'inquinamento relativi alla PRODUZIONE SEPARATA	Indici d'inquinamento:	Worst case	Best case	Probable case
	PTU	8,76E+03	6,95E+01	9,67E+01
GWP	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
TEI	3,48E+11	2,09E+01	1,99E+05	
ACID	4,17E+03	4,17E+03	4,17E+03	
EUTR	1,67E+03	8,34E+02	1,08E+03	
OZON_FC	1,65E+04	1,54E+04	1,59E+04	

**Caso produzione separata**

Indici d'inquinamento:		Worst case	Best case	Probable case
PTU		5,33E+03	4,23E+01	5,88E+01
GWP		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TEI		2,12E+11	1,27E+01	1,21E+05
ACID		2,54E+03	2,54E+03	2,54E+03
EUTR		1,02E+03	5,08E+02	6,60E+02
OZON_FC		1,00E+04	9,38E+03	9,65E+03

### Caso produzione cogenerativa

Con il software Mini Bref è possibile utilizzare diversi metodi per evidenziare il risparmio, in termini di specie inquinanti, che si ottiene con la cogenerazione rispetto alla produzione separata, evidenziando le emissioni che vengono evitate; in questo caso si vedono i risultati ottenuti col metodo di Ecabert

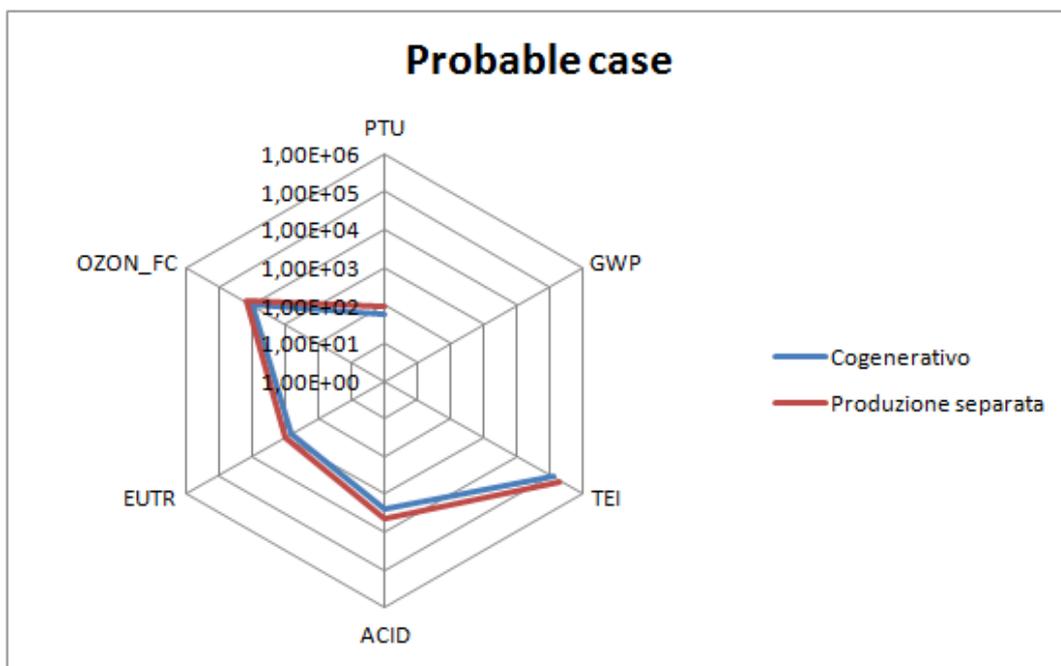
Metodo di Ecabert	Emissioni evitate	Emissioni per la produzione separata
Specie inquinanti	kg / anno	kg / anno
NOx	3263,49	8340,04
CO2	0,00	0,00
CO	1631,75	4170,02
SOx	1631,75	4170,02
Polveri	407,94	1042,51
COT	163,17	417,00
COV	407,94	1042,51
HCl	0,00	0,00
HS	0,00	0,00
HF	0,00	0,00
NH3	0,00	0,00

Inoltre viene riportato a livello percentuale il risparmio sugli indici d'inquinamento ottenuto con la produzione cogenerativa nei tre casi

Indici d'inquinamento:	Worst case	Best case	Probable case
	PTU, Risparmio relativo	39,13%	39,13%
Risparmio assoluto	3,43E+03	2,72E+01	3,78E+01
GWP, Risparmio relativo	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Risparmio assoluto	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TEI, Risparmio relativo	39,13%	39,13%	39,13%
Risparmio assoluto	1,36E+11	8,16E+00	7,77E+04
ACID, Risparmio relativo	39,13%	39,13%	39,13%
Risparmio assoluto	1,63E+03	1,63E+03	1,63E+03
EUTR, Risparmio relativo	39,13%	39,13%	39,13%
Risparmio assoluto	6,53E+02	3,26E+02	4,24E+02
OZON_FC, Risparmio relativo	39,13%	39,13%	39,13%
Risparmio assoluto	6,45E+03	6,03E+03	6,20E+03

Come è evidenziato nelle tabelle, risulta nettamente favorevole la situazione di produzione cogenerativa come impatto su tutti i sette indici ambientali.

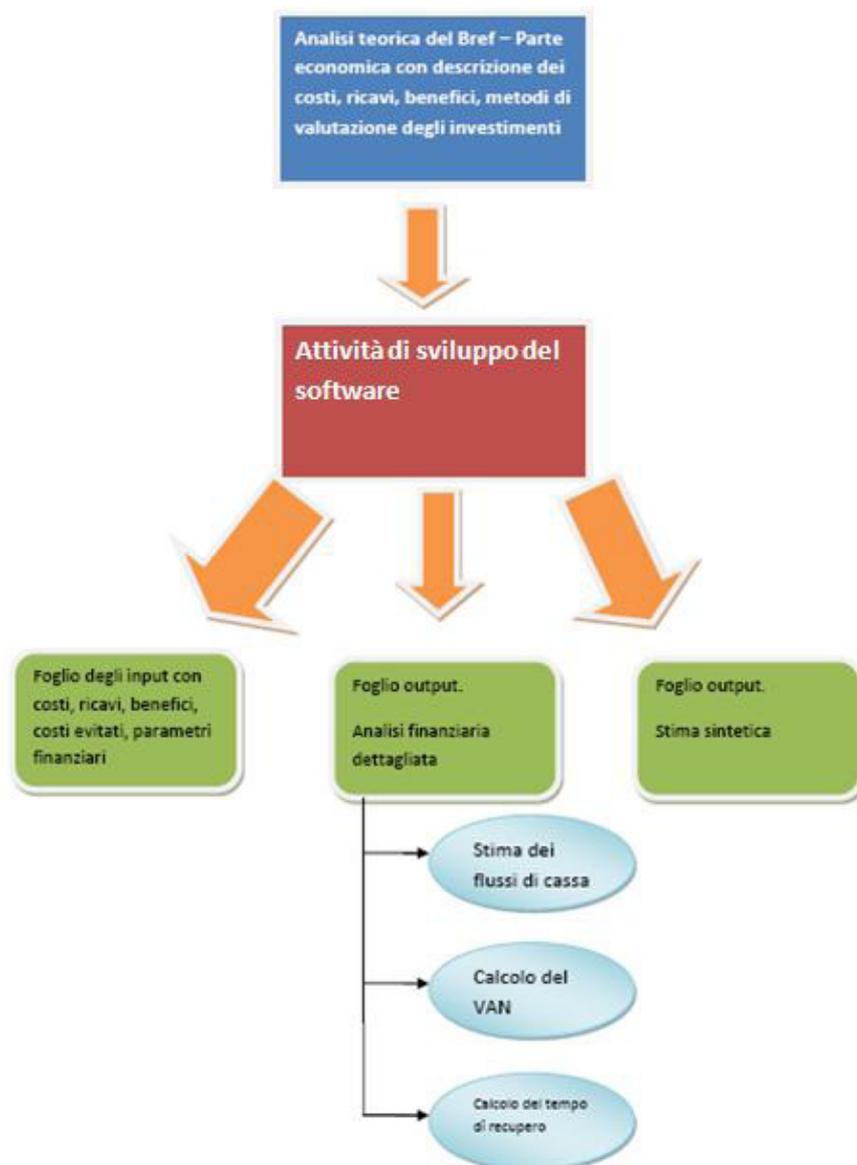
Di seguito è riportato anche il grafico di confronto tra le due tipologie di produzione, per avere una valutazione diretta e immediata dell'alternativa migliore per l'impatto ambientale. I tre grafici vengono elaborati in automatico dal programma; qui per semplicità è riportato solamente il Probable Case.



# Capitolo 6 - Analisi economica

## 6.1 SOFTWARE MINI BREF PARTE ECONOMICA

In questo paragrafo verrà descritta la sezione dedicata alla parte economica compresa all'interno del software Mini Bref, software sviluppato da Arpa Bologna, utilizzata per analizzare la fattibilità economica degli impianti produttivi.



*Il software consente anche di effettuare una valutazione economica, per valutare se la tecnologia in analisi, che è risultata accettabile dal punto di vista ambientale, sia una tecnologia “economicamente attuabile”. Il software prende in considerazione, come dati di input, tutte le tipologie di costi che sono indicate nel “Bref”.*

Il Bref consiglia di esplicitare determinate voci di costo e di ricavi, benefici ed entrate, oltre ai costi evitati.

### Dati di input

Abbiamo *le tipiche voci di costo* per un impianto :

- pianificazione, programmazione e progettazione
- acquisto del terreno
- preparazione generale dei siti d'intervento
- lavori di costruzione (fondazione, strutture, impianti, allestimento interni, ecc.)
- commesse contrattuali e consulenze
- collaudi
- costi di avviamento
- costi del lavoro
- costi di dismissione impianto

Successivamente si prendono in considerazione *le voci di costo relative ai sistemi di controllo dell'inquinamento e dei consumi delle risorse naturali* :

- costi dei sistemi di controllo ambientale (depuratori, impianti per il riciclo, ecc.)
- strumentazione, merci ed apparecchiature ausiliarie dei sistemi di controllo ambientale
- modifiche di altre apparecchiature per adeguarle ai sistemi di controllo ambientale

Bisogna anche tenere conto delle *voci di costo dovute ad imprevisti* : si tratta di costi che si verificano, ma che non possono essere dettagliati. Per effettuare la stima degli investimenti, però, è bene includere una parte dei costi per imprevisti. Tali costi solitamente sono quantificati come percentuale degli altri investimenti.

Quindi si procede con i *costi per Gestione e Manutenzione* e si considerano :

- Costi per l'energia :  
elettricità, fonti energetiche fossili, fonti energetiche rinnovabili;
- Costo di materiali e servizi ambientali :  
parti di ricambio, materiali naturali (acqua, ghiaia, legname, ecc), altre materie prime (prodotti chimici, ecc.), servizi ambientali (depurazione, smaltimento dei rifiuti, ecc.);
- Costo del lavoro :  
personale, formazione del personale;
- Costi operativi fissi (valutati in % del costo del lavoro, 10-50%);
- premi assicurativi, licenze, autorizzazioni, costi per imprevisti ed emergenze, altri costi operativi generali (amministrazione);
- Costi operativi indiretti

Terminato l'elenco dei costi, si considera ora l'altro INPUT del software per l'analisi economica: le entrate e i benefici, e in particolare vi sono :

### **Ricavi**

Si considerano la vendita di effluenti trattati e fanghi per uso irriguo, vendita di energia elettrica prodotta, vendita di ceneri per materiali edili, valore residuo delle apparecchiature.

### **Benefici**

Si considerano in particolare i certificati verdi: viene indicato il prezzo per kWh di energia elettrica prodotta, e il periodo temporale per cui si vuole beneficiare del certificato.

### **Costi evitati**

- risparmi di risorse naturali (acqua, litoidi, energia),
- risparmi di altre materie prime (prodotti chimici, ecc.),
- risparmi nella gestione dei rifiuti,
- risparmi di servizi ausiliari,
- risparmi di forza lavoro,
- risparmi nei sistemi di controllo e monitoraggio ambientale,
- risparmi nelle manutenzioni,
- risparmi di capitale per maggiori efficienze produttive.

Nella analisi economica sono stati considerati anche i costi nella scelta tra produzione interna del combustibile e acquisto dello stesso (le cosiddette alternative di **MAKE or BUY**). Le voci di costo delle due alternative sono naturalmente speculari.

**Costi dell'alternativa MAKE**

- costi di produzione del combustibile
- costi evitati di acquisto e di trasporto

**Costi dell'alternativa BUY**

- costi logistici connessi al trasporto
- costi di acquisto da fornitori
- costi evitati di produzione interna

Altre possibili voci di costo

- Tasse o incentivi (p.e. IVA, imposte sui combustibili, ecc.): sono talvolta definiti trasferimenti, perché non rappresentano costi economici per la società complessiva
- Costi indiretti: sono quelli causati da modifiche negli equilibri di mercato, (p.e. riduzione di domanda di mercato); per gli imprenditori rappresentano opportunità-rischi decisivi

Inoltre in input vi sono le seguenti informazioni, naturalmente utili al fine della valutazione dell'investimento:

- o **anno di avvio del progetto/investimento**
- o **vita utile dell'impianto** (anni)
- o **Tasso di inflazione**
- o **Tasso di interesse reale**
- o **Tasso di interesse nominale**

E' bene infatti tener conto dell'inflazione quando si vanno ad attualizzare i flussi di cassa che si presentano in anni diversi, quando andiamo a valutare il VAN dell'investimento. Il software nella formula del VAN utilizza il tasso di attualizzazione reale.

Di seguito è riportata un'immagine che mostra come si presenta nel software la pagina degli input all'analisi finanziaria

PARAMETRI TEMPORALI	Valore				
Anno di avvio del progetto (Anno zero)	2009				
Anno di realizzazione del progetto (Anno uno)	2010				
Vita utile dell'impianto	15				
<b>INDICI</b>					
Tasso di interesse nominale	0,05				
Tasso di inflazione s	0,02				
Tasso di interesse reale	0,029411765				
<b>SPESE PER INSTALLAZIONE</b>					
		<b>COSTO IMPIANTO X</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>scale fac</b>
Definizione del progetto			538	50	0,
Acquisto del terreno	120000		538	50	0,
Preparazione generale del sito di intervento			538	50	0,
Lavori di costruzione			538	50	0,
Commesse contrattuali e consulenze			538	50	0,
Collaudi			538	50	0,
Costi di avviamento			538	50	0,
Costo del capitale			538	50	0,
Costi di dismissione			538	50	0,
<b>SPESE PER LE ATTREZZATURE PER IL CONTROLLO DELL'INQUINAMENTO</b>					
Costi per attrezzature			538	50	0,
Sistemi di controllo dell'inquinamento			538	50	0,
Apparecchiature ausiliarie			538	50	0,
Strumentazione			538	50	0,
Modifiche di altre apparecchiature per adeguamenti al sist. Di controllo amb.			538	50	0,
Spese per imprevisti	10000		538	50	0,
<b>VOCI DI COSTO PER GESTIONE E MANUTENZIONE</b>					
<b>COSTI PER L'ENERGIA</b>					
Elettricità	10000		538	50	0,
Fonti energetiche fossili			538	50	0,
Fonti energetiche rinnovabili			538	50	0,

### Input relativi ai costi

ENTRATE	RICAVI IMPIANTO Y				
Vendita scarichi trattati					
Vendita elettricità generata	91190				
Vendita ceneri per la costruzione di edifici					
Valorizzazione del fertilizzante	10336				
<b>BENEFICIO ANNUO</b>					
Prezzo certificato verde [EUR/MWh]	88,6				
Energia prodotta	1100				
<b>Costo energia elettrica al MWh (dati ENEL)</b>					
Energia elettrica generata dall'impianto	82,9				
	1100				
<b>COSTI EVITATI</b>					
Risparmio di RISORSE NATURALI (Acqua, litoidi, energia)					
Risparmi di altre materie prime (prodotti chimici, etc.)					
Risparmi nella gestione dei rifiuti					
Risparmi di servizi ausiliari					
Risparmi di forza lavoro					
Risparmi nei sistemi di controllo e monitoraggio ambientale					
Risparmi nelle manutenzioni					
Risparmi di capitale per maggiori efficienze produttive					

### Input relativi alle entrate

### Dati di output

Il software, inseriti i dati in ingresso, calcola i flussi di cassa, il VAN e il tempo di recupero.

### **Flussi di cassa**

Si ottengono sommando la quota di **ammortamento** (il software utilizza ammortamento costante) al reddito netto.

### *Il reddito netto e il margine operativo lordo :*

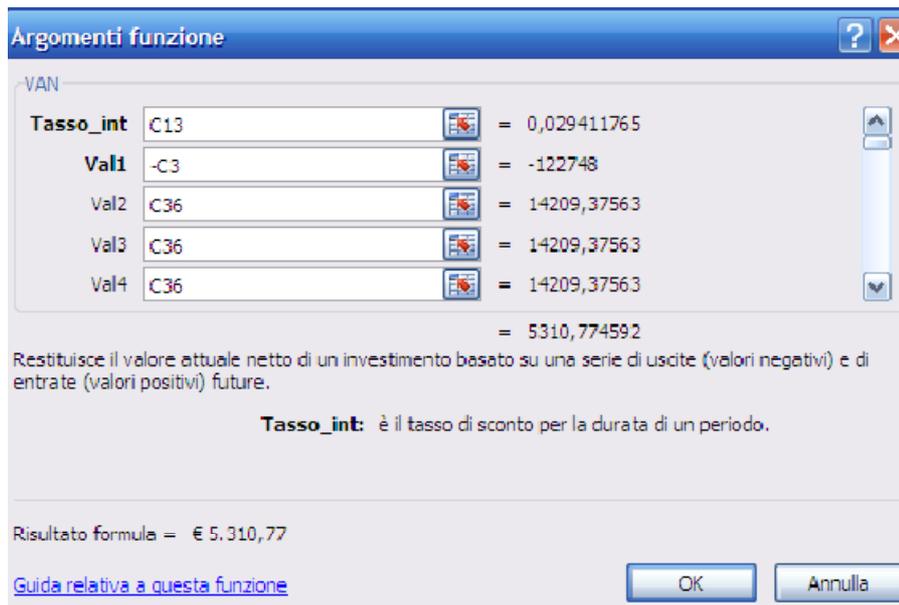
E' ottenuto detraendo le imposte dal reddito ante imposte, a sua volta ricavato sottraendo la quota di ammortamento dal margine operativo lordo (MOL).

Il MOL è la differenza tra ricavi e costo annuo totale.

### **Il calcolo del VAN**

Per calcolare il VAN è stata utilizzata la formula finanziaria disponibile in *Excel*. Nella formula è necessario inserire la cella corrispondente all'esborso iniziale e il tasso di sconto reale. Inoltre, è necessario inserire uno ad uno i flussi di cassa tanti quanti sono gli anni di vita dell'investimento. Viene riportata di seguito una immagine che aiuta a comprendere la modalità di inserimento dei dati per il calcolo del VAN.

La prima cella (C13) è la cella che indica il tasso di interesse reale (che tiene conto dell'inflazione), la cella "C3" invece indica l'esborso iniziale (naturalmente ha segno negativo trattandosi di una uscita di cassa). Le celle successive riguardano i flussi di cassa, e sono riportate per 15 volte, dacché è stato considerato un investimento della durata di 15 anni. Se gli anni fossero stati di più, si aggiungevano altre celle facenti riferimento sempre al flusso di cassa annuale costante.



Vi sono due celle per indicare i flussi di cassa. Questo perché il software tiene conto del periodo di ammortamento: per i primi dieci anni (ovvero il periodo di ammortamento) vengono riportati i flussi di cassa che tengono conto dell'ammortamento. Dall'undicesimo anno in poi, si riportano, per il calcolo del VAN, i flussi di cassa che vengono dopo il periodo di ammortamento, che coincidono con il reddito netto.

#### *Ammortamento*

Si utilizza, per l'analisi dell'investimento, l'**ammortamento annuo a quote costanti**. Attraverso l'ammortamento, quindi, il costo pluriennale dei beni viene ripartito in più esercizi in funzione della loro durata economica. Infatti, quando un'azienda acquista un bene destinato a essere utilizzato per più anni, ad esempio un macchinario, il relativo costo sostenuto viene ripartito in funzione del numero di anni per l'acquisto in tante quote quanti sono gli esercizi nei quali il macchinario sarà presumibilmente impiegato. Se così non fosse il costo verrebbe imputato interamente nell'esercizio in cui viene acquistato disattendendo il principio della competenza economica dei componenti reddituali.

Una volta ricavati i flussi di cassa, il software procede con la stima del **Valore Attuale Netto** e del **tempo di recupero**. E' possibile inoltre avere una stima sintetica dell'analisi finanziaria, mettendo in risalto i dati più significativi.

## 6.2. ALCUNI CONCETTI DI FINANZA

### Stima dei costi annui

La valutazione delle alternative richiede che siano stimati i costi in riferimento al tasso di inflazione ed alle variazioni dei valori nel tempo. Ad esempio per un impianto è necessario considerare il suo periodo di utilizzo, confrontando i costi sostenuti in anni differenti. Per valute differenti è necessario applicare tassi di cambio che variano nel tempo. Inoltre i prezzi di beni e servizi cambiano nel tempo a causa dell'inflazione. Il *tasso d'inflazione* è un indice della variazione percentuale dell'indice dei prezzi al consumo, sulla base di un paniere rappresentativo. I prezzi di alternative quotati in anni differenti devono essere confrontati con riferimento ai tassi d'inflazione. Per fare i confronti è necessario riferire i prezzi ad un anno base. Per tenere conto dell'inflazione si utilizza il metodo del fattore di aggiustamento.

$$(Costo\ nell'anno\ b) = (Costo\ nell'anno\ i) * f_{ib}$$

dove:

- $f_{ib} = b / i$  è il fattore di aggiustamento dei prezzi dell'anno (i) a cui si riferiscono i costi noti per trasformarli nei costi dell'anno base (b) prescelto;
- $i$  è l'indice dei prezzi per l'anno (i) a cui si riferiscono i costi noti;
- $b$  è l'indice dei prezzi per l'anno base (b) prescelto per l'analisi.

La fonte più rappresentativa degli indici di prezzo in Europa è Eurostat che pubblica mensilmente il rapporto "Data for short-term economic analysis".

### Calcolo del costo annuo delle alternative

Per determinare il costo annuo delle alternative vi sono due strade percorribili:

► valore attualizzato del flusso di costo totale (investimenti più costi operativi e gestionali) per il fattore di recupero del capitale:

$$C_{at} = \left[ \sum_{t=0}^n \frac{(C_t + OC_t)}{(1+r)^t} \right] \left[ \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right]$$

► costo annuo del capitale (costo del capitale per il fattore di recupero del capitale) sommato ai costi annuali operativi e gestionali :

$$C_{at} = \left[ \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right] \circ$$

dove:

- $C_{at}$  è il costo annuo totale;  $C_0$  è il costo nell'anno 0 (l'anno base);
- $OC$  è il costo netto operativo-gestionale nel periodo  $t$  (differenza tra costi addizionali associati all'implementazione di una tecnica e benefici, ricavi, costi evitati; con una tecnica redditizia questi costi sono negativi);
- $r$  è il tasso di interesse per il periodo;
- $n$  è il numero di anni considerato.

Il Bref, inoltre, propone una metodologia molto interessante per valutare voci di costo di un impianto conoscendo le stesse voci per un impianto già quotato, il **metodo degli esponenti di scala**. Tale metodologia considera la seguente relazione :

$$C_y = C_x [y / x]^s$$

dove:

- $C_y$  è il costo dell'impianto  $y$ ;
- $C_x$  è il costo dell'impianto  $x$ ;
- $y$  è la scala dell'impianto  $y$  (misurata come dimensione o livello di produzione);
- $x$  è la scala dell'impianto  $x$  (misurata come dimensione o livello di produzione);

- $s$  è un fattore di scala, variabile per le tipologie di intervento; per impianti con scala misurata con il livello di produzione vale  $s=0,6$ ; per impianti molto grandi, in cui parti consistenti devono essere duplicate per incrementare la scala, vale  $0,6 < s < 1$ , tipicamente  $s$  vale circa  $0,6-0,7$

Per la stima degli investimenti, ossia per valutare se la attrezzature scelte sono economicamente convenienti o meno, sono stati adottati, nell'analisi finanziaria, due metodologie: il **Valore Attuale Netto** (VAN, o Net Present Value, in Inglese) e il metodo del **tempo di recupero**.

### Metodo del valore attuale netto

Il valore attuale netto, più noto con il suo acronimo VAN o con il termine inglese Net Present Value (NPV), è un criterio di scelta per operazioni finanziarie. Più precisamente, il valore attuale netto è una metodologia tramite cui si definisce il valore attuale di una serie attesa di flussi di cassa, non solo sommandoli contabilmente ma attualizzandoli sulla base del tasso di rendimento (costo opportunità dei mezzi propri).

Il VAN tiene conto dei costi opportunità (cioè le mancate entrate derivanti dall'uso alternativo delle risorse), degli effetti collaterali (ovvero gli effetti indotti dall'investimento sull'attività dell'impresa) quali gli effetti erosivi del capitale, ignora i costi sommersi (i costi già sostenuti o da sostenere a prescindere dall'effettuazione dell'investimento), presuppone l'esistenza del mercato perfetto nel quale gli azionisti abbiano libero accesso a un mercato finanziario efficiente in modo da poter calcolare il costo opportunità del capitale.

Il VAN risulta dato dall'espressione seguente :

$$VAN = \sum_{t=0}^n (R_t / (1 + r)^t) - I$$

dove:

- $VAN$  è il valore attuale netto;
- $I$  è l'investimento iniziale;
- $R_t$  è il ricavo netto nell'anno  $t$ ;
- $t$  è la scadenza temporale di calcolo, compresa tra 0 ed  $n$ ;
- $r$  è il tasso di attualizzazione in percentuale (di interesse, o di sconto; di solito pari al costo medio del capitale);
- $n$  è il numero di anni considerato

Economicamente convengono gli investimenti con VAN positivo; confrontando alternative conviene scegliere quelle con VAN maggiore.

Attraverso il calcolo del VAN, oltre che stabilire la convenienza attesa di un singolo investimento, è anche possibile confrontare la convenienza tra due o più investimenti in concorrenza tra loro. Data la definizione, è chiaro che il più conveniente tra  $n$  investimenti concorrenti sarà quello con il VAN maggiore.

### **Tassi di interesse reali**

Nel Bref viene esplicitato chiaramente che è bene considerare tassi di interesse reale, ovvero tassi che tengono conto dell'inflazione: in tal modo nel'andare ad attualizzare i flussi di cassa si terrà conto dell'inflazione quando si andranno a valutare gli investimenti.

$$r_r = [(1 + r_n) / (1 + s)] - 1$$

dove:

- $r_r$  è il tasso d'interesse reale;
- $r_n$  è il tasso d'interesse nominale;
- $s$  è il tasso d'inflazione.

### **Metodo del tempo di recupero**

Come si è detto, l'altra metodologia per valutare un investimento è il tempo di recupero. Esso è dato dal rapporto tra l'investimento iniziale e la somma dei flussi di cassa. Il tempo di recupero è *l'intervallo di tempo necessario per recuperare integralmente il capitale impiegato in un investimento*. Questo periodo viene determinato individuando la scadenza più vicina tra quelle per le quali i flussi positivi dell'investimento compensano le uscite sostenute. Come output si ottiene il numero di anni necessari per recuperare l'investimento iniziale.

Tale metodo comunque dipende dal "cut off period" scelto, trattasi perciò di una scelta arbitraria, quindi nella valutazione di un investimento *è sempre bene fare riferimento al VAN*.

## Il Valore attuale

Il principio base della finanza asserisce che *un Euro oggi vale più di un Euro domani*, dacché l'Euro oggi può essere investito e iniziare a dare interessi immediatamente.

Il valore attuale di un ricavo futuro può essere trovato moltiplicando il ricavo per un fattore di attualizzazione minore di 1 (difatti se il fattore di attualizzazione fosse maggiore di 1, un Euro oggi varrebbe meno di un Euro domani).

Se  $C_1$  è il ricavo atteso nel periodo 1 (un anno da oggi), allora :

$$\text{Valore Attuale (VA)} = \text{fattore di attualizzazione (FA)} * C_1$$

Questo fattore di attualizzazione è espresso come il reciproco di 1 più un tasso di rendimento :

$$FA = 1 / (1 + r)$$

dove il tasso di rendimento  $r$  è il premio che gli investitori domandano per accettare la posticipazione del ricavo.

**Per calcolare il valore attuale, si scontano le entrate future attese con il tasso di rendimento offerto da investimenti alternativi e confrontabili.** Questo tasso di rendimento è spesso chiamato *tasso di attualizzazione*, rendimento richiesto, oppure costo opportunità del capitale. È chiamato costo opportunità poiché rappresenta la remunerazione a cui si rinuncia investendo nel progetto piuttosto che in titoli.

## Valutazione delle attività a lungo termine

Per calcolare il valore attuale di un'attività che genera un flusso di cassa a un anno da oggi si utilizza la seguente relazione :

$$VA = FA_1 * C_1 = C_1 / (1 + r_1)$$

dove  $FA_1$  è il fattore di attualizzazione per i flussi di cassa a un anno, mentre  $r_1$  è il costo opportunità del capitale nell'anno 1.

Di conseguenza il valore attuale di un flusso di cassa fra due anni può essere scritto nello stesso modo come:

$$VA = FA_2 * C_2 = C_1 / (1 + r_2)^2$$

Una delle caratteristiche del valore attuale è che è sempre espresso in valuta corrente: i valori attuali sono pertanto sommabili tra loro. In altre parole, il valore attuale del flusso di cassa (A + B) è uguale al valore attuale del flusso di cassa A più il valore attuale del flusso di cassa B; questo risultato dà importanti implicazioni per investimenti che generano flussi di cassa in diversi periodi.

In precedenza si è calcolato il valore di un'attività che genera un flusso di cassa C1 nell'anno 1 e il valore di un'altra attività che genera un flusso di cassa nell'anno 2.

Seguendo la regola dell'additività, è possibile trovare il valore di un'attività che genera un flusso di cassa in ogni anno.

Questo è semplicemente:

$$VA = C_1 / (1 + r_1) + C_2 / (1 + r_2)^2$$

Naturalmente è possibile continuare per questa strada e trovare il valore attuale di una serie di flussi di cassa lungo il tempo:

$$VA = C_1 / (1 + r_1) + C_2 / (1 + r_2)^2 + C_3 / (1 + r_3)^3$$

Questa è chiamata formula del *flusso di cassa attualizzato* (DFC, *Discounted Cash Flow*).

Un modo sintetico per scriverla è:

$$VA = \sum (C_t / (1 + r_t)^t)$$

dove il simbolo  $\sum$  si riferisce alla somma della serie.

Per trovare il valore attuale netto, è sufficiente sommare il flusso di cassa iniziale  $C_0$  (solitamente negativo), esattamente come nel caso relativo a un solo periodo:

$$VAN = C_0 + VA = C_0 + \sum (C_t / (1 + r_t)^t)$$

## Il Valore attuale Netto

Il VAN si ottiene sottraendo l'investimento richiesto al valore attuale :

$$VAN = VA - \text{investimento richiesto}$$

In altre parole, il progetto di un impianto a biomasse vale più di quello che costa: **aggiunge un contributo netto al valore.**

La formula per calcolare il VAN può essere così scritta:

$$VAN = C_0 + C_1 / (1 + r)$$

dove  $C_0$  è il flusso di cassa del periodo 0 (cioè oggi), e sarà un numero negativo. In altre parole  $C_0$  è un investimento, cioè un flusso di cassa in uscita.

**Per valutare se il progetto di un impianto a biomasse sia conveniente, è necessario valutare se valga più di quello che costa, ovvero se ha un valore attuale netto positivo.**

Per calcolare quanto valga, si deve esaminare quanto si dovrebbe pagare per ottenere lo stesso reddito investendo direttamente in titoli; il valore attuale del progetto è uguale al suo reddito futuro attualizzato al tasso di rendimento offerto da questi titoli. **Il costo del capitale investito è il rendimento a cui si rinuncia non investendo in titoli.** Qualora il rendimento dell'impianto a biomasse superi il costo dello stesso, si dovrebbe dare inizio ai lavori per la realizzazione dell'impianto.

Quindi, vi sono due regole per selezionare gli investimenti:

1. *Regola del valore attuale netto.* Si deve accettare un investimento quando ha un VAN positivo
2. *Regola del tasso di rendimento.* Si devono accettare gli investimenti che offrono tassi di rendimento superiori al loro costo opportunità del capitale

## Il costo opportunità del capitale

Il costo opportunità del capitale può essere definito come il rendimento atteso a cui un manager rinuncia investendo in un progetto piuttosto che nel mercato azionario. Per valutare un progetto si attualizzano i flussi di cassa attesi al costo opportunità del capitale.

Quindi : il costo opportunità del capitale di un investimento in un progetto è il tasso di rendimento atteso richiesto dagli investitori per un investimento in azioni o altri titoli che hanno lo stesso rischio del progetto.

### **I concorrenti del VAN**

Al giorno d'oggi, il 75 % delle imprese calcola sempre, o quasi sempre, il Valore Attuale Netto quando deve decidere se intraprendere o meno un progetto di investimento. Tuttavia il Van non è l'unico criterio adottato dalle aziende nelle loro decisioni di investimento; spesso, difatti, vengono utilizzate più misure per valutare l'attrattività di un progetto.

Circa tre quarti delle imprese calcolano il Tasso Interno di Rendimento (TIR); una percentuale pressoché uguale di imprese calcola invece il VAN, e, quando usato correttamente, fornisce gli stessi risultati. Il concetto del TIR necessita, quindi, di approfondimenti data l'importanza che riveste.

### **Tre cose da ricordare sul VAN**

Prendendo in esame questi criteri alternativi sarà importante ricordare le caratteristiche fondamentali del metodo del Valore Attuale Netto.

Primo, la regola del VAN riconosce che è meglio un Euro oggi che un Euro domani ("principio zero" della finanza), come già detto, in quanto l'Euro oggi può essere investito per iniziare a produrre interessi immediatamente. Un qualsivoglia metodo di selezione degli investimenti che non riconosca il *valore temporale del denaro* non può essere considerato corretto.

Secondo, il valore attuale netto dipende unicamente dai flussi di cassa previsti dal progetto e dal costo opportunità del capitale. Un qualsiasi metodo che venga influenzato dalle preferenze personali dei manager, dai criteri contabili di valutazione, dalla redditività dei business già esistenti o dalla redditività di altri progetti indipendenti, porterà a decisioni peggiori.

Terzo, se una azienda si trova dinanzi a due progetti, che per semplicità chiamiamo A e B, il valore attuale netto dell'investimento congiunto è:

$$VAN(A + B) = VAN(A) + VAN(B)$$

Il VAN dipende solo dai flussi di cassa di un progetto e dal suo costo opportunità del capitale, non bisogna invece considerare il reddito contabile.

### **Il tempo di recupero**

Alcune imprese richiedono spesso che la spesa iniziale per un qualsiasi progetto sia recuperabile entro un certo periodo prefissato (*cut off period*). Il tempo di recupero di un progetto si ottiene calcolando il numero degli anni affinché i flussi di cassa cumulati previsti eguaglino l'investimento iniziale.

Molti progetti di investimento risultano "attraenti" dal punto di vista del tempo di recupero, ma al contempo presentano un VAN negativo, quindi dovrebbero essere scartati. Ciò accade perché la decisione di accettare un investimento con il metodo del tempo di recupero dipende dalla scelta del **cut off period**, e tale scelta è una scelta arbitraria, varia da azienda ad azienda. Quindi, indipendentemente dalla scelta del cut off period, la regola del tempo di recupero fornisce risposte diverse da quella del VAN.

La regola del tempo di recupero fornisce risposte sbagliate per i seguenti motivi:

1. Ignora tutti i flussi di cassa successivi al cut off period
2. Considera allo stesso modo tutti i flussi di cassa all'interno del cut off period, dacché non tiene assolutamente conto del tasso di attualizzazione.

Alcune imprese però attualizzano i flussi di cassa prima di calcolare il periodo di recupero. La *regola del tempo di recupero attualizzato* si chiede: "Quanto deve durare il progetto affinché esso abbia senso in termini di valore attuale netto?". Questa modifica alla regola del tempo di recupero risolve la difficoltà creata dal fatto che si dà un uguale peso a tutti i flussi di cassa prima del cut off period.

Il tempo di recupero attualizzato è una regola migliore del recupero non attualizzato. Riconosce, infatti, che un Euro all'inizio del periodo di recupero ha più valore di un Euro alla fine del periodo di recupero. Però la regola del tempo di recupero attualizzato dipende ancora dalla scelta arbitraria del cut off period e continua a non prendere in considerazione tutti i flussi di cassa dopo tale data.

La semplicità della regola del tempo di recupero la rende uno strumento facile per descrivere i progetti di investimento. Tuttavia esso non guida le decisioni dei manager nella scelta tra accettare o rifiutare un progetto di investimento.

### Il tasso interno di rendimento

Il tasso interno di rendimento rappresenta il tasso di attualizzazione che dà un VAN=0. Ciò significa che per ricavare il TIR di un progetto di investimento della durata di T anni, è necessario risolvere la seguente equazione:

$$VAN = C_0 + C_1 / (1 + TIR) + C_2 / (1 + TIR)^2 + \dots + C_t / (1 + TIR)^t = 0$$

In realtà, per calcolare il TIR occorre andare per tentativi.

Si prende ora in considerazione, come esempio, un progetto che produca i seguenti flussi di cassa:

$C_0$	$C_1$	$C_2$
-4000	+2000	+4000

Il tasso interno di rendimento è il TIR della seguente equazione :

$$VAN = -4000 + 2000 / (1 + TIR) + 4000 / (1 + TIR)^2 = 0$$

Tentiamo arbitrariamente di risolvere l'equazione utilizzando un tasso di attualizzazione uguale a zero. In questo caso, il VAN non è 0, ma +€2000 :

$$VAN = -4000 + 2000 / (1) + 4000 / (1)^2 = 2000 \text{ €}$$

Il VAN è positivo, quindi il TIR deve essere maggiore di zero.

Il passo seguente consiste nel tentare con un tasso di attualizzazione del 50%. In tal caso, il VAN è - €880.

Il VAN è negativo, quindi il TIR deve essere inferiore al 50%.

Continuando, per tentativi, a calcolare diversi valori attuali netti ricavati da una serie di tassi di attualizzazione, si ricava che un tasso di attualizzazione del 28% dà il desiderato VAN pari a zero. Il TIR con i dati dell'esempio è quindi il 28%.

## La regola del TIR

Può capitare di confondere il tasso interno di rendimento e il costo opportunità del capitale, dacché entrambi appaiono nella formula del VAN come tassi di attualizzazione.

Il tasso interno di rendimento è una misura di redditività che dipende unicamente dall'ammontare e dalla collocazione temporale dei flussi di cassa di un progetto.

Il costo opportunità del capitale è uno *standard di redditività* di un progetto che i manager utilizzano per calcolare il valore del progetto stesso.

Secondo questo criterio la regola da applicare è : **accettare un progetto di investimento se il costo opportunità del capitale è inferiore al tasso interno di rendimento.**

Guardando l'esempio di cui sopra, se il costo opportunità del capitale è inferiore al 28%, il progetto ha un VAN positivo, qualora i flussi di cassa siano attualizzati al costo opportunità del capitale stesso. Se è uguale al tasso interno di rendimento, il progetto ha un VAN uguale a zero e se, infine, è maggiore, il VAN è negativo. Quindi, quando le aziende confrontano il costo opportunità del capitale con il TIR di un progetto, si chiedono se il progetto abbia un VAN positivo. La regola del TIR darà la stessa risposta della regola del VAN ogniqualvolta il VAN di un progetto sia una funzione monotona decrescente del tasso di attualizzazione.

Però, sebbene i due criteri (VAN e TIR) siano formalmente equivalenti, la regola del tasso interno di rendimento contiene diverse trappole, di seguito elencate ed analizzate.

- 1) Quando l'azienda presta denaro, vuole un alto tasso di rendimento; quando lo prende in prestito, vuole un basso tasso di rendimento;
- 2) Possono esserci tanti tassi interni di rendimento, diversi, in un progetto, quanti sono i cambiamenti di segno dei flussi di cassa;
- 3) La regola del TIR può portare a soluzioni errate nel caso in cui le imprese si trovano nella necessità di dover scegliere tra progetti alternativi o reciprocamente esclusivi;
- 4) Il TIR diventa di difficile applicazione qualora i tassi di interesse a breve termine siano diversi da quelli a lungo termine (ossia qualora si attualizzi il flusso di cassa dell'anno 1 al costo opportunità del capitale  $r_1$ , il flusso di cassa dell'anno 2 ad un costo opportunità del capitale  $r_2$ , diverso da  $r_1$  e così via per gli altri anni). La regola del TIR dice di accettare un progetto qualora il TIR sia maggiore del costo opportunità del capitale. Nel caso in cui vi siano diversi costi opportunità, si dovrebbe calcolare una media piuttosto complessa di questi tassi di attualizzazione, per ottenere un numero che risulti confrontabile con il TIR.

Quindi la regola del TIR, se usata correttamente, dà gli stessi risultati del VAN, ma poiché è possibile incorrere in uno dei quattro errori suesposti, è sempre bene fare riferimento alla regola del VAN quando si deve decidere circa la praticabilità economica di un progetto di investimento.

### **Che cosa attualizzare**

Sinora sono stati presi in analisi i meccanismi dell'attualizzazione e dei principali metodi di valutazione di un progetto. Non si è preso in considerazione il problema di ciò che dovrebbe essere attualizzato.

Ebbene, ci si dovrebbe sempre attenere alle seguenti regole:

1. Solo il flusso di cassa è rilevante
2. I flussi di cassa vanno stimati su base incrementale
3. Coerenza nel considerare l'inflazione

Per il primo punto, il VAN deve essere espresso in termini di flussi di cassa. Il flusso di cassa è il concetto più semplice possibile, in quanto altro non è che la differenza fra euro incassati ed euro pagati. I flussi di cassa vanno calcolati sempre al netto delle imposte e vanno registrati solo nel momento in cui si manifestano e non quando si inizia un lavoro o nasce una passività. Le imposte, ad esempio, dovrebbero essere attualizzate alla data in cui vengono realmente pagate e non quando il debito d'imposta viene registrato nei libri contabili della società.

Per quanto concerne il secondo punto, è bene dimenticare i costi sommersi (i cosiddetti *sunk costs*), in quanto sono flussi di cassa passati e irreversibili. Dal momento che i costi sommersi sono cose passate, non possono essere influenzati dalla decisione di accettare o rifiutare un progetto di investimento e devono quindi essere ignorati.

Inoltre si devono considerare i **costi opportunità**; il costo di una risorsa può essere importante per una decisione di investimento anche quando non vi è movimento di denaro. Consideriamo ad esempio che una nuova attività usi del terreno che potrebbe essere altrimenti venduto per 100000€, questa risorsa non è gratis ma presenta un costo opportunità corrispondente alle entrate che avrebbe potuto produrre se il progetto fosse stato respinto e la risorsa venduta o diversamente utilizzata.

Consideriamo infine la ripartizione dei **costi comuni**, in tale voce rientrano il costo dello staff, le spese di affitto, il riscaldamento e l'illuminazione; queste spese possono non essere collegate ad alcun progetto particolare, anche se costituiscono comunque un costo. I contabili, quando rilevano i costi di un progetto, vi comprendono di solito anche una quota dei costi comuni. Ora, il principio dei flussi di cassa incrementali asserisce che nella valutazione di un progetto si devono *considerare solo i costi incrementali che derivano dal progetto*. Un progetto può generare o non generare costi comuni incrementali; occorre fare attenzione a non assumere acriticamente che l'allocazione dei costi comuni operata dai contabili rappresenti i veri costi incrementali che si dovranno sostenere.

Per quanto attiene il terzo punto, ricordiamo la formula che lega il tasso di interesse nominale e tasso di interesse reale :

$$1 + r_{\text{nominale}} = (1 + r_{\text{reale}}) (1 + \text{tasso di inflazione atteso})$$

Se il tasso di attualizzazione viene indicato in termini nominali, per coerenza, anche i flussi di cassa andranno valutati in termini nominali, prendendo in considerazione l'andamento dei prezzi di vendita, il costo della manodopera e dei materiali, ecc. Tutto ciò richiede un impegno molto maggiore rispetto alla semplice applicazione di un singolo tasso di inflazione previsto a tutte le componenti del flusso di cassa.

Naturalmente non vi è nulla di errato nell'attualizzare i flussi di cassa reali a un tasso di attualizzazione reale, sebbene non sia un modo di procedere molto comune.

Viene riportato di seguito un semplice esempio che dimostra l'equivalenza dei due metodi; supponiamo che un'impresa preveda normalmente i flussi di cassa in termini nominali e che li attualizzi a un tasso nominale del 15%. In questo caso però *i flussi di cassa vengono stimati in termini reali, cioè in Euro correnti* :

$C_0$	$C_1$	$C_2$	$C_3$
-100000	+35000	+50000	+30000

*Attualizzare questi flussi di cassa reali al 15% sarebbe incoerente.*

Vi sono quindi due alternative: rielaborare i flussi di cassa in termini nominali e attualizzarli al 15% o rielaborare il tasso di attualizzazione in termini reali per attualizzare i flussi di cassa reali. Entrambi i metodi conducono al medesimo risultato.

Supponiamo che l'inflazione prevista sia il 10% annuo. In tal caso il flusso di cassa per l'anno 1, che è €35000 correnti, sarà  $35000 * (1,10) = €38500$  dell'anno 1; Analogamente il flusso di cassa per l'anno 2 sarà  $50000 * (1,10)^2 = €60500$  dell'anno 2 e così per l'anno 3 sarà  $30000 * (1,10)^3 = €39900$ . Se si attualizzano questi flussi di cassa nominali al tasso di attualizzazione nominale del 15%, abbiamo:

$$VAN = -100000 + 38500 / (1,15) + 60500 / (1,15)^2 + 39900 / (1,15)^3 = 5500€$$

Invece di trasformare la previsione dei flussi di cassa in termini nominali, potremmo convertire il tasso di attualizzazione in termini reali usando la formula che segue :

$$\text{tasso di attualizzazione reale} = \\ [(1 + \text{tasso di attualizzazione nominale}) / (1 + \text{tasso di inflazione})] - 1$$

nel caso dell'esempio si avrebbe:

$$\text{tasso di attualizzazione reale} = (1,15 / 1,10) - 1 = 0,045$$

ovvero 4,5%.

Se ora si attualizzano i flussi di cassa reali con il tasso di attualizzazione reale, si ottiene un VAN di €5500, come in precedenza :

$$VAN = -100000 + 35000 / (1,045) + 50000 / (1,045)^2 + 30000 / (1,045)^3 = 5500€$$

### **L'ammortamento**

L'ammortamento è un procedimento economico-contabile avente per oggetto i beni a fecondità ripetuta, ossia quei beni strumentali che cedono la loro utilità economica in più esercizi. Attraverso l'ammortamento, quindi, il costo pluriennale di tali beni viene ripartito in più esercizi in funzione della loro durata economica. Infatti, quando un'azienda acquista un bene destinato a essere utilizzato per più anni, ad esempio un macchinario, il relativo costo sostenuto viene ripartito in funzione del numero di anni per

l'acquisto in tante quote quanti sono gli esercizi nei quali il macchinario sarà presumibilmente impiegato. Se così non fosse il costo verrebbe imputato interamente nell'esercizio in cui viene acquistato disattendendo il principio della competenza economica dei componenti reddituali. La procedura dell'ammortamento è prescritta dal Codice Civile (art. 2426 c.c.) ai fini della redazione del bilancio d'esercizio. Altra cosa è l'ammortamento dettato dal legislatore fiscale, il quale si applica in sede di determinazione della base imponibile ai fini della liquidazione delle imposte.

Quello civilistico è libero (a parte qualche limitazione data dal codice civile per quanto riguarda l'avviamento); quello fiscale deve essere determinato in base a precise aliquote di ammortamento previste dal fisco (pubblicate con decreto ministeriale ogni anno), che indicano la quota massima deducibile ai fini della determinazione del reddito d'impresa fiscalmente imponibile. Molto spesso le aziende ritengono le aliquote fiscali adeguate anche sul piano civilistico e le utilizzano, ma lo fanno per libero arbitrio.

#### L'oggetto dell'ammortamento

Gli ammortamenti possono essere di diversa natura; a seconda dell'oggetto da ammortizzare si distingue in:

1. *Immobilizzazioni materiali* : insieme di tutti i fattori produttivi ad utilità pluriennale fisicamente tangibili (ad esempio, fabbricati, macchinari, impianti, automezzi, attrezzature industriali e commerciali, computer, mobili d'ufficio ecc.);
2. *Immobilizzazioni immateriali* : insieme di tutti i fattori produttivi ad utilità pluriennale non fisicamente tangibili (ad esempio, brevetti e marchi, diritti di utilizzo di opere dell'ingegno, concessioni governative, costi di ricerca & sviluppo, costi di pubblicità ecc.).

Tali beni e servizi vengono acquistati o prodotti in economia dall'impresa in un determinato esercizio, ma vengono usati in più esercizi.

#### Ammortamento anticipato e ammortamento accelerato

L'ammortamento non è un'uscita di cassa; è importante solo in quanto riduce il reddito imponibile e crea un risparmio fiscale uguale al prodotto fra ammortamento e aliquota d'imposta marginale.

Questi benefici possono essere ottenuti prima, difatti la legge permette l'*ammortamento anticipato*.

Le aliquote di ammortamento ordinario sono stabilite dalle autorità fiscali secondo coefficienti che riflettono il normale periodo di deperimento e consumo nei vari settori produttivi; le aliquote di ammortamento vanno da un minimo del 3% del costo del bene a un massimo del 25% e quelle del primo anno sono dimezzate.

È però possibile effettuare ammortamenti in misura superiore a quanto previsto dalle normative fiscali; in linea generale, infatti, le quote massime previste possono essere superate in proporzione al più intenso utilizzo rispetto a quello normale del settore (*ammortamento accelerato*), ma la misura stessa delle quote massime può essere raddoppiata nei primi tre esercizi d'imposta in cui il bene è entrato in funzione (*ammortamento anticipato*).

Le imprese, essendo l'ammortamento cosiddetto accelerato legato alla dimostrazione, spesso problematica, di un maggiore utilizzo del bene rispetto all'uso normale di settore, preferiscono usare l'ammortamento cosiddetto anticipato che, libero da condizionamenti, assume i caratteri di agevolazione fiscale.

Nel calcolo del VAN di un progetto, le imprese dovrebbero utilizzare sempre l'ammortamento anticipato; il motivo è semplice: il valore attuale dei benefici fiscali aumenta con l'ammortamento anticipato.

### 6.3. ANALISI ECONOMICA IMPIANTO DI CASTEL D'AIANO

Esistono due possibilità per effettuare la valutazione della convenienza economica degli impianti considerati:

#### 1. *Metodo degli esponenti di scala*

Si potrebbe considerare il piano d'investimento di un impianto alimentato a cippato per la produzione di energia già esistente; mediante tale metodo si potrebbe valutare la praticabilità economica dell'impianto analizzato nel presente elaborato. Inserendo nel Mini Bref i valori di costo dell'impianto già quotato il metodo, utilizzando un fattore di scala (di solito del valore di 0,65), calcola i corrispondenti valori di costo dell'impianto che si deve analizzare, in proporzione rispetto alle dimensioni dei due impianti; verrà infatti inserita la taglia dell'impianto quotato e la taglia dell'impianto preso in considerazione per l'analisi.

COSTO IMPIANTO X	X	Y	scale factor	COSTO IMPIANTO Y
150000	80000	90000	0,65	161934,8781
300000	80000	90000	0,65	323869,7562
100000	80000	90000	0,65	107956,5854
200000	80000	90000	0,65	215913,1708
150000	80000	90000	0,65	161934,8781
140000	80000	90000	0,65	151139,2195
70000	80000	90000	0,65	75569,60977
200000	80000	90000	0,65	215913,1708
100000	80000	90000	0,65	107956,5854
100000	80000	90000	0,65	107956,5854
300000	80000	90000	0,65	323869,7562
40000	80000	90000	0,65	43182,63416
50000	80000	90000	0,65	53978,29269
40000	80000	90000	0,65	43182,63416
50000	80000	90000	0,65	53978,29269

Come si può vedere nella figura vengono indicati i costi dell'impianto X, l'impianto già quotato di cui si conoscono tutti i valori, e la sua taglia "X"; a fianco viene indicata la taglia dell'impianto che si sta analizzando, "Y", e il fattore di scala, "scale factor"; nell'ultima colonna vengono evidenziati i valori di costo corrispondenti all'impianto Y.

In questo modo ottengo i valori di costo, pur non conoscendoli direttamente, e sapendo l'energia prodotta ottengo i ricavi della produzione; dalla conoscenza dei costi e dei ricavi possono così ottenere i flussi di cassa e il corrispondente VAN dell'impianto.

Il Mini Bref presenta inoltre un foglio di "Analisi finanziaria" in cui vengono riportati i costi e ricavi annui, il costo opportunità del capitale, l'esborso iniziale di capitale, l'ammortamento annuo e tramite questi valori permette di calcolare in automatico il VAN, estrapolando i costi dal precedente foglio (quello mostrato nella figura sopra).

## 2. *Semplice calcolo del VAN*

In alternativa, per avere una maggiore precisione nei risultati, si potrebbero considerare i costi realmente sostenuti per l'impianto analizzato e inserire i rispettivi valori nel foglio "Analisi finanziaria" direttamente, calcolando così il VAN direttamente.

Nella presente analisi si è preferito non avvalersi del metodo degli esponenti di scala, in quanto abbiamo a disposizione sufficienti dati per potere compiere un'analisi dettagliata dei costi; da tenere presente che se si volesse poi in seguito effettuare un'analisi di altri impianti simili o di un ampliamento dello stesso, si potrà utilizzare il metodo degli esponenti di scala per valutarne i rispettivi costi in maniera semplice e veloce e avere così un'idea del possibile impatto economico che ne conseguirebbe.

Quindi si predispose il foglio dei costi con le rispettive voci, in maniera tale che il foglio dell'analisi finanziaria possa essere riempito in automatico con i valori di costo necessari per il calcolo del VAN; verrà quindi lasciata vuota la parte relativa all'impianto "Y" e la sua taglia, potendo però applicarlo immediatamente qualora si renda necessario per un ampliamento dell'impianto o per valutare un impianto simile.

L'impianto di Castel d'Aiano presenta le seguenti specifiche :

Anno avvio progetto (Anno zero) è il 2009

Anno di realizzazione progetto (Anno uno) con inizio dei flussi di cassa è il 2010

Vita utile dell'impianto è 15 anni

Tasso di interesse nominale è 0,10

Tasso d'inflazione è 0,05

in base a questi due valori si calcola il tasso d'interesse reale a cui sono attualizzati i flussi di cassa per il calcolo del VAN in base alla seguente formula :

$$\text{tasso d'interesse reale} = [(1 + \text{tasso d'interesse nominale}) / (1 + \text{tasso d'inflazione})] - 1$$

Ammortamento è in 10 anni calcolato sul valore solo delle attrezzature acquistate.

Ammortamento è costante per i 10 anni di durata.

Dividiamo innanzitutto i *costi relativi all'investimento iniziale*, cioè costi sostenuti solamente all'avvio del progetto e considerati come un flusso di cassa in uscita (esborso iniziale  $C_0$ ), dai *costi operativi* che si registrano invece ogni anno (costi d'esercizio annuali dell'attività); infine avremo dei ricavi annui derivanti dalla vendita dell'energia elettrica prodotta e dai benefici derivanti dai certificati verdi.

#### Investimento / esborso iniziale

In tale voce sono considerati tutti i costi sostenuti in fase di realizzazione del progetto, come i lavori edili e di predisposizione terreni, i costi di acquisto terreno se non di proprietà, i costi per la realizzazione delle reti elettriche, delle tubazioni ecc, i costi per l'allaccio alla rete nazionale, i costi di eventuali consulenze, i costi per predisporre e definire il progetto, i costi per le strumentazioni del monitoraggio emissioni se presenti, i costi della rete di controllo tramite PLC, ecc

Il costo del terreno è nullo, in quanto il terreno utilizzato è di proprietà del Comune di Castel d'Aiano.

Non sono presenti costi di avviamento, in quanto è un progetto del tutto nuovo nato da zero e quindi non presenta un valore dell'avviamento da considerare, non è cioè un'azienda già avviata.

<i>Definizione progetto</i>	90.000
<i>Acquisto del terreno</i>	0
<i>Preparazione generale del sito d'intervento (scavi di sbancamento e preparazione area con inghiaia mento)</i>	3.000
<i>Lavori di costruzione (costo opere civili)</i>	70.000
<i>Commesse contrattuali e consulenze</i>	10.000 (consulenze da aziende specialistiche)
<i>Costi di avviamento</i>	0
<i>Costo reti e connessioni e spese tecniche accessorie</i>	95.000
<i>Costo apparecchiature di generazione energia</i>	205.000
<i>Apparecchiature ausiliarie</i>	2.000
<b>Totale</b>	475.000

475.000 € rappresenta l'esborso iniziale necessario all'avvio del progetto

Nel foglio è predisposta anche un'area inerente alle Spese per le attrezzature per il controllo dell'inquinamento, ma in questo impianto particolare non sono presenti attrezzature e sistemi di controllo delle emissioni in quanto presenta un valore di emissioni entro i limiti consentiti per legge, per cui non sono previsti dispositivi idonei; d'altronde è presente però un sistema di analisi fumi, un ECOM JKN, del valore di 2.000 euro. Esso viene indicato con la voce "Apparecchiature ausiliarie".

Sono in questo modo considerate tutte le voci che concorrono all'avvio del progetto, comprese le attrezzature e macchinari necessari e i lavori di realizzo per predisposizione terreno e costruzione edifici.

Il valore totale dei macchinari risulta pertanto di :  $205.000 + 2.000 = 207.000$  euro; esso rappresenta il valore da ammortizzare.

$207.000 / 10 = 20.700$  € all'anno, essendo all'anno primo avremo un esborso per ammortamento di 20.700, per cui il valore residuo risulta :

$$207.000 - (20.700) = 186.300 \text{ €}$$

#### Costi operativi

Per quanto riguarda i costi operativi si tratta di quei costi sostenuti annualmente per la corrente gestione dell'impianto, compresi i costi di manutenzione, i costi della materia prima, i costi del personale, i costi operativi fissi come gli amministrativi, ecc.

<i>Fonti energetiche rinnovabili</i>	22.500
<i>Parti di ricambio</i>	20.000
<i>Servizi ambientali (smaltimento rifiuti)</i>	3.350
<i>Personale</i>	100.000
<i>Imprevisti, emergenze</i>	20.000
<i>Costi amministrativi</i>	5.000
<i>Costi operativi indiretti</i>	10.000
<i>Costi totali di manutenzione</i>	9.600
<b>Totale</b>	190.450

Per il calcolo delle fonti energetiche rinnovabili si è calcolato il costo annuo da sostenere per approvvigionarsi dall'azienda La Fenice, la quale applica un costo del cippato di 5 € al quintale; dovendo l'impianto rifornirsi di 4.500 quintali all'anno l'esborso per l'approvvigionamento delle fonti rinnovabili risulta :

$$4.500 * 5 = 22.500 \text{ €}$$

Per i servizi ambientali di smaltimento rifiuti, nel nostro caso le ceneri prodotte dall'impianto, si sono tenuti in considerazione i dati forniti dall'azienda Dife che provvede a raccogliere le ceneri e al loro smaltimento in una discarica sita a Rosignano Marittimo. Il costo dello smaltimento risulta di 0,20 € per Kg di ceneri smaltite; dovendo smaltire un totale di 13.500 Kg di ceneri annue risulta :

$$13.500 * 0,2 = 2.700 \text{ €}$$

Inoltre si imputa un costo del trasporto di 300 euro a viaggio, considerando che l'azienda compie due viaggi all'anno nella discarica per smaltire le ceneri dell'impianto, in totale si ha :

$$300 * 2 = 600 \text{ €}$$

Infine si imputa un costo di caratterizzazione e analisi delle ceneri di 350 €.

Il costo totale per lo smaltimento sarà dunque :  $350 + 300 + 2.700 = 3.350 \text{ €}$

Per la manutenzione si distinguono due tipologie :

- Manutenzione programmata eseguita per 4.000 ore all'anno eseguita da tecnici già dipendenti

- Manutenzione straordinaria eseguita in media 10 volte all'anno per eventi particolari per i quali è richiesto l'intervento di un tecnico specialistico che opera in team con i tecnici assunti regolarmente; tale tecnico specialistico opera per 3 giorni all'anno circa, quindi :

$$3 \text{ giorni} * 10 \text{ volte/anno} = 30 \text{ giorni/anno di intervento}$$

$$30 \text{ giorni} * 8 \text{ ore/giorno di lavoro} = 240 \text{ ore all'anno d'intervento}$$

Si prevede un costo di 40 € all'ora per l'intervento del tecnico per cui risulta :

$$240 * 40 = 9.600 \text{ €}$$

Per tutti gli altri costi operativi si dispone di una stima di costo, come descritto nella tabella precedente.

#### Entrate e Benefici annui

Per quanto riguarda le entrate in questo impianto non abbiamo la vendita delle ceneri, le quali devono essere conferite in discarica da un'azienda idonea nel trasportarle e trattarle; non rappresentano dacché un ricavo ma bensì un costo.

Come entrate risulta pertanto solo la vendita di energia elettrica generata, immessa in rete nazionale e venduta all'Enel a un costo di 0,18 € per kWh prodotto e immesso.

In questo caso si ha una produzione di 210.000 kWh elettrici all'anno da vendere, per cui risulta :

$$0,18 * 210.000 = 37.800 \text{ €}$$

Per quel che concerne i benefici invece l'impianto, essendo entrato in funzione dopo il 31/12/2007, gode del sistema incentivante della tariffa omnicomprensiva del valore di 0,28 € per kWh verde prodotto; nel nostro caso si avrà perciò :

$$0,28 * 210.000 = 58.800 \text{ €}$$

Inoltre si avrà un valore residuo dell'apparecchiatura di 186.300 €, che costituisce un'entrata dal momento che è un valore non ancora ammortizzato.

<i>Vendita elettricità generata</i>	37.800
<i>Valore residuale apparecchiatura</i>	186.300
<i>Beneficio annuo CV</i>	58.800
<b>Totale</b>	282.900

Successivamente vi è poi tutta una serie di costi evitati, cioè costi che si sarebbero sostenuti ricorrendo a una tipologia di impianto a energia convenzionale; tali costi comunque non influenzano la nostra analisi economica. Si tratta di costi evitati in termini di risparmio di risorse e di materie prime non naturali, risparmio nella gestione rifiuti, risparmi di forza lavoro necessaria, risparmi nei sistemi di monitoraggio ambientale, risparmi di capitale per maggiori efficienze produttive, ecc difficili da quantificare se non ricorrendo a stime.

E', quindi, ora possibile inserire i dati calcolati nell'analisi finanziaria e ottenere il VAN del progetto, misura indicativa della fattibilità economica del progetto d'investimento; in particolare se il VAN è positivo indica la possibilità di intraprenderlo, oppure se il VAN è negativo di non intraprenderlo. Infatti il VAN indica la capacità di un progetto d'investimento di generare flussi di cassa nel tempo, cioè di avere una prospettiva di rendimento nel futuro.

Vediamo la tabella finale che ne deriva :

<b>Esborso iniziale</b>	475000
<b>Periodo di ammortamento (anni)</b>	8
Parametri finanziari	
Imposte	0,08
Indice dei prezzi per l'anno "i"	123
Indice dei prezzi per l'anno "base"	234
Tasso di interesse r	0,1
Tasso di interesse nominale	0,1
Tasso di inflazione s	0,05
Adjusted Factor	0,525641026
<b>Tasso di interesse reale</b>	0,047619048
Fattore di attualizzazione	
<b>Ammortamento annuo</b>	€ 20.700,00
Fattore attualizzazione costi	0,078630643
Analisi finanziaria	
<b>Valore attuale netto</b>	€ 419.696,03
<b>Tempo di ritorno dell'investimento (anni)*</b>	5,478030216
TIR	16%
*Si è fatta l'assunzione di base che i flussi di cassa (entrate annue – costi annui) siano costanti nel periodo di vita dell'impianto (15 anni)	
<b>Ricavi</b>	282900
Co	475000
Costi totali annui	190450
Margine Operativo Lordo (MOL)	92450
Ammortamento annuo	20700
REDDITO ANTE IMPOSTE (R.A.I.)	71750
Imposte (8%)	5740
REDDITO NETTO (R.N.)	66010
Ammortamento annuo	20700
<b>Flussi di cassa (costanti)</b>	86710

Si può notare l'ottenimento di un VAN positivo del valore di 419.696 € e un tempo di recupero dell'investimento pari a 5anni, per cui è possibile intraprendere l'investimento dell'impianto in quanto genera un ritorno economico; inoltre l'investimento nell'impianto presenta un TIR del 16% maggiore del costo opportunità del capitale pari al 10%, per cui risulta praticabile anche dal punto di vista del tasso interno di rendimento.

Da tenere presente che *si sono ipotizzati flussi di cassa* (entrate annue – costi annui) *costanti* nel periodo di vita utile dell'impianto (15 anni).

#### 6.4. ANALISI ECONOMICA IMPIANTO MENGOLI

Analogamente anche per questo impianto vi sono due possibilità di procedere, o con il metodo degli esponenti di scala oppure con il calcolo del VAN e inserimento dei valori nel foglio di Analisi finanziaria; anche in questo caso si è calcolato il VAN con i valori di costi e ricavi a disposizione e non tramite gli esponenti di scala.

Occorre tenere presente che se si volesse poi in seguito effettuare un'analisi di altri impianti simili o di un ampliamento dello stesso, si potrà utilizzare il metodo degli esponenti di scala per valutarne i rispettivi costi in maniera semplice e veloce e avere così un'idea del possibile impatto economico che ne conseguirebbe.

L'impianto Mengoli presenta le seguenti specifiche :

Anno avvio progetto (Anno zero) è il 2004

Anno di realizzazione progetto (Anno uno) con inizio dei flussi di cassa è il 2005

Vita utile dell'impianto è 20 anni

Tasso di interesse nominale è 0,10

Tasso d'inflazione è 0,05

in base a questi due valori si calcola il tasso d'interesse reale a cui sono attualizzati i flussi di cassa per il calcolo del VAN in base alla seguente formula :

$$\text{tasso d'interesse reale} = [(1 + \text{tasso d'interesse nominale}) / (1 + \text{tasso d'inflazione})] - 1$$

Ammortamento è in 10 anni calcolato sul valore dell'esborso per acquistare solo le attrezzature.

Ammortamento è costante per i 10 anni di durata.

Dividiamo anche qui i *costi relativi all'investimento iniziale* (esborso iniziale  $C_0$ ), dai *costi operativi* che si registrano invece ogni anno; infine avremo sempre i ricavi annui derivanti dalla vendita dell'energia elettrica prodotta e dai benefici derivanti dai certificati verdi.

### Investimento / esborso iniziale

In tale voce sono considerati tutti i costi sostenuti in fase di realizzazione del progetto, come i lavori edili e di predisposizione terreni, i costi di acquisto terreno se non di proprietà, i costi per la realizzazione delle reti elettriche, delle tubazioni ecc, i costi per l'allaccio alla rete nazionale, i costi di eventuali consulenze, i costi per predisporre e definire il progetto, i costi per le strumentazioni del monitoraggio emissioni se presenti, i costi della rete di controllo tramite PLC, ecc

Il costo del terreno è nullo, in quanto il terreno utilizzato è di proprietà dell'azienda agricola.

Non sono presenti costi di avviamento, in quanto è un progetto del tutto nuovo nato da zero e quindi non presenta un valore dell'avviamento da considerare.

<i>Definizione progetto</i>	100.000
<i>Acquisto del terreno</i>	0
<i>Preparazione generale del sito d'intervento</i>	200.000
<i>Lavori di costruzione (costo opere civili)</i>	500.000
<i>Commesse contrattuali e consulenze</i>	10.000 (consulenze da aziende specialistiche)
<i>Costi di avviamento</i>	0
<i>Costo pompe e mixer</i>	20.000
<i>Costo apparecchiature di generazione energia</i>	250.000
<i>Apparecchiature ausiliarie(sistema di controllo)</i>	100.000
<i>Costo vasche di fermentazione e vasca digestato</i>	320.000
<b>Totale</b>	<b>1.500.000</b>

1.500.000 € è l'esborso iniziale necessario all'avvio del progetto corrispondente a  $C_0$

Viene predisposta anche un'area inerente alle Spese per le attrezzature per il controllo dell'inquinamento, ma in questo impianto particolare non sono presenti attrezzature e sistemi di controllo delle emissioni in quanto presenta un valore di emissioni entro i limiti consentiti per legge, per cui non sono previsti dispositivi idonei.

Però sono considerate le spese per il sistema di controllo dell'impianto tramite PLC all'interno della voce "Apparecchiature ausiliarie".

Sono in questo modo considerate tutte le voci che concorrono all'avvio del progetto, comprese le attrezzature e macchinari necessari.

Il valore totale dei macchinari risulta pertanto di :  $20.000 + 250.000 + 320.000 + 100.000 = 690.000$  euro; esso rappresenta il valore da ammortizzare.

$69.000 / 10 = 69.000$  € all'anno, essendo all'anno quinto avremo un esborso per ammortamento di :

$$69.000 * 5 = 345.000 \text{ €}$$

Il valore residuo risulta :

$$690.000 - (345.000) = 345.000 \text{ €}$$

#### Costi operativi

Per quanto riguarda i costi operativi si tratta di quei costi sostenuti annualmente per la corrente gestione dell'impianto, compresi i costi di manutenzione, i costi della materia prima, i costi del personale, i costi operativi fissi come gli amministrativi, ecc.

<i>Fonti energetiche fossili</i>	50.000
<i>Fonti energetiche rinnovabili</i>	173.000
<i>Parti di ricambio</i>	150.000
<i>Personale</i>	120.000
<i>Imprevisti, emergenze</i>	50.000
<i>Licenze e autorizzazioni</i>	100.000
<i>Costi amministrativi</i>	100.000
<i>Costi operativi indiretti</i>	110.000
<i>Costi totali di manutenzione</i>	1.200
<i>Costo materie prime</i>	10.000
<b>Totale</b>	<b>864.200</b>

Per il calcolo delle fonti energetiche rinnovabili si è calcolato il costo annuo da sostenere per approvvigionarsi dei sottoprodotti, la quale applica un costo di 20 € a tonnellata; dovendo l'impianto rifornirsi di 100 quintali (equivalente a 10 t) al giorno di sottoprodotti, l'esborso per l'approvvigionamento delle fonti rinnovabili risulta :

$$10 \text{ t} * 20 \text{ €} = 200 \text{ € al giorno}$$

$$200 * 365 = 73.000 \text{ € all'anno}$$

Più 100.000 € per spese varie di gestione sottoprodotti ed esborso per medicinali e veterinario per le mucche.

100.000 + 73.000 € totali all'anno di esborso per fonti energetiche rinnovabili

Per i servizi ambientali di smaltimento rifiuti in questo impianto non avviene nessuno smaltimento di rifiuti, in quanto il digestato prodotto nella produzione del biogas dalla vasche di fermentazione è utilizzato nei campi come fertilizzante e quindi non è da smaltire ma bensì ritorna nel ciclo naturale.

Per la manutenzione si distinguono due tipologie :

- Manutenzione ordinaria o per piccoli problemi a cui ci pensa direttamente Mauro Mengoli, conoscendo molto bene il suo impianto
- Manutenzione straordinaria eseguita in media 3 giorni all'anno (giorni preventivati di fermo impianto) per eventi particolari per i quali è richiesto l'intervento di un tecnico specialistico; tale tecnico specialistico opera quindi per 3 giorni all'anno, quindi :

$$3 \text{ giorni} * 8 \text{ ore/giorno} = 24 \text{ giorni/anno di intervento}$$

Si prevede un costo di 50 € all'ora per l'intervento del tecnico per cui risulta :

$$24 * 50 = 1.200 \text{ € all'anno per la manutenzione}$$

Per tutti gli altri costi operativi si dispone di una stima di costo, come descritto nella tabella precedente.

### Entrate e Benefici annui

Per quanto riguarda le entrate in questo impianto abbiamo la vendita del digestato in esubero rispetto a quello auto consumato nei campi dell'azienda agricola, il quale deve essere conferito alle aziende acquirenti tramite trasporto con carro botte dell'azienda Mengoli; il digestato venduto rappresenta perciò un entrata, un ricavo.

La quantità in esubero al netto dell'auto consumo risulta di 61.500 q all'anno; il digestato è venduto come fertilizzante a un costo di 0,50 € al quintale, per cui :

$$61.500 * 0,5 = 30.750 \text{ €}$$

Come entrate risulta inoltre vi è la vendita di energia elettrica generata, immessa in rete nazionale e venduta all'Enel a un costo di 0,18 € per kWh prodotto e immesso.

In questo caso si ha una produzione di 2.500.000 kWh elettrici all'anno al netto dell'energia elettrica auto consumata (11%), per cui risulta venduta una quota dell'89% dell'energia elettrica totale prodotta dall'impianto :

$$2.500.000 * 89\% = 2.225.000 \text{ kWh energia elettrica venduta all'anno}$$

$$0,18 * 2.225.000 = 400.500 \text{ € all'anno dalla vendita di energia elettrica prodotta dall'impianto}$$

Per quel che concerne i benefici invece, l'impianto essendo entrato in funzione prima il 31/12/2007 non gode del sistema incentivante della tariffa omnicomprensiva del valore di 0,28 € per kWh verde prodotto; nel caso in questione per cui l'impianto può beneficiare solo della tariffa del Certificato Verde del valore di 0.17 € per kWh verde prodotto e si avrà :

$$0,17 * 2500.000 = 425.000 \text{ €}$$

Inoltre si avrà un valore residuo dell'apparecchiatura di 345.000 €, che costituisce un'entrata dal momento che è un valore non ancora ammortizzato.

<i>Vendita scarichi trattati</i>	30.750
<i>Vendita elettricità generata</i>	400.500
<i>Valore residuale apparecchiatura</i>	345.000
<i>Beneficio annuo CV</i>	425.000
<b>Totale</b>	1.201.250

Successivamente vi è poi tutta una serie di costi evitati, costi che comunque non influenzano la nostra analisi economica.

E', quindi, ora possibile inserire i dati calcolati nell'analisi finanziaria e ottenere il VAN del progetto, misura indicativa della fattibilità economica del progetto d'investimento; in particolare se il VAN è positivo indica la possibilità di intraprenderlo, oppure se il VAN è negativo di non intraprenderlo. Infatti il VAN indica la capacità di un progetto d'investimento di generare flussi di cassa nel tempo, cioè di avere una prospettiva di rendimento nel futuro.

La tabella finale che ne deriva risulta la seguente :

<b>Periodo di ammortamento (anni)</b>	10
Parametri finanziari	
Imposte	0,08
Indice dei prezzi per l'anno "i"	123
Indice dei prezzi per l'anno "base"	234
Tasso di interesse r	0,06
Tasso di interesse nominale	0,1
Tasso di inflazione s	0,05
Adjusted Factor	0,525641026
<b>Tasso di interesse reale</b>	0,047619048
Fattore di attualizzazione	
<b>Ammortamento annuo</b>	€ 69.000,00
Fattore attualizzazione costi	0,078630643
Analisi finanziaria	
<b>Valore attuale netto</b>	€ 2.775.844,01
<b>Tempo di ritorno dell'investimento (anni)*</b>	4,327680421
TIR	23%
*Si è fatta l'assunzione di base che i flussi di cassa (entrate annue – costi annui) siano costanti nel periodo di vita dell'impianto (20 anni)	
<b>Ricavi</b>	1201250
Co	1500000
Costi totali annui	864200
Margine Operativo Lordo (MOL)	337050
Ammortamento annuo	69000
REDDITO ANTE IMPOSTE (R.A.I.)	268050
Imposte (8%)	21444
REDDITO NETTO (R.N.)	246606
Ammortamento annuo	100000
<b>Flussi di cassa (costanti)</b>	346606

Si può notare l'ottenimento di un VAN positivo del valore di 2.775.844 € e un tempo di recupero dell'investimento pari a 4 anni circa, per cui è possibile intraprendere l'investimento dell'impianto in quanto genera un ritorno economico; inoltre l'investimento nell'impianto presenta un TIR del 23% maggiore del costo opportunità del capitale pari al 10%, per cui risulta praticabile anche dal punto di vista del tasso interno di rendimento.

Da tenere presente che *si sono ipotizzati flussi di cassa* (entrate annue – costi annui) *costanti* nel periodo di vita utile dell'impianto (20 anni).

Dal punto di vista economico risulta possibile confrontare le due tipologie di impianto analizzate, in quanto il metodo del VAN consente di valutare la scelta tra più progetti d'investimento.

Per decidere tra progetti d'investimento alternativi è sufficiente confrontare il loro Valore Attuale Netto (VAN) e scegliere quello che presenta il VAN positivo maggiore; nella nostra analisi quindi l'investimento che presenta il VAN maggiore è l'impianto agricolo Mengoli, infatti presenta anche un Tasso Interno di Rendimento maggiore (23% contro il 16% dell'impianto di Castel d'Aiano).

Ovviamente entrambi i progetti presentano un VAN positivo, per cui entrambi possono essere intrapresi.

L'impianto Mengoli presenta un VAN maggiore, ma tale risultato era da aspettarselo; infatti l'impianto a biogas ha una produzione di energia elettrica annua maggiore, energia per la quale sono previsti dei ritorni economici grazie alla sua vendita a Enel. Tale maggiore produzione è giustificata dal fatto che l'impianto Mengoli è di potenza maggiore, nonostante ciò richieda ovviamente dei costi di investimento maggiore.

Da notare che non è stato analizzato il VAN e quindi il ritorno economico dell'impianto di Castel d'Aiano a cippato con approvvigionamento da Orlandini a Pistoia. Questo perché l'impianto risulta comunque il medesimo con stessi costi operativi, stessi costi d'investimento e stessi ricavi; ciò che cambia è solamente il costo d'acquisto delle fonti rinnovabili, di poco maggiore, in quanto il costo al quintale di cippato acquistato è un po' superiore in questo secondo caso.

Il risultato di VAN che ne consegue da questo approvvigionamento alternativo risulta perciò molto simile e dello stesso ordine di grandezza del caso analizzato.

# Capitolo 7 - Architettura di controllo impianti a biomassa

## 7.1. SISTEMI DI CONTROLLO DISTRIBUITO (DCS)

Obiettivo di questa sezione è richiamare i principali concetti relativi alle architetture di automazione per l'industria di processo.

### Processo

Insieme coordinato di trasformazioni e trasmissione di energia, materiali, informazioni, finalizzato ad un obiettivo

### Processo industriale

◇Continui (siderurgia, carta, vetro, petroliferi, chimici, produzione e distribuzione dell'energia elettrica)

◇A lotti (stampaggio, industria elettronica, meccanica, tessile)

### Controllo di processo

L'uscita è una grandezza fisica, variabile con continuità (temperatura pressione, pH)

L'industria di processo (a cui afferiscono gli impianti analizzati nel presente elaborato) presenta determinate peculiarità che rendono necessari sistemi di controllo in grado di rispondere in modo adeguato a tali particolari caratteristiche.

Negli impianti analizzati la maggioranza dei sistemi da automatizzare sono tipicamente distribuiti :

- ▶ Spazialmente : come processi chimici, energetici e di distribuzione, impianti di produzione beni materiali, macchinari per confezionamento, ecc. L'intero impianto può risultare distribuito, quindi, su superfici anche molto estese, pertanto gli elementi che costituiscono il sistema complessivo potrebbero essere posizionati a notevoli distanze tra loro.
- ▶ Funzionalmente : il processo produttivo nel suo complesso, sia esso di beni materiali o di produzione di energia, può essere suddiviso in sottoprocessi ognuno dei quali svolge incarichi precisi e definiti.

Risulta pertanto ragionevole pensare, in fasi di progettazione di sistemi di controllo per impianti industriali che presentano le caratteristiche descritte di distribuzione logica e spaziale, ad un'architettura distribuita anche per i sistemi di automazione. In un sistema di controllo distribuito è possibile raggruppare ed incapsulare una determinata funzione logica e l'hardware ad essa dedicata in una singola unità detta *nodo*. Dunque i sottoprocessi in cui è possibile suddividere il sistema complessivo saranno controllati da un singolo nodo che sarà quindi dedicato e specializzato soltanto nel controllo di quel determinato processo. Dal punto di vista hardware ogni nodo è composto da un controllore che lavora in modo indipendente dai controllori degli altri nodi del sistema.

Un nodo è formato innanzitutto da un'interfaccia uomo-macchina tramite la quale l'operatore è messo in comunicazione con il controllore locale (sistema real-time). Tramite tali interfaccia l'utente può controllare lo stato del sotto-sistema ed impostare i valori desiderati delle variabili in gioco.

La Communication-Network Interface invece rappresenta il livello di scambio dei messaggi fra i nodi. Se si opta per una soluzione distribuita che implica la presenza di una certa quantità di nodi, allora il sistema di comunicazione, ossia l'insieme di tutte le attrezzature hardware e software che si occupano dello scambio dati, gioca un ruolo chiave. Tale interfaccia ha infatti il compito di trasportare i messaggi con elevata affidabilità, entro un tempo prestabilito.

Da quanto finora esposto si intuisce come una soluzione distribuita nella scelta del sistema di controllo di processo sia in grado di introdurre notevoli vantaggi e qualche svantaggio minimo.

I vantaggi sono comunque molteplici e di diverso tipo. Innanzitutto un approccio centralizzato del controllo multi variabile è possibile e realizzabile solo se è disponibile un modello matematico completo dell'impianto; ciò porta ad avere la necessità un controllore di notevoli dimensioni in quanto deve possedere risorse computazionali sufficienti per eseguire l'algoritmo di controllo. Inoltre è necessario che il controllore abbia accesso a tutte le misure disponibili dell'impianto, e nel caso di sistemi distribuiti spazialmente risulta difficile e costoso portare tutte le misure dei sensori in un unico punto di elaborazione. Un vantaggio consiste nei costi; lo sviluppo della microelettronica ha reso possibile la costruzione di nodi ad elevatissima capacità computazionale e costi contenuti grazie alla standardizzazione.

Si possono pertanto produrre in grandi quantità nodi funzionali dedicati al controllo di operazioni industriali standard abbattendo così i costi di produzione. Un sistema di controllo distribuito inoltre è in grado di garantire al sistema le necessarie ed essenziali

proprietà di *componibilità* (un'architettura è componibile se l'integrazione di un certo componente nel sistema non altera le proprietà precedentemente testate) e *scalabilità* (un'architettura è scalabile se rimane sempre aperta ad ovvie evoluzioni nel corso del tempo). Tutti i processi di produzione evolvono nel tempo, pertanto anche i loro sistemi di controllo devono seguirne l'evoluzione lasciando la possibilità di aggiungere nuove funzionalità; un sistema di controllo scalabile non deve presentare nessun collo di bottiglia né in termini di capacità di elaborazione né in termini di capacità di comunicazione.

Soltanto un'architettura di controllo distribuita può garantire una crescita illimitata, in quanto è possibile aggiungere nuovi nodi dotati delle necessarie capacità di comunicazione e calcolo.

E' evidente come negli impianti analizzati le proprietà di componibilità e scalabilità siano imprescindibili. Si deve infatti lasciare aperta la possibilità di poter ampliare o modificare la struttura di sistema di controllo in seguito all'introduzione di nuove tecnologie relative alla produzione di energia; quindi un approccio distribuito del sistema di controllo dell'impianto è essenziale. Infine un sistema DCS introduce maggiore affidabilità, robustezza ai guasti, facilità di messa in opera e rendere più semplice la manutenzione; una soluzione distribuita con un mapping delle funzioni dei nodi **consente di diagnosticare più facilmente un malfunzionamento e di isolarlo, isolando il nodo che l'ha generato** (una soluzione centralizzata renderebbe molto più onerosi i meccanismi di diagnosi del guasto e del suo confinamento).

A fronte di numerosi vantaggi l'adozione di un sistema DCS rende però molto più complicata la fase di progettazione, in quanto è necessario progettare singolarmente i controllori di ogni unità di elaborazione. Inoltre la rete è una risorsa molto critica e deve essere dimensionata in modo da poter **trasferire le molteplicità di informazioni entro i tempi prestabiliti** e senza degradare le prestazioni del sistema. Scegliere inoltre la soluzione topologica della rete più adatta alle caratteristiche del sistema da controllare.

L'architettura gerarchica per l'automazione di processo è basata su più livelli; in particolare vi sono due macrolivelli:

- A livello basso i sistemi DCS
- A più alto livello i sistemi SCADA

L'acronimo **SCADA** (dall'inglese "Supervisory Control And Data Acquisition", cioè "controllo di supervisione e acquisizione dati") indica un sistema informatico distribuito per il monitoraggio elettronico di sistemi fisici.

Un sistema SCADA è un sistema composto da un certo numero di remote terminal units (RTU) collegate ad una master station (MS) attraverso un sistema di comunicazione. Le RTU svolgono prevalentemente una funzione di raccolta dati di campo (field data); mentre la master station ha il compito di display dei dati acquisiti e consente all'operatore di effettuare interventi di controllo in remoto (remote control). Il termine remoto è il fattore caratterizzante dei sistemi SCADA.

Un **DCS** ("Distributed Control System", cioè "sistema di controllo distribuito") è un complesso di elaboratori interconnessi, il cui scopo principale è quello di controllare un impianto o un processo il più delle volte di notevoli dimensioni.

Un sistema di controllo è costituito da diversi sottosistemi tra cui quello di *acquisizione* e di *elaborazione dei dati*. In un DCS tali sottosistemi sono sia fisicamente che tecnologicamente contigui, cioè presenti sulla stessa macchina. Tale macchina in un DCS sarà in grado autonomamente di elaborare informazioni e scambiarle con il processo (impianto), e inoltre con altre macchine presenti nella stessa rete di controllo

Rispetto agli SCADA, nei DCS l'intervento umano svolge un ruolo secondario rispetto al controllo automatico.

Le differenze da spiegare sarebbero molteplici, forse ci vorrebbe un'intera seduta di spiegazioni, ma si può sintetizzare in due semplici concetti :

1. Un sistema DCS è l'insieme gerarchico di apparati hardware e software di un unico produttore da lui certificati per la supervisione e il controllo di qualsiasi tipo di processo.
2. Un sistema Scada è un software di supervisione che solo grazie all'integratore di sistemi e apparati di terze parti permette il controllo più o meno efficace di qualsiasi tipo di processo.

In pratica il DCS è una soluzione hardware e software dove il costruttore garantisce e certifica tutto l'insieme dei prodotti forniti e la loro affidabilità, mentre gli Scada sono solo dei software +/- efficienti che tendono ad imitare (spesso solo da lontano) le soluzioni DCS ma che non forniscono di base alcun tipo di dispositivo e quindi alcuna certificazione in merito all'integrazione tra le due componenti HD/SW .

La distinzione tra SCADA e DCS `e basata sul grado di distribuzione dell'intelligenza del sistema. Il sistema SCADA `e stato sempre considerato come sistema con funzioni di controllo concentrate nel sottosistema di elaborazione e fisicamente e tecnologicamente distinte dalle funzioni di acquisizione.

I sistemi DCS sono caratterizzati invece da strutture di acquisizione dotate di elevata capacità di elaborazione che hanno condotto alla realizzazione di funzioni di acquisizione e controllo fisicamente e tecnologicamente contigue.

Nel caso dei sistemi DCS non è possibile parlare di apparecchiature di acquisizione poiché consistono in veri e propri sistemi di elaborazione più o meno complessi in grado di interpretare i dati provenienti dall'osservazione del processo, valutarne le caratteristiche e prendere decisioni orientate al controllo dello stato. Un centro di supervisione di un sistema DCS, quindi, acquisisce informazioni che sono dati grezzi rappresentativi dello stato in cui si trova il processo ma anche informazioni aggregate relative allo stato di esercizio delle strutture di controllo.

I DCS sono in pratica dei sistemi integrati di controllo e supervisione, che raccolgono tutte le funzionalità offerte da una soluzione PLC/SCADA e ne possiedono delle altre. Originariamente il nome era riferito al fatto che le funzioni di controllo e supervisione erano distribuite tra più CPU; oggi si intende che le diverse CPU sono distribuite all'interno dell'impianto e la capacità di elaborazione è portata laddove serve, con la riduzione dei costi di installazione, dei cablaggi e della manutenzione.

I componenti fondamentali di un sistema DCS sono le **unità a microprocessore** per la gestione degli I/O (usualmente localizzate in modo opportuno nell'impianto) e del controllo, le **interfacce uomo-macchina** (disposte nelle sale di controllo) e le **strutture di comunicazione** (reti digitali di diverse caratteristiche e velocità).

Nei DCS le azioni di controllo non sono delegate ad un unico agente, ma suddivise tra più agenti autonomi, eventualmente coordinati da un supervisore; il malfunzionamento del singolo agente non comporta la perdita di controllo dell'intero sistema; il supervisore consente la razionalizzazione e l'ottimizzazione del processo produttivo complessivo. L'affidabilità del sistema invece è ottenuta ridondando i componenti critici e inoltre presentano una struttura modulare per consentire l'espandibilità del sistema.

## STRUTTURA DI UN DCS

### Supervisione (SCADA)

Il sistema esperto supporta l'operatore nelle scelte operative; viene di solito utilizzato in presenza di deviazioni dal comportamento normale e soprattutto in presenza di allarmi e blocchi

#### • *Gestione allarmi*

Gli allarmi ripetuti devono essere evidenziati, ad ogni allarme può essere associata una priorità, possono essere implementati filtri che utilizzano proprietà associate al singolo allarme (es. priorità) e l'analisi statistica dello storico degli allarmi facilita la classificazione, mentre gli allarmi poco significativi devono essere separati dagli altri.

#### • *Gestione ricette, Programmazione e Supporto alla Manutenzione*

Permettono la gestione dell'impianto in senso lato; funzioni logicamente connesse al mondo esterno all'impianto per realizzare sia il sistema **Manufacturing Execution System** che il **Plant Information Management System**. Realizzano una espansione verso l'alto delle funzioni di un DCS.

#### • *Trend e rapporti e Controllo statistico di processo*

Funzioni di acquisizione dati dal campo (comunicazione) di analisi della conduzione dell'impianto (Trend, rapporti, controllo statistico), strumenti funzionali all'individuazione di possibili anomalie ed al miglioramento del processo, si appoggiano ad un data-base centralizzato di processo.

#### • *Interfaccia operatore*

Basate su macchine con sistema operativo con tecnologia Windows NT (Windows 2000, XP, NT).

#### • *Interfaccia uomo/macchina*

Strumento che permette all'operatore di rendersi conto delle condizioni di esercizio, e di effettuare manovre sull'impianto; dotata di stampanti, segnali acustici, segnali visivi, tastiera e Touch-screen.

#### • *Configurazione*

Configurazione hardware delle varie stazioni di controllo, configurazione software delle varie stazioni di controllo, configurazione delle pagine di supervisione e conduzione d'impianto, simulazione e addestramento del personale, sviluppo del progetto con linguaggi di alto livello spesso "ad oggetti", configurazione delle varie funzioni del DCS semplificata mediante l'utilizzo di maschere standard, possibilità di definire funzioni utente mediante linguaggi testuali (es. C).

- *Comunicazione*

Acquisizione dati ed integrazione di sistema, reti di alto livello per la comunicazione verso l'esterno

(Ethernet), reti con protocollo proprietario per la interconnessione delle macchine, bus ridondati per incrementare la affidabilità, utilizzo di dispositivi standard (switch, router) per la connessione dei vari rami della rete.

### Controllo (A.C.U., PLC)

Unità di controllo : moduli di elaborazione in grado di implementare logiche di controllo di tipo analogico e

sequenziale (moduli di misura in grado di elaborare il segnale dal capo e renderlo disponibile nel bus di controllo)

- Controllo analogico e sequenziale
- Auto/Self-tuning
- Multivariable Control
- Model Predictive Control
- Fuzzy Logic Control
- Ottimizzazione dinamica

Sovrintende a tutte le funzioni di controllo

### Protezione (PLC di sicurezza)

Permette la gestione di situazione anomale non recuperabili e che presentano condizioni di rischio elevato per le persone e le cose; supporta l'azione dell'operatore; talvolta integrato con sistemi esperti; caratteristiche di elevata affidabilità; sistemi elettronici dedicati

- Gestione anomalie
- Shut-down automatico

La maggior parte dei sistemi DCS sono **sistemi Real-Time**.

*Un sistema si dice Real-Time quando le risposte fornite hanno una reale validità ed utilità soltanto se, oltre ad essere logicamente corrette, esse sono rese disponibili entro i limiti temporali prefissati (deadline).*

I requisiti temporali hanno la stessa importanza dei requisiti funzionali. Pertanto è necessario non solo eseguire le funzioni corrette, ma ci sono chiari limiti temporali entro i quali devono essere completate. Dunque si può affermare che la risposta giusta, se arriva in ritardo, è sbagliata.

I sistemi Real-Time sono classificati in base a criticità o velocità della risposta; in base alla prima abbiamo :

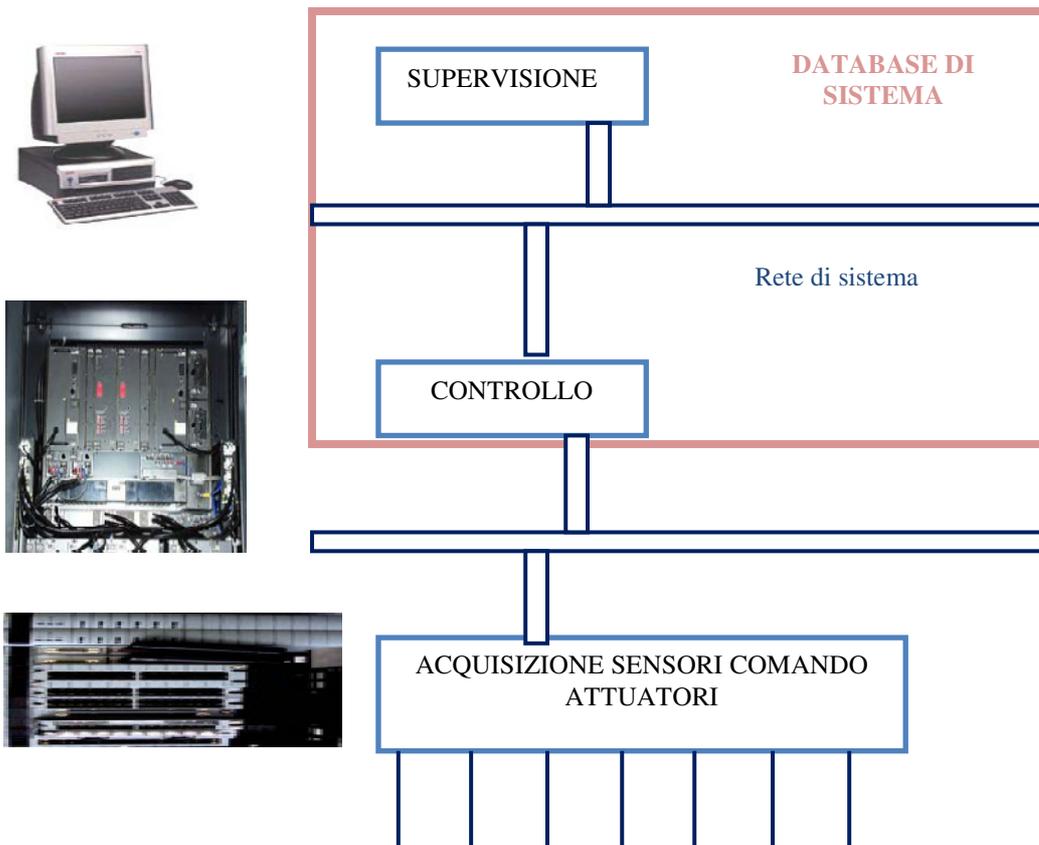
- Sistemi Hard Real-Time, sistemi in cui risulta indispensabile che la risposta sia disponibile entro una prefissata deadline (il tempo è fissato come un valore assoluto) e se la condizione non è soddisfatta il sistema è in errore. La risposta arrivata in ritardo non solo è sbagliata ma potrebbe portare anche a gravi danni funzionali per l'impianto;
- Sistemi Soft Real-Time, sistemi che funzionano correttamente anche quando una certa deadline è occasionalmente non rispettata (il limite temporale è un valore medio); per ogni risposta c'è dunque una gamma di valori accettabili per cui l'informazione può arrivare in ritardo senza che il sistema vada in errore

In realtà esiste una situazione intermedia, in cui un mancato rispetto della deadline non è dannoso per il sistema, ma il risultato è inutile.

In base alla velocità abbiamo :

- Sistemi Real-Time stretti, per poter rispettare i requisiti temporali richiesti deve essere ben progettato e risultare molto performante;
- Sistemi Real-Time larghi, non è particolarmente difficile rispettare i requisiti temporali richiesti

Si può notare nella figura sottostante lo schema rappresentativo dell'architettura di un sistema DCS



## 7.2. SENSORI E ATTUATORI

### 7.2.1. I sensori

Un aspetto molto importante e critico della progettazione di un sistema di controllo di processo riguarda la scelta e l'installazione dei dispositivi di misura delle variabili da controllare, i sensori.

I sensori producono una misura elettrica adatta ad essere integrata in un sistema di controllo basata sul calcolatore.

Secondo l'IEC il sensore è *“l'elemento primario di una catena di misura, che converte la variabili in ingresso in un segnale adatto per la misura”*.

**Un sensore è costituito** da un *elemento sensibile* che fornisce un parametro o un segnale funzione della variabile che si vuole misurare, da un *trasduttore* che modifica la natura del segnale fornito dall'elemento sensibile (di solito lo trasforma in segnale elettrico), e da un *amplificatore* che fornisce in uscita un segnale di potenza sufficiente per essere elaborato dall'unità di controllo.

La scelta di un sensore avviene in base a diverse caratteristiche e vengono perciò selezionati in base a:

- *Prestazioni*

Va bene per l'applicazione?

- *Caratteristiche elettriche*
- *Caratteristiche meccaniche*

Che dimensione ha il sensore?

La scelta della connessione dei sensori avviene in funzione di diverse considerazioni :

- *Come collegare il sensore al controllore*

Direttamente, tramite cavo o tramite rete (sensor network)

- *Considerazioni sull'ambiente, la distanza, le dimensioni*, rendono praticabili le diverse soluzioni

Gli elementi e le proprietà da considerare sono numerosi e di diversa natura; ritardi e rumori di misura devono essere minimizzati il più possibile sia tramite la corretta installazione sia tramite un'accurata scelta delle caratteristiche degli strumenti utilizzati.

Il rumore è principalmente causato da accoppiamenti indesiderati con sorgenti di segnale estranee al circuito di misura; in tutti i casi il livello di rumore dipende a diversi fattori tra cui il trasduttore utilizzato, l'ampiezza del segnale, la lunghezza e il percorso del collegamento, ecc.

Tra i principali metodi per attenuare il rumore vi sono :

- Collegamenti più brevi possibili
- Separare le linee di potenza da quelle di segnale
- Uso di cavi con schermo metallico collegato a massa

### Le proprietà dei sensori

*L'accuratezza* con cui si indica la capacità di un dispositivo di misurazione di avvicinarsi al reale valore del misurando.

In termini matematici rappresenta il massimo scostamento fra la misura fornita dal sensore ed il valore reale della grandezza; di solito è espressa in percentuale del fondo scala (il fondo scala è l'estremo superiore) se uno estremo del campo di misura è uno zero.

Viene indicata con  $\varepsilon$  :

$$\varepsilon = 100 * (X_m - X_v) / X_{FS}$$

in cui  $X_m$  è il valore misurato dal sensore,  $X_v$  è il valore effettivo e  $X_{FS}$  è il valore di fondo scala

*La precisione* con cui si indica invece la ripetibilità o riproducibilità della misura.

In pratica esprime la dispersione di successive misure dello stesso misurando nelle medesime condizioni.

*La rangeability* infine con cui si indica il rapporto tra l'estremo superiore (fondo scala) e quello inferiore, normalizzato all'unità, del campo di misura nel quale si applicano i dati di accuratezza e precisione (perché i valori di accuratezza e precisione di solito vengono fornito solo per una parte del campo di misura del sensore e nella zona rimanente possono essere anche molto scadenti).

*La caratteristica statica* di un sensore è la funzione, generalmente nono lineare, che lega segnale in uscita dal sensore alla grandezza da misurare (misurando).

*La sensibilità* invece può essere definita come rapporto tra una variazione del segnale di uscita e la corrispondente variazione del misurando :

$$S = \nabla y / \nabla x$$

*La risoluzione* infine con cui si indica la minima variazione del misurando in grado di dare luogo ad una variazione percepibile del segnale di uscita del sensore; in applicazioni di particolare precisione in cui è necessario poter apprezzare anche una minima variazione delle variabili da misurare, la risoluzione assume una grande importanza.

#### *Comportamento dinamico*

A fronte di una variazione della grandezza da misurare, il sensore fornirà in uscita un segnale proporzionale a tale variazione; la risposta del sensore però non è immediata ma sarà disponibile con un certo ritardo che dipende dal comportamento dinamico del sensore stesso e dalle modalità con cui viene installato. Il comportamento dinamico ovviamente assume particolare importanza qualora il sistema da controllare sia caratterizzato da dinamiche molto veloci poiché è necessario avere disponibile il segnale relativo ad una variazione prima che se ne presenti un'altra.

I sensori di temperatura, portata e pressione sono tra le tipologie di sensori più utilizzate nell'industria di processo.

### 7.2.2. Gli attuatori

Un **attuatore** è un meccanismo attraverso cui un agente agisce su un ambiente.

In senso lato, un attuatore è talvolta definito come un qualsiasi dispositivo che converte dell'energia da una forma ad un'altra, in modo che questa agisca nell'ambiente fisico al posto dell'uomo; un meccanismo quindi che mette qualcosa in azione automaticamente è detto attuatore.

Alcuni esempi di attuatori sono:

- Umano : braccia, mani, dita, gambe
- Parti di un robot che interagiscono con l'esterno : meccanismi di presa, bracci meccanici, muscoli pneumatici ed altre parti in movimento.

Gli attuatori sono “*dispositivi che trasformano un segnale in movimento*”.

Un sistema di attuazione è composto da diversi elementi :

- Sorgente di alimentazione
- Amplificatore di potenza
- Servomotore
- Organo di trasmissione

Vediamoli nel dettaglio.

*Organi di trasmissione*

Si possono classificare in :

- Ruote dentate : variano asse di rotazione
- Coppie vite-madrevite : convertono il moto di rotazione in traslazione
- Cinghie dentate e catene : quelle dentate sono deformabili con alta velocità e forse basse; le catene sono con basse velocità e più rigide

Vi sono poi altri elementi detti Riduttori, che consentono di rendere compatibili le velocità e le coppie dei motori e dei carichi movimentati.

*Amplificatori di potenza*

Devono modulare il flusso di potenza inviato dall'alimentazione primaria basandosi sul segnale di controllo.

In input vi sono :

- Potenza dalla sorgente primaria
- Segnale di controllo

In output vi sono :

- Potenza ceduta dall'attuatore
- Potenza perduta per effetti dissipativi

#### *Sorgenti di alimentazione*

Fornisce la potenza primaria necessaria al funzionamento dell'attuatore .

#### *Servomotori*

Possiamo classificarli in tre gruppi :

- Elettrici
- Idraulici
- Pneumatici

Esistono vari tipi di attuatori in base al tipo di servomotore impiegato e i principali sono: elettrici, elettrostatici, elettromagnetici, idraulici.

Quelli idraulici trasformano l'energia idraulica immagazzinata in un serbatoio di accumulazione, in energia meccanica mediante opportune pompe; si basano quindi sul principio di funzionamento di variazione di volume sotto l'azione di un fluido in pressione.

Gli attuatori pneumatici trasformano l'energia pneumatica fornita da un compressore e la trasformano in energia meccanica tramite pistoni o turbine ad aria; si utilizza aria compressa e la regolazione qui non è di tipo continuo ma del tipo aperto/chiuso.

Quelli elettrici trasformano l'energia elettrica, fornita dalla rete di distribuzione (o batterie) in energia meccanica.

### 7.3. NORMATIVA

Obiettivo di questo paragrafo è richiamare le principali normative inerenti i sistemi di controllo automatico, in particolare la normativa sulla sicurezza IEC 61511 e 61508; inoltre verrà descritta la normativa che riguarda il PLC in generale e le sue principali componenti definite dalla norma.

#### 7.3.1. PLC e standard IEC 1131-3

##### Definizione :

**PLC (Programmable Logic Controller):** sistema elettronico a funzionamento digitale, destinato all'uso in ambito industriale, che utilizza una memoria programmabile per l'archiviazione interna di istruzioni orientate all'utilizzazione per l'implementazione di funzioni specifiche, come quelle logiche, di sequenziamento, di temporizzazione, di conteggio e di calcolo aritmetico, e per controllare, mediante ingressi ed uscite sia digitali che analogici, vari tipi di macchine e processi.

**Sistema PLC:** configurazione realizzata dall'utilizzatore, formata da un PLC e dalle periferiche associate, necessaria al sistema automatizzato previsto.

##### Componenti di un PLC :

**Armadio :** contiene i vari moduli assicurandone la connessione meccanica ed elettrica (tramite bus) e la schermatura. Le sue caratteristiche fondamentali sono il numero di slot, il grado di protezione, le dimensioni e il tipo di fissaggio.

**Modulo alimentatore :** fornisce l'alimentazione stabilizzata ai moduli; le sue caratteristiche principali sono la potenza massima erogabile, la connettibilità in parallelo (per la potenza o per motivi di ridondanza), la possibilità di inviare al PLC un segnale di shutdown in caso di mancanza di alimentazione, la presenza di batterie tampone e di indicatori di stato.

**Moduli di ingresso/uscita (I/O) :** il PLC comunica con il campo attraverso moduli di I/O digitali e analogici, che assicurano l'isolamento galvanico per salvaguardare l'elettronica interna. La trasmissione avviene in tensione o - più spesso - in corrente, modulando l'assorbimento sulle linee di alimentazione; i moduli di I/O analogici realizzano anche le conversioni D/A e A/D.

**Moduli speciali :** ne esistono di molti tipi.

I principali sono

- moduli di I/O remoto (posti in un rack diverso da quello del PLC),

- moduli per connessione in rete (per bus di campo, ethernet,...),
- moduli per controllo PID,
- moduli per la lettura di sensori particolari (termocoppie, encoder,...),
- moduli d'interfaccia operatore (tastierini, display,...),
- moduli di backup (CPU di riserva sincronizzate con quella principale, che le subentrano in caso di malfunzionamento).

**Terminale di programmazione :** Vi sono terminali di tipo dedicato che si collegano direttamente al PLC tramite una porta di comunicazione e sono dotati di una tastiera per l'inserimento delle istruzioni e di un display per il controllo del programma. Si utilizzano dei pacchetti software appositi. I terminali PC sono connessi al PLC direttamente o via rete. Spesso consentono anche il monitoraggio del PLC durante il suo normale funzionamento.

**Modulo processore :** il modulo processore (CPU) contiene uno o più microprocessori, che eseguono i

programmi del sistema operativo e quelli sviluppati dall'utente.

- Lettura degli ingressi fisici e aggiornamento coi valori così ottenuti di un'area specifica della memoria;
- Esecuzione del programma utente, che opera sui valori in memoria e in memoria pone i risultati;
- Esecuzione dei programmi di gestione del sistema (ad es. di diagnostica);
- Scrittura sulle uscite fisiche dei valori corrispondenti conservati nell'area di memoria riservata a questo scopo.

In casi particolari (tipicamente guasti o emergenze) una CPU può eseguire operazioni con accesso immediato ai punti di ingresso/uscita.

**La velocità di elaborazione** di una CPU è misurata dal tempo di scansione, cioè dal tempo che intercorre tra due attivazioni successive della stessa porzione del programma utente.

Il tempo di scansione dipende da quanti ingressi e uscite bisogna aggiornare e dalle dimensioni e dalla complessità del programma utente (il produttore di un PLC indica tipicamente un valor medio del tempo di scansione per programmi di media complessità).

**Il tempo di risposta** del PLC è, invece, il massimo intervallo di tempo che passa tra la rilevazione di un certo evento e l'esecuzione dell'azione di risposta per esso programmata. Il tempo di risposta, quindi, tiene conto anche dei ritardi introdotti dai moduli di I/O.

**Il sistema operativo** di un sistema PLC è un insieme di programmi memorizzati in modo permanente, che si occupano di :

- controllo delle attività del PLC,
- elaborazione dei programmi utente,
- comunicazione,
- diagnostica interna, ovvero *watchdog timer* (controllo del tempo di esecuzione di alcune funzionalità e generazione di un allarme se esso supera una soglia assegnata); *controlli di parità* sulla memoria sulle linee di comunicazione; *controllo della tensione di alimentazione* e dello *stato delle batterie* tampone.

### **7.3.2. Normativa sulla sicurezza : IEC 61511 e 61508**

La norma sulla sicurezza funzionale prevede l'adozione di standard e costituisce il giusto collante tra evoluzione tecnologica e assicurazione dei principi di safety nell'utilizzo di attrezzature e impianti.

Lo stato dell'automazione nei sistemi di sicurezza di macchine ed impianti si evolve rapidamente a seguito

della continua ricerca in settori portanti quali l'elettronica e l'elettronica programmabile (PLC, DCS, DSP,

ecc.). Le norme di prodotto sono in genere obbligate ad inseguire tale progresso nei processi di fabbricazione; talvolta si pensa che l'assenza di adeguati riferimenti normativi sia a vantaggio delle condizioni di garanzia nel funzionamento di attrezzature e impianti, mentre in altri casi si trascura (data la non obbligatorietà dell'applicazione normativa) l'esistenza di standard normativi utilissimi che costituiscono la regola dell'arte.

In quest'ultima casistica rientra certamente la **norma IEC 61508** che indica i criteri di realizzazione al fine di ottenere un livello di "*sicurezza funzionale dei sistemi elettrici, elettronici ed elettronici programmabili (E/E/EP) per applicazioni di sicurezza*".

La serie di norme IEC 61508 è stata recepita dal CENELEC e successivamente adottata dal CEI nel 2002

con validità dal 01/01/2003; è in lingua originale inglese (non è attualmente tradotta in italiano) ed è costituita da sette parti. E' una norma di tipo "stand alone", in quanto non contiene solo gli aspetti applicativi relativi ai sistemi di misura e controllo dei processi industriali, ma anche tutti gli aspetti generali di descrizione delle metodologie, proponendo un metodo che considera l'affidabilità in termini *quantitativi*.

E' in atto una revisione della serie IEC 61508 che la dovrebbe trasformare in una norma di base e di riferimento per le metodologie di carattere generale, da utilizzarsi come supporto a settori differenti ovvero a tipologie di attrezzature differenti; si spera che nel tempo diventi norma armonizzata alle varie direttive di prodotto.

Su analoghi principi e metodi della IEC 61508 sono state emanate norme applicabili a settori o apparecchi

specifici; ad esempio industria di processo (norma IEC 61511).

A breve verranno completate le fasi di approvazione per altri settori a rischio specifico, ad esempio aerospaziale, automobilistico, marino, medicale. Alcune norme armonizzate a particolari direttive di

prodotto fanno espresso riferimento alla IEC 61508 per regolare gli aspetti legati alla sicurezza funzionale.

Probabilmente la mancanza del requisito di armonizzazione della norma ne limita attualmente un'applicazione diffusa e una corretta comprensione. E' da notare, tuttavia, come settori ad elevata automazione abbiano comunque destinato parte degli investimenti allo studio ed alla ricerca su nuovi prodotti conformi ai requisiti della IEC 61508.

Alcune definizioni di base contenute nella norma sono le seguenti :

*Electrical/Electronic/Programmable Electronic System* ovvero sistemi per il controllo, protezione, osservazione che hanno uno o più apparati elettrici, elettronici, elettronici programmabili. Includono tutti gli elementi del sistema come alimentazione elettrica, sensori, ed altri apparati di input, data highways (reti di comunicazione dati), ed altri sistemi di comunicazione, attuatori ed altre attrezzature di emissione comando.

*Safety Function (funzione di sicurezza)* ovvero la funzione che deve essere implementata per ridurre un pericolo o mantenere uno stato di sicurezza per l'attrezzatura sotto controllo rispetto ad uno specifico evento pericoloso.

*Safety Related System* ovvero il sistema progettato per ottenere, da solo o con altri sistemi E/E/SEP (dispositivi elettrosensibili) o con altre tecnologie, il livello di integrità richiesto dalle funzioni di sicurezza identificate.

*Safety Integrity Level (SIL)* ovvero la probabilità richiesta ad un sistema di sicurezza per effettuare correttamente le sue funzioni in tutte le condizioni previste; il SIL è funzione dell'affidabilità dei componenti selezionati e della frequenza di prova stabilita. Quindi la funzione di sicurezza deve rientrare in una condizione di affidabilità misurata dal SIL.

Una volta valutato, quantitativamente o dimensionalmente, un rischio ci si pone l'obiettivo di ridurlo fino ad un livello accettabile.

Per ottenere questo si interpongono dei livelli di sicurezza che sottraggono quantità di rischio fino ad un livello, denominato residuo, che dovrà corrispondere o superare i nostri obiettivi iniziali.

Un tipico esempio è quello di evitare il superamento del livello di rischio definito accettabile, come quello di una pressione ammissibile per un'attrezzatura. Questa funzione di sicurezza (o sicurezza funzionale) potrebbe essere svolta da una valvola di regolazione che assicuri un livello di pressione su una linea in determinate condizioni di rischio dell'impianto e nel contempo garantisca valori di regolazione nel funzionamento ordinario. Verificate le probabilità numeriche che la catena di sicurezza fallisca alla richiesta di intervento in caso di anomalie di esercizio (inclusi gli errori umani e di funzionamento valutati come rischio), senza trascurare il fatto che il medesimo componente svolge numerose operazioni nel funzionamento ordinario, questa potrebbe affiancarsi o addirittura sostituire una protezione passiva (ad esempio un riduttore di pressione a coefficiente volumetrico fisso).

Si intuisce che, se da un lato l'adozione estensiva della sicurezza funzionale incentiva la sempre minor adozione di dispositivi attivi di mitigazione (esempio valvole di sicurezza, dischi di rottura, ecc.), dall'altro impone uno standard tecnologico di elevata affidabilità e costantemente in funzione per ricoprire nuove funzioni di prevenzione.

Tutte le Direttive di prodotto che fondano la sicurezza sul principio di affidabilità, associano a tale requisito

quello di autodiagnosi del sistema di sicurezza al fine di assicurarne la *Continua Disponibilità*. Spesso le norme armonizzate impongono anche l'adozione di alimentazioni di sicurezza elettriche.

Essenzialmente il SIL è legato ai tassi di guasto dei singoli componenti e la valutazione del SIL trae origine

da metodologie di calcolo di affidabilità della catena specifica adottata.

Si impone pertanto l'impiego di dispositivi di qualità elevata che il mercato ha recepito con una rapida ed importante immissione di prodotti ad alta fidatezza e di informazioni sui tassi di guasto dei singoli componenti. E' facile notare, nella determinazione del SIL, che tale analisi numerica va oltre i requisiti di una Direttiva di prodotto, la quale in genere non regola accuratamente aspetti legati alla manutenzione.

L'approccio della IEC 61508 invece impone la scelta di tempi di controllo (*Interval Test - proof test*) e dell'eventuale ripristino dei requisiti del singolo componente della catena (tempo medio di riparazione MTTR).

La Norma IEC 61508 introduce la figura dell'*Advisor/Assessor* (Esperto di supporto/Perito): questi è deputato a validare ogni procedura concepita dal fabbricante nella realizzazione del prodotto, presunto conforme, e ad assisterlo nella corretta realizzazione del fascicolo tecnico da allegarsi al prodotto.

I fabbricanti si devono perciò avvalere di una *Terza Parte* che può essere ricercata, in modo facoltativo, all'interno della loro azienda ma con funzioni esterne al processo di produzione, oppure di un Professionista o di un Ente Notificato. Il fascicolo con relativa dichiarazione di conformità sarà poi reso disponibile al certificatore di impianto.

Un sostanziale e immediato obiettivo da perseguire nell'adozione di sistemi di sicurezza programmabili è quello di evitare la manipolazione non autorizzata o non intenzionale del software o di altri elementi della catena.

E' importante ricordare che la Norma CEI-EN 61508 può essere sempre utilizzata come riferimento per il corretto approccio della sicurezza funzionale in qualunque campo tecnologico di applicazione.

La Norma IEC 61508 è stata ispiratrice della Norma IEC 61511 specifica per la sicurezza funzionale nell'industria di processo. Anche la **norma IEC 61511** è in lingua originale inglese; attualmente non è tradotta in italiano ed è in vigore dal 01/04/2006; il titolo completo è: CEI EN 61511 - "*Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector*".

L'applicabilità di tale norma è ristretta all'industria di processo, adegua il SIL a tale settore specifico, estende la catena relativa alla sicurezza (SIS) con le definizioni *sensors* (elementi sensibili) - *logic solver* (risolutore logico) - *final elements* (elementi di controllo finali).

Anche in questo caso deve essere prodotto un fascicolo con dichiarazione di conformità da sottoporsi al certificatore, esteso all'impianto e pertanto redatto dal costruttore dell'impianto e non limitato a quello di prodotto.

L'applicazione della IEC 61511 è utile per ottenere *i sistemi di allarme e blocco automatico*, per i parametri operativi critici e i *blocchi di emergenza degli impianti tecnologici* da attuare per i rapporti di sicurezza previsti dal D.Lgs. concernente il controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose. Sempre riguardo ai grandi impianti, questa si integra con la rivelazione incendio e gas.

Il sistema di sicurezza deve avere un'indicazione di stato, deve essere dotato di indicatori visivi e uditivi o segnali di avvertimento per il controllo della disponibilità del sistema/componente e dello stato di attivazione. L'indicazione dello stato del sistema deve essere situata presso il pannello di controllo del processo oppure presso il sistema di controllo distribuito. L'indicazione dello stato dei componenti deve essere situata in posizioni simili o presso il dispositivo, in base alle necessità.

La Norma CEI-EN 61508 costituisce un validissimo ed utile supporto a valutazioni numeriche direttamente collegabili ai principi per la valutazione del rischio.

In Italia, negli ultimi anni, nelle aziende a rischio di incidente rilevante, sono sempre più evidenti le analisi condotte applicando norme IEC 61508/IEC 61511 in occasione degli adeguamenti tecnologici di sicurezza di impianti esistenti, di progetti per la realizzazione di nuovi impianti, nonché nell'ambito degli interventi previsti nel Piano di Miglioramento del Sistema di Gestione della Sicurezza per la Prevenzione degli Incidenti Rilevanti adottato ed attuato da ciascuna azienda.

L'esperienza maturata in questi anni ha creato nelle Aziende la consapevolezza che la redazione di un "Rapporto di Sicurezza" o lo svolgimento di una analisi di rischio non è solamente un problema di "rispetto di una norma di legge", o di un Regolamento, ma la "Gestione della Sicurezza" è diventato ormai l'aspetto centrale dell'attività produttiva. La Sicurezza è parte integrante dell'attività produttiva e solo con una "Gestione Integrata", che la porta ad essere non più un aspetto accessorio, si possono raggiungere elevati livelli di sicurezza, salvaguardia delle persone e della loro salute, ed integrità del patrimonio ambientale e aziendale.

La tecnologia sviluppata nei secoli dal genere umano ha cambiato il nostro mondo, incrementando la libertà, la salute e la sicurezza dello stesso. Essa necessita del governo dell'ambiente, delle risorse disponibili, dei nostri beni e non è esente da rischi.

La sicurezza, definita come la disgiunzione delle attività da livelli di rischio inaccettabili, è caratterizzata da un livello di rischio sostenibile che deve essere necessariamente individuato, traguardato e garantito nel tempo per tutto il ciclo di vita delle apparecchiature, degli impianti e degli stessi prodotti. Ciò attraverso la definizione di obiettivi specifici e la messa in atto di opportuni strumenti per la gestione del rischio e del programma di sicurezza, anche in accordo ai requisiti della normativa e dalle risultanze dell'analisi dei rischi.

L'organizzazione è chiamata a dotarsi di un approccio integrato che renda coerenti le varie metodologie di analisi del rischio, gestione del rischio e del programma di sicurezza, gestione della manutenzione e del ciclo di vita di impianti, apparecchiature, sistemi e logiche di controllo che possa essere applicato in tutte le fasi di attività quali: progettazione, costruzione, montaggi, commissionino ed avviamento di nuovi impianti, decommissioning di impianti esistenti, plant operations, manutenzione, programmazione e sviluppo, gestione delle modifiche, individuazione dei pericoli per la salute e la sicurezza, progettazione delle misure di prevenzione e mitigazione dei danni, controllo dei rischi di incidente rilevanti.

Questo approccio metodologico integrato deve necessariamente tener conto delle peculiarità della organizzazione (in termini di processi aziendali, risorse, etc.), del fattore umano e della esperienza storica raccolta dalle varie funzioni aziendali (tra cui, in primis, servizio prevenzione e protezione, ingegneria della manutenzione e della affidabilità, servizio ispezioni e collaudi, etc.).

L'applicazione reale delle norme IEC 61508 e 61511 nell'ambito di una azienda di processo a rischio di incidente rilevante e l'applicazione delle norme coinvolge tutta l'organizzazione e deve integrarsi oltre che essere coerente con quanto previsto dalla normativa di legge di riferimento in materia e con quanto previsto dai sistemi di gestione aziendali. In questo modo risulta così possibile gestire la complessità della organizzazione stessa per gli aspetti di salute, sicurezza sul lavoro, sicurezza industriale. Complessità derivante dal numero, dalla dimensione, dalla tipologie di: soggetti e funzioni coinvolti (con i relativi ruoli e responsabilità), apparecchiature / sistemi / impianti e sostanze chimiche pericolose in esse impiegate e prodotte, procedure organizzative ed istruzioni operative, metodologie di analisi dei rischi, processi di documentazione e comunicazione delle informazioni rilevanti.

La Sicurezza è parte integrante dell'attività produttiva e solo con una "Gestione Integrata", che la porta ad essere non più un aspetto accessorio, si possono raggiungere elevati livelli di sicurezza, salvaguardia delle persone e della loro salute, ed integrità del patrimonio ambientale e aziendale.

Nell'ambito di una realtà a grande complessità come una azienda di processo esposta al rischio di incidente rilevante e di conseguenza soggetta alla normativa di riferimento in materia (D.Lgs. 334/99 e s.m.i.) le analisi di affidabilità dei componenti di sicurezza risultano essere fondamentali.

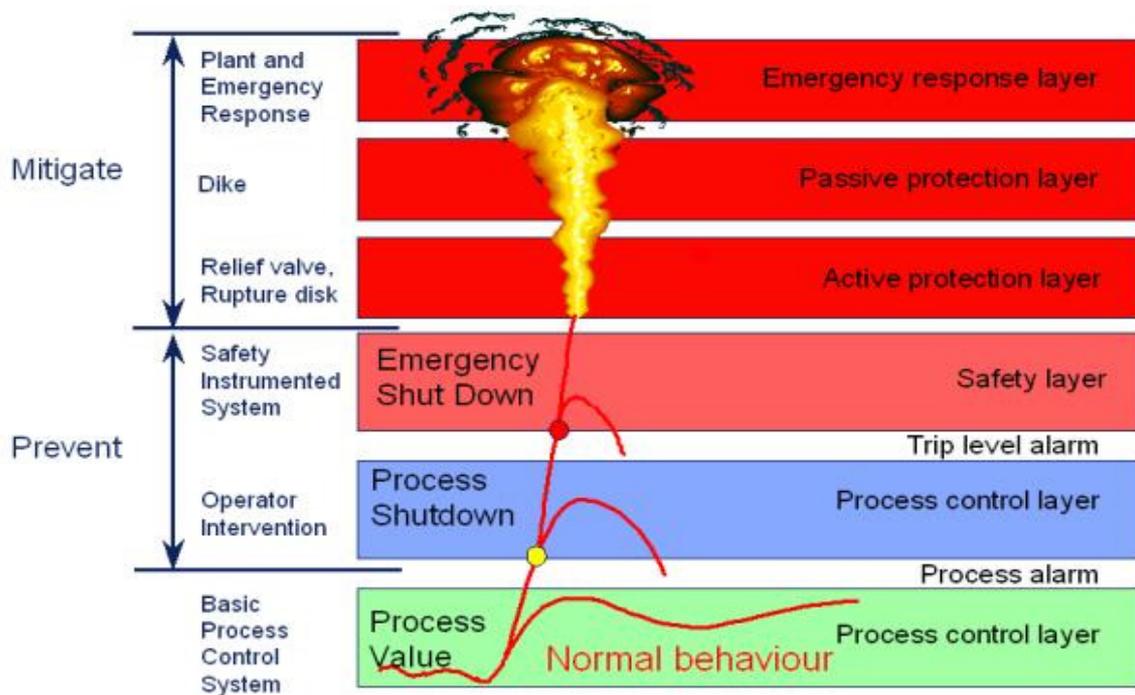
**La norma IEC 61508 indica quindi che non esiste nessuna cosa senza rischio, il rischio non è mai pari a zero c'è sempre in ogni cosa, funzione o situazione.**

- ▶ Il concetto di *rischio tollerabile* è fondamentale.
- ▶ Il focus è sulla *riduzione del rischio*.
- ▶ Non imparare dagli errori.

International standard IEC 61508: "Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems" è stata sviluppata negli anni '90 e fornisce concetti che dovrebbero essere considerati "best practice"

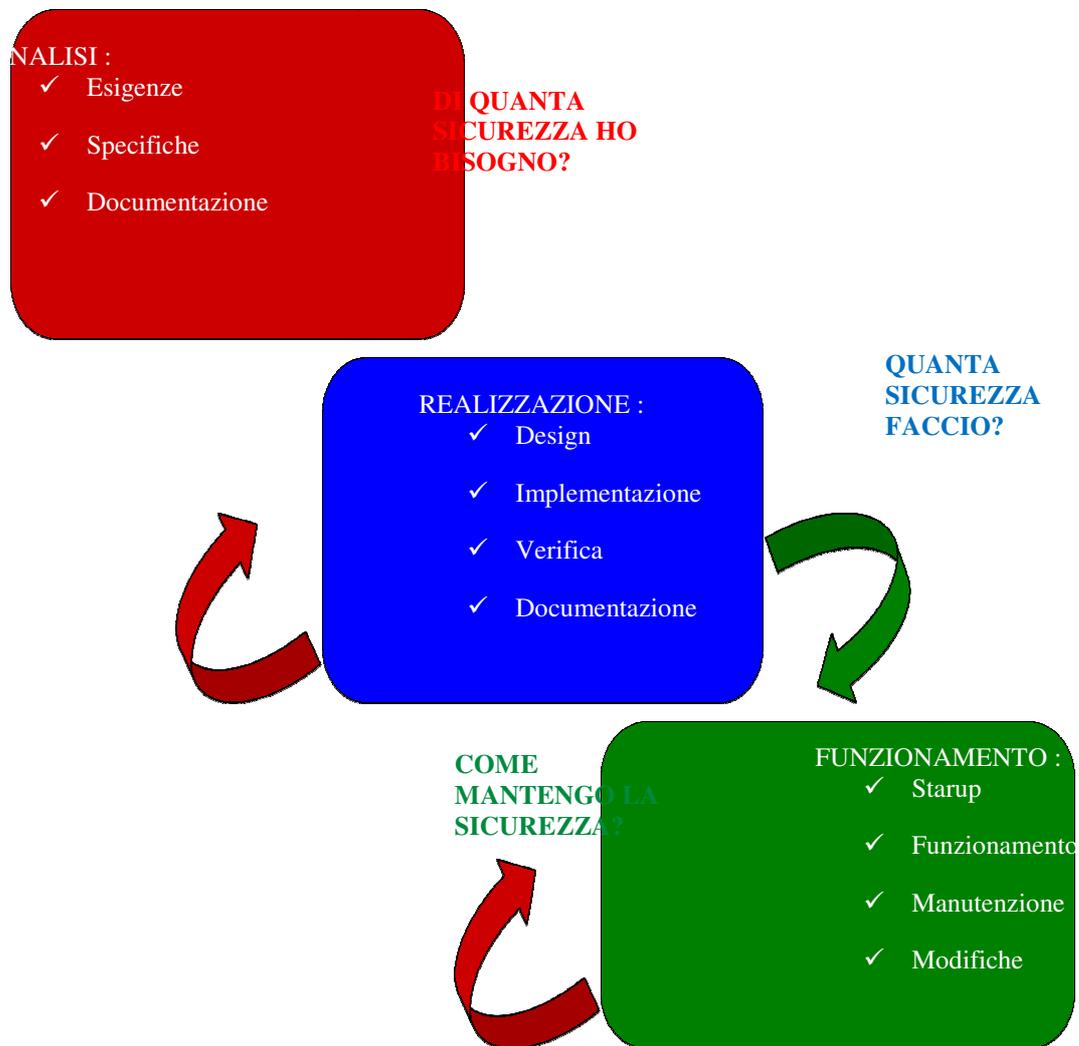
#### Struttura della Norma

- Parte 1 : Requisiti generali
- Parte 2 : Requisiti per sistemi elettrici/elettronici/elettronici programmabili relativi alla sicurezza
- Parte 3 : Requisiti del software
- Parte 4 : Definizioni e abbreviazioni (supporto informativo)
- Parte 5 : Esempi di metodi per la determinazione dei livelli di sicurezza intergi (supporto informativo)
- Parte 6 : Linee guida sull'applicazione della Parte 2 e Parte 3 (supporto informativo)
- Parte 7 : Panoramica delle tecniche e delle misure (supporto informativo).



Come si vede dalla figura vi sono due modi in cui si può intervenire su un evento rischioso : attraverso la **mitigazione**, quando ormai il danno è avvenuto e cercando quindi di arginare il potenziale danno ormai occorso; oppure attraverso la **prevenzione**, cercare di intervenire prima che il danno avvenga (i dispositivi devono quindi essere impostati su parametri che riconoscano l'eventuale danno prima che questo avvenga e poter così intervenire in anticipo). Oggi ci si sta orientando verso l'ultima soluzione descritta (la prevenzione) attraverso la sicurezza che diventa attiva e non più solo passiva.

## Safety Life Cycle



### **7.4. PROGETTAZIONE SICUREZZA**

I sistemi di sicurezza hanno lo scopo di portare automaticamente il processo in uno stato di sicurezza quando vengono violate condizioni predeterminate.

La sicurezza quindi può essere di due tipi :

1. Attiva

Si tratta della Prevenzione (Prevent) che interviene tramite un controllo di alcuni parametri che superando un certo valore soglia comportano la disattivazione di alcune sezioni dell'impianto o di tutto il sistema, in funzione della gravità del problema riscontrato dal PLC (prima di un evento disastroso, quindi, comporta la disattivazione di alcune sezioni senza compromettere il sistema)

2. Passiva

Si tratta della Mitigazione (Mitigate) che interviene cercando di attenuare gli effetti di un problema, anche se ormai alcune sezioni sono state danneggiate, va comunque progettata considerando gli eventuali problemi che si possono riscontrare e come poter intervenire nei diversi casi che si presentano

La Normativa, come abbiamo visto, stabilisce che **nessun evento può avere rischio zero, il rischio esiste sempre** e quindi si deve sempre tenerne conto nel progettare un sistema per la sicurezza di un impianto.

Si deve cercare di prevenire sempre eventi dannosi per l'impianto, che comporterebbero fermi impianto con conseguente perdita in termini economici per mancata produzione.

Bisogna dunque compiere un'analisi di convenienza, rispetto ai possibili guasti che possono intervenire in un impianto. La convenienza va analizzata riguardo al progettare o meno il sistema di controllo e sicurezza al minimo livello di rischio che posso garantire; in questo modo la spesa per la sicurezza è sicuramente minima, però non si è tutelati nel caso di grossi problemi del sistema non previsti che comprometterebbero magari anche sezioni di impianti e così lunghi fermi di produzione (in pratica ho perdita di sezioni di impianto difficili o costosi da riparare o con lunghi tempi di sostituzione); al contrario progettando a un livello di rischio più elevato la spesa iniziale è senz'altro maggiore però si è più tutelati per diversi problemi anche gravi che si possono riscontrare, compromettendo in misura minore la produzione, in quanto magari la sicurezza ben progettata fa scattare prima dei dispositivi di sicurezza in modo da prevenire in parte gravi danni all'impianto e non comporterebbe così grossi fermi impianto (in pratica non si rompe nulla o poco o comunque componenti riparabili e sostituibili velocemente che comportano spese minori).

Importante risulta analizzare dettagliatamente i diversi rischi che si possono incontrare e progettare la loro prevenzione o mitigazione, in funzione del sistema che abbiamo di fronte e dei costi diretti e indiretti derivanti dalle diverse soluzioni di livello di sicurezza installato.

Storicamente l'automazione è sempre stata vista come passiva, cioè si interveniva in modo da attenuare il più possibile i problemi derivanti da un evento rischioso già intervenuto, programmando magari prima tutti i possibili interventi immediati da effettuare nel caso dei diversi possibili rischi.

Oggi ci sta orientando sempre di più, grazie anche ai progressi nell'automazione e nella sua elettronica e componentistica, verso sistemi di sicurezza attiva tramite il monitoraggio continuo e dettagliato dell'impianto e tramite azioni di correzione anticipata rispetto al verificarsi dell'evento rischioso.

#### Progettazione di sistemi critici per la sicurezza

Trattando sistemi critici per la sicurezza, tutti gli aspetti di **affidabilità, disponibilità, manutenibilità e sicurezza (RAMS – Reliability Availability, Maintainability, Safety)** devono essere considerati.

Sicurezza e Affidabilità derivano da una combinazione di :

- ✓ Guasto evitato
- ✓ Rimozione guasto
- ✓ Tolleranza del guasto
- ✓ Individuazione e diagnosi del guasto
- ✓ Supervisione e Protezione automatica

Le prime due (guasto evitato e rimosso) devono essere realizzate principalmente durante la progettazione del sistema e durante la fase di test e collaudo.

Esiste una serie di metodi di analisi da sviluppare :

- Analisi di Affidabilità
- Event Tree Analysis (ETA) cioè albero degli eventi, e Fault Tree Analysis (FTA) cioè albero dei guasti
- Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) cioè modalità ed effetto dei guasti
- Hazard Analysis (HA) cioè analisi dei rischi
- Classificazione dei rischi

Tutti questi metodi possono essere combinati in una procedura di progettazione integrata

- ▶ La FMEA identifica tutti i componenti, rotture, cause ed effetti; ogni singola rottura continua in una FTA per determinare le cause e le loro interconnessioni logiche a livello di componente; le cause di rottura sono poi usate per progettare l’Affidabilità complessiva; le rimanenti rotture che non possono essere evitate sono poi classificate e determinare le corrispondenti procedure di manutenzione.
- ▶ La HA estrae e identifica le rotture critiche di sicurezza e determina le cause con le interconnessioni logiche.

Il pericolo di rischio è misurato da un numero :

$$R (\text{risk}) = C \times F_H \times F_{OP}$$

dove C è la conseguenza grave del rischio,  $F_H$  è la frequenza di probabilità del rischio,  $F_{OP}$  è la frequenza dell’intervento effettuato.

In pratica il rischio è collegato a un evento, all’evento sono associate tre componenti :

1. La probabilità dell’evento con cui avviene (riguarda la manutenzione)
2. La gravità dell’evento, cioè C (riguarda la sicurezza passiva, quella storica IEC 61511)
3. La diagnosticabilità dell’evento, cioè la percentuale di eventi che diventano fatali (riguarda la sicurezza attiva, quella di nuova tendenza IEC 61508 )

Queste tre componenti sono poi le componenti del rischio in se stesso (R).

## 7.5. CONTROLLO DELL’IMPIANTO A CIPPATO DI CASTEL D’AIANO

Nel sistema di controllo dell’impianto di Castel d’Aiano vi sono CPU del tipo Siemens SIMATIC ET 200s. Tutto il sistema è stato acquistato da un’azienda austriaca, la Larsys System.

Tale dispositivo è un sistema multifunzionale e bit-modulare I/O con livello di protezione internazionale IP 20 (*International Protection*, ogni componente sia esso elettrico, elettronico o meccanico presenta diversi livelli di protezione) che può essere perfettamente adattato per attività (task) di automazione; è robusto e può anche essere usato sotto condizioni di alto stress meccanico.

I moduli di interfaccia con una CPU integrale trasferiscono la potenza di elaborazione in una CPU direttamente nel dispositivo I/O; essi inoltre trasferiscono all’unità centrale PLC, e permettono risposte rapide nei tempi critici.

Con i suoi 8 moduli digitali di input e output, che permettono la connessione di due sensori wireless e offrono un fattore di simultaneità del 100% (Real-Time).

Per l'impianto in questione si è pensato di adottare una **soluzione di controllo distribuita** almeno per il controllo dei sotto-processi principali del sistema ossia *gassificatore*, *camera di combustione* e *motore Stirling* per un totale di tre nodi collegati tra loro da bus di comunicazione.

Tali sotto-processi sono infatti i più delicati dal punto di vista del controllo, essi sono quindi Real-Time di tipo Hard, **ogni informazione che dovesse arrivare oltre la deadline perderebbe la sua validità e potrebbe causare seri danni all'impianto.**

Inoltre un *PLC centrale* si occupa di tutti quei controlli meno onerosi dal punto di vista computazionale (per esempio il controllo del motore elettrico del sistema di coclee che trasferiscono il cippato dal deposito al gassificatore); oltre a ciò il PLC si occupa della diagnostica e supervisione del sistema complessivo e infine svolgere la funzione di Master nell'allocazione dinamica del canale di comunicazione, al fine di decidere la priorità con cui i nodi del sistema devono trasmettere le informazioni, siano esse di routine che di allarme.

La tecnologia di co-generazione qui impiegata tramite motore Stirling risulta giustificata solo se abbinata a un efficiente sistema di controllo. **Lo Stirling ha una buona resa e buon rendimento solo a temperature e pressioni elevate**, non controllabili d'altronde con le tecnologie esistenti fino a pochi decenni fa.

Nel presente impianto ogni parametro del processo viene invece controllato da un PLC centrale che gestisce automaticamente tutti i cicli termodinamici senza la supervisione di operatori.

Il software del PLC è stato scritto per ricercare l'ottimizzazione della produzione elettrica e termica in funzione delle caratteristiche del legno, sulla base dei valori di **temperatura**, **pressione e portata** (principali parametri del processo), rilevati da sensori dislocati nei vari punti dell'impianto. I sensori utilizzati sono quelli tipici dell'industria di processo.

Per il controllo grossa attenzione è data alla camera di combustione appunto, che deve raggiungere temperature piuttosto elevate per avere da un lato, il maggiore rendimento possibile, e dall'altro per fare in modo che vi sia il minor quantitativo possibile di residui incombusti con conseguente produzione in uscita di fumi puliti (se bruciassimo le ceneri incombuste e non prelevate dalla camera invece vi sarebbero quantità di inquinanti emesse in atmosfera) e privi di valori inquinanti; per la camera di combustione vi è quindi un PLC.

Vengono quindi misurati in tempo reale i valori percentuali di ossigeno nei fumi in uscita (per bloccare l'impianto nel caso abbia incombusti non bruciati dalla camera) ed in quelli di ricircolo, le temperature nella zona più calda della camera di combustione, ossia quella di impatto e scambio termico con il motore Stirling, la depressione nelle varie zone, la temperatura del gas ottenuto dalla gassificazione e la portata e la temperatura dell'aria di combustione in uscita dal preriscaldatore a fascio tubiero.

Un secondo PLC si occupa del controllo del motore elettrico che muove il sistema di coclee per l'alimentazione automatica del cippato dal magazzino alla cima del gassificatore in base al regime di funzionamento della centrale, che varia in funzione del periodo dell'anno.

### Esigenze di controllo

Altra caratteristica è la distribuzione spaziale dei sensori; le variabili controllate sono prevalentemente temperatura, pressione e portata, come enunciato precedentemente. E' necessario però controllare pressione e temperatura del gassificatore allo stesso modo di come è necessario farlo per la camera di combustione.

Analogamente si intuisce come sia richiesto di controllare la percentuale di ossigeno che va a mescolarsi con i fumi di ricircolo della camera di combustione che rientrano nel gassificatore, allo stesso modo di come è richiesto di controllare la percentuale di ossigeno che si mescola al syngas prima di subire il processo di combustione totale. Vi è pertanto una distribuzione spaziale sull'intero plant delle variabili da controllare; anche questa caratteristica motiva un approccio di tipo distribuito nella progettazione del sistema di controllo.

Infine le variabili da controllare non sono indipendenti fra loro. Il gassificatore, così come la camera di combustione, è sicuramente un sistema MIMO (Multi Input-Multi output), dove ogni variazione di una qualsiasi variabile può influenzare le altre grandezze. In altre parole ogni variabili controllata non dipende soltanto dal relativo ingresso mediante la specifica funzione di trasferimento ingresso-uscita di tale variabile, ma dipende anche dalle altre variabili. Se ad esempio controlliamo e modifichiamo la temperatura all'interno del gassificatore, tale modifica avrà anche effetti sulla pressione, in quanto una modifica alla temperatura porta ad una espansione o compressione dei gas coinvolti ed una conseguente variazione di pressione.

Controllo del **sistema di alimentazione del cippato** : il cippato di legno, contenuto nel deposito dell'impianto, viene automaticamente prelevato e caricato nella parte alta del gassificatore tramite un sistema di coclee.

Questo sistema meccanizzato è composto da una coclea adagiata sul fondo del deposito e da due bracci rotativi che muovono il legno verso la coclea stessa, la quale, ruotando azionata da un motore, estrae automaticamente il cippato e lo convoglia dentro una valvola stellare. Quest'ultima è un organo di intercettazione antincendio atto a separare meccanicamente il combustibile presente nel deposito da quello presente nella coclea di alimentazione del gassificatore, attraverso una superficie di materiale metallico; in sostanza, è composta da una serie di piastre metalliche disposte a stella su un perno centrale libero di ruotare, queste piastre definiscono una serie di settori separati. Le piastre della valvola stellare fungono anche da coltelli che, ruotando, possono tagliare: in questo modo si ha la certezza che non venga caricato nel gassificatore materiale diverso dal legno di pezzatura adeguata.

**Nel caso in cui un pezzo troppo lungo non possa essere tagliato dalla valvola rotativa, il PLC di controllo rileva un assorbimento di corrente troppo elevato da parte del motore e ne comanda la rotazione nel senso opposto, per poi ritentare. Se dopo un certo numero di tentativi la valvola non si sblocca automaticamente l'impianto passa in modalità di spegnimento ed un operatore può accedere in sicurezza per il necessario intervento.**

Un sistema di livellamento costituito da un rastrello rotante, collegato ad un motore elettrico, stabilisce il quantitativo di cippato da caricare. Quando il motore avverte un assorbimento di corrente superiore ad un livello preimpostato, dovuto alla resistenza che il legno oppone al movimento di rotazione del rastrelli, interrompe automaticamente il caricamento del materiale di alimentazione..

Controllo del **gassificatore** : Durante l'avviamento il calore necessario ad innescare il processo è fornito tramite una resistenza elettrica che riscalda un flusso di aria in pressione erogata da un compressore; successivamente, quando la temperatura del nocciolo interno del gassificatore è sufficientemente elevata, il sistema può produrre il calore necessario ad autoalimentarsi innescando la gassificazione automaticamente. Di conseguenza **il PLC esclude la resistenza elettrica ed il processo non necessita più di un adescamento, ma si auto sostiene** tramite l'immissione della miscela di gassificazione mediante la ventola di gassificazione.

Gli agenti gassificanti necessari alla gassificazione sono aria e fumi di ricircolo: i fumi, una volta che l'impianto è a regime, garantiscono l'autoalimentazione per la gassificazione mentre l'ingresso di aria nel gassificatore è regolato da una valvola di gassificazione comandata dal software: il PLC regola la suddetta valvola per mantenere un valore di setpoint preimpostato dall'operatore che regola in questo modo il fabbisogno di ossigeno all'interno del gassificatore.

Controllo della **combustione** : per una combustione ottimale il sistema regola automaticamente il tenore di ossigeno nella camera di combustione. Il software comanda la valvola dell'aria per aumentare il flusso in ingresso fino alla completa apertura; se l'ossigeno non dovesse risultare sufficiente, il sistema procede con la progressiva chiusura della valvola del gas.

Il tenore di ossigeno viene misurato mediante sonda lambda e viene regolato per raggiungere il valore di setpoint pari al 7%, preimpostato dall'operatore.

#### **Accensione e Spegnimento impianto :**

Nel software di visualizzazione è inserito un comando per l'accensione automatica dell'impianto, denominato "Plant production ON", tramite il quale l'operatore può avviare il sistema senza dover impostare nessun parametro, ma limitandosi solamente ad osservare le varie fasi di accensione, anche da postazione remota. Durante la procedura di avviamento il software segue i valori di setpoint preimpostati e registrati in un'apposita finestra di archiviazione dati.

Una volta raggiunto il valore di setpoint il software accende automaticamente il bruciatore a metano per il preriscaldamento della camera di combustione. Quando nella camera di combustione si raggiunge la temperatura di 350 °C il software passa allo step di programma denominato "plant production with two burners".

Per avviare il processo di gassificazione, nel momento in cui non ci siano temperature sufficientemente elevate all'interno del nocciolo, viene introdotta aria calda all'interno del gassificatore, dal basso, tramite un quarto iniettore radiale dedicato.

Il flusso d'aria in pressione è ottenuto tramite un compressore e viene riscaldato attraversando una resistenza elettrica incandescente; quando si raggiunge una temperatura sufficiente ad autoalimentare la gassificazione, il software spegne il sistema di accensione del gassificatore.

In queste condizioni si inizia a produrre gas di legno, che entrando nell'apposito bruciatore si meschia all'aria e grazie alla presenza della fiamma pilota prodotta dal piccolo bruciatore a metano, innesca la combustione con la formazione di una fiamma

inizialmente debole, ma che velocemente prende sempre più consistenza, fino a raggiungere un'intensità tale da sviluppare una notevole quantità di energia termica e di conseguenza riscaldando la camera di combustione in breve tempo.

In questo modo la temperatura in camera di combustione si alza costantemente; in corrispondenza della soglia dei 600 °C il software spegne il bruciatore a metano e porta l'impianto allo step successivo, denominato "plant production with wood gas stand alone":

Il setpoint per la depressione della camera di combustione continua ad essere aumentato gradualmente fino ad ottenere i massimi valori per la potenza del motore (35kW elettrici) e per la temperatura interna dei cilindri di progetto. Man mano che aumenta la temperatura nella camera di combustione, aumenta la temperatura nei fasci tubieri del motore Stirling. Quando uno dei sensori posizionati nel fascio tubiero raggiunge la temperatura di 620 °C il software comanda l'accensione del motore stesso, facendo funzionare il generatore di corrente da motorino di avviamento grazie ad un regolatore di tensione detto "soft starter". Appena l'albero motore inizia a girare, il flusso dell'elio all'interno dei condotti del motore si innesca e la corrente elettrica che in principio veniva fornita per far funzionare il generatore da motore si inverte, in questo modo il sistema si trova in pochi istanti a produrre energia elettrica.

Cedendo calore al motore, i fasci tubieri e la camera di combustione si raffreddano e man mano la produzione di energia elettrica diminuisce; quando la potenza elettrica erogata è pari a zero il motore viene distaccato dalla rete e quindi dall'utilizzatore, man mano che la qualità del gas prodotto dal gassificatore aumenta, accresce anche il calore nella camera di combustione e di conseguenza il motore si trova nelle condizioni di poter essere nuovamente collegato alla rete elettrica per la produzione di corrente.

Quando il gassificatore è freddo normalmente la procedura di accensione dura dai 15 ai 20 minuti, trascorsi i quali il motore comincia a produrre una potenza stabile di qualche kW, che man mano aumenta fino ad arrivare alla potenza di progetto in circa 4 ore; quando invece il gassificatore è caldo e persiste al suo interno una zona ancora ricca di tizzoni ardenti (normalmente fino a 5 giorni dallo spegnimento) la procedura di avviamento dura pochi minuti e si possono raggiungere le condizioni di funzionamento a regime in meno di 1 ora.

Lo spegnimento dell'impianto viene comandato da PLC: l'operatore seleziona il comando OFF.

Il software comanda la chiusura della valvola del gas ed apre la valvola di spurgo del gassificatore così da deviare il syngas diretto alla camera di combustione verso la tubazione in acciaio inox, dunque in atmosfera.

Mancando l'alimentazione alla camera di combustione il calore residuo diminuisce perché assorbito dal motore Stirling (collegato alla rete esterna) e dal suo circuito di raffreddamento.

Nel motore la temperatura dei fasci tubieri diminuisce con conseguente diminuzione della potenza erogata (il numero di giri è dettato dal generatore asincrono e deve rimanere costante); al raggiungimento di potenza nulla il software provvede a scollegare il motore dalla rete elettrica esterna consentendogli di funzionare staccato dal generatore (a vuoto) e di continuare a dissipare il calore. Al diminuire dell'energia termica residua diminuisce il numero di giri di funzionamento del motore : raggiunta questa ultima fase il sistema comanda lo spegnimento del motore tramite l'azionamento delle valvole di controllo di flusso dell'elio all'interno dei condotti abbassando la pressione del fluido.

### **7.5.1. Architettura di controllo**

**L'architettura di un sistema di controllo definisce come sono distribuite ed organizzate le diverse responsabilità decisionali fra i vari componenti del sistema controllo.**

Quando il sistema di controllo è concentrato in una singola unità, esso ingloba evidentemente tutte le responsabilità decisionali e l'architettura è detta *centralizzata*.

Esiste un unico centro nevralgico di controllo

cui fanno capo tutte le decisioni e di conseguenza tutte le informazioni necessarie ad assumere tali decisioni. In ogni istante il controllore, ed esso solo, ha una visione globale dello stato del sistema e decide in piena autonomia. Localizzati sulle singole macchine, semplici controllori non-intelligenti si limitano a eseguire i comandi ricevuti dal calcolatore centrale. Questo riceve le informazioni di monitoraggio del sistema da opportuni sensori e dai controllori di macchina e le usa per formulare la decisione globale.

Allo scopo di semplificare i problemi dell'architettura centralizzata, in molti sistemi si è implementata una forma *gerarchica* di controllo basata sull'idea di ripartire l'insieme delle responsabilità decisionali in livelli di importanza e di associare ciascun livello ad un determinato piano nella gerarchia del sistema.

Ciascun livello ha un proprio scopo ed una propria funzione. Tutte le attività dei livelli subordinati (slave) sono dettati dall'immediato livello supervisore (master). Al vertice della piramide gerarchica c'è un unico computer ad alto livello, responsabile dell'individuazione degli obiettivi globali e delle strategie a lungo termine, che obbliga tutti gli altri livelli a prendere le decisioni di loro pertinenza in coerenza con quanto da esso stabilito.

L'implementazione dei vari livelli di controllo comporta l'uso di potenze hardware differenti che vanno da mainframe al più alto livello, ai minicomputer dei livelli intermedi fino ai microcomputer dei livelli più bassi.

La parola *eterarchia* indica la distribuzione delle responsabilità decisionali fra una pluralità di controllori allo stesso livello nel senso che, a differenza del caso gerarchico, non si può stabilire una priorità nell'insieme delle decisioni: ogni controllore ha pieni poteri nell'ambito della sua capacità decisionale.

Il sistema è articolato in un insieme di entità quasi indipendenti con interazioni ben definite. Ciò permette un alto livello di autonomia locale e di tolleranza ai guasti e rende semplice ad una entità la rilevazione di guasti presso un'altra entità.

Tra le entità non esistono relazioni di tipo master-slave e ciò assicura piena autonomia locale. Per rendere il sistema modulare, estensibile e auto-configurabile, la configurazione fisica del sistema deve essere trasparente alle entità, nel senso che ciascuna non ha bisogno di sapere dove si trovino le altre.

Nel nostro impianto in particolare abbiamo **3 CPU** : una controlla il motore (valvole dell'elio, termocoppie di controllo e sicurezza, parallelo con la rete elettrica, monitoraggio qualità elettrica, sensori, ecc.); l'altra controlla l'impianto nel suo complesso (gassificatore, alimentazione legno, camera di combustione, ricircolo acqua e aria compressa, ecc); infine un'altra integrata nel touch screen per visualizzare il software per l'interfaccia con l'utente, l'accesso remoto (si può controllare anche a distanza l'impianto senza intervenire fisicamente nel caso di lievi guasti), la modifica dei parametri, definire limiti di sicurezza, ecc.

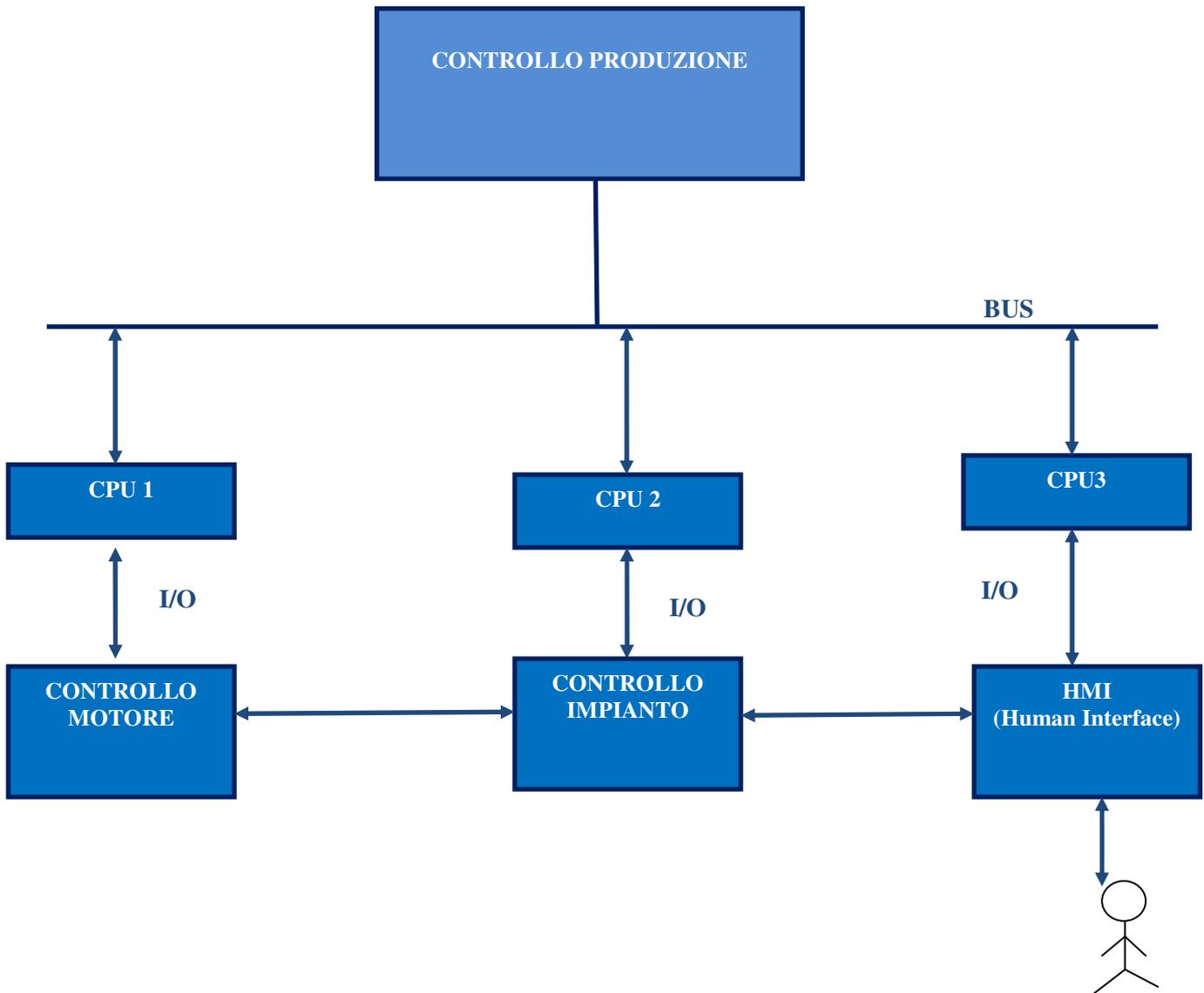
Ogni CPU è collegata tramite fibra ottica ad ogni singolo attuatore e ricevitore di segnale e inoltre le 3 CPU sono collegate anche fra di loro da fibra ottica e dialogano : quindi se si verifica il superamento di un valore di allarme nella sezione motore, la sezione impianto deve andare in allerta anch'essa e spegnere o ridurre la produzione nella camera di combustione per esempio.

La combustione viene per esempio controllata tramite il monitoraggio di :

- Depressione nella camera
- Ossigeno residuo in uscita dalla camera, al fine di non avere niente residuo incombusto molto dannoso
- Temperatura dopo lo Stirling, così se la temperatura è troppo elevata si supera un certo valore di soglia ed entra in funzione un allarme che fa diminuire l'alimentazione del calore per esempio
- Temperatura dei fasci tubieri dello Stirling
- Temperatura dei cilindri dello Stirling

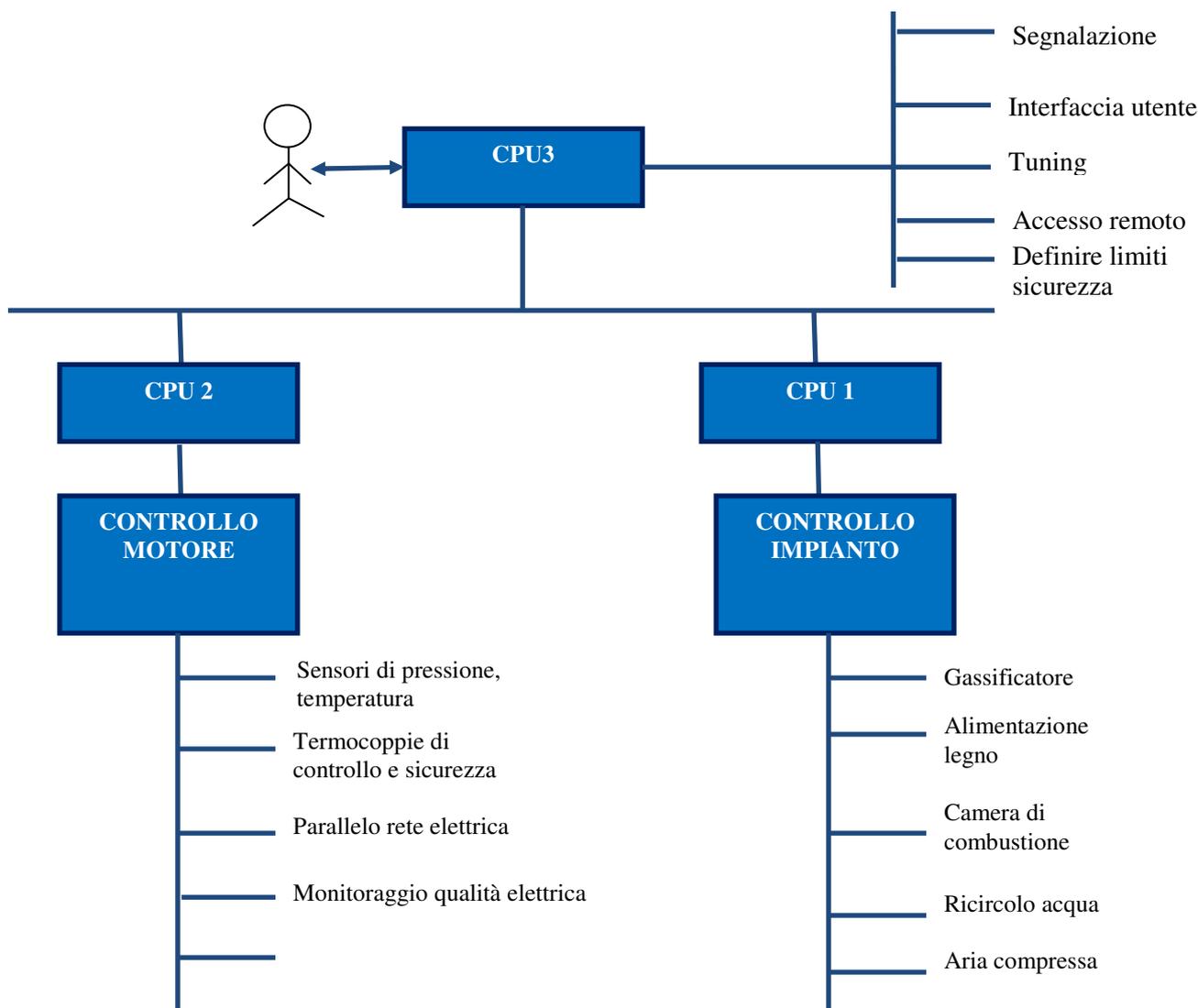
In conseguenza di tali valori registrati dai sensori collegati alla propria CPU e visualizzati sullo schermo, tramite l'interfaccia uomo/macchina, il software agisce su tutto il resto del sistema controllato e regola l'impianto nelle sezione che serve al fine di ridurre o eliminare il problema (valvole del gas, soffiante di aria miscelata, aspirazione fumi, ecc.).

Da quanto sopra esposto relativamente ai controlli necessari all'impianto e all'organizzazione del suo sistema complessivo di controllo, possiamo tracciare una rappresentazione schematica dell'architettura di controllo necessaria in tale impianto, qui mostrata.



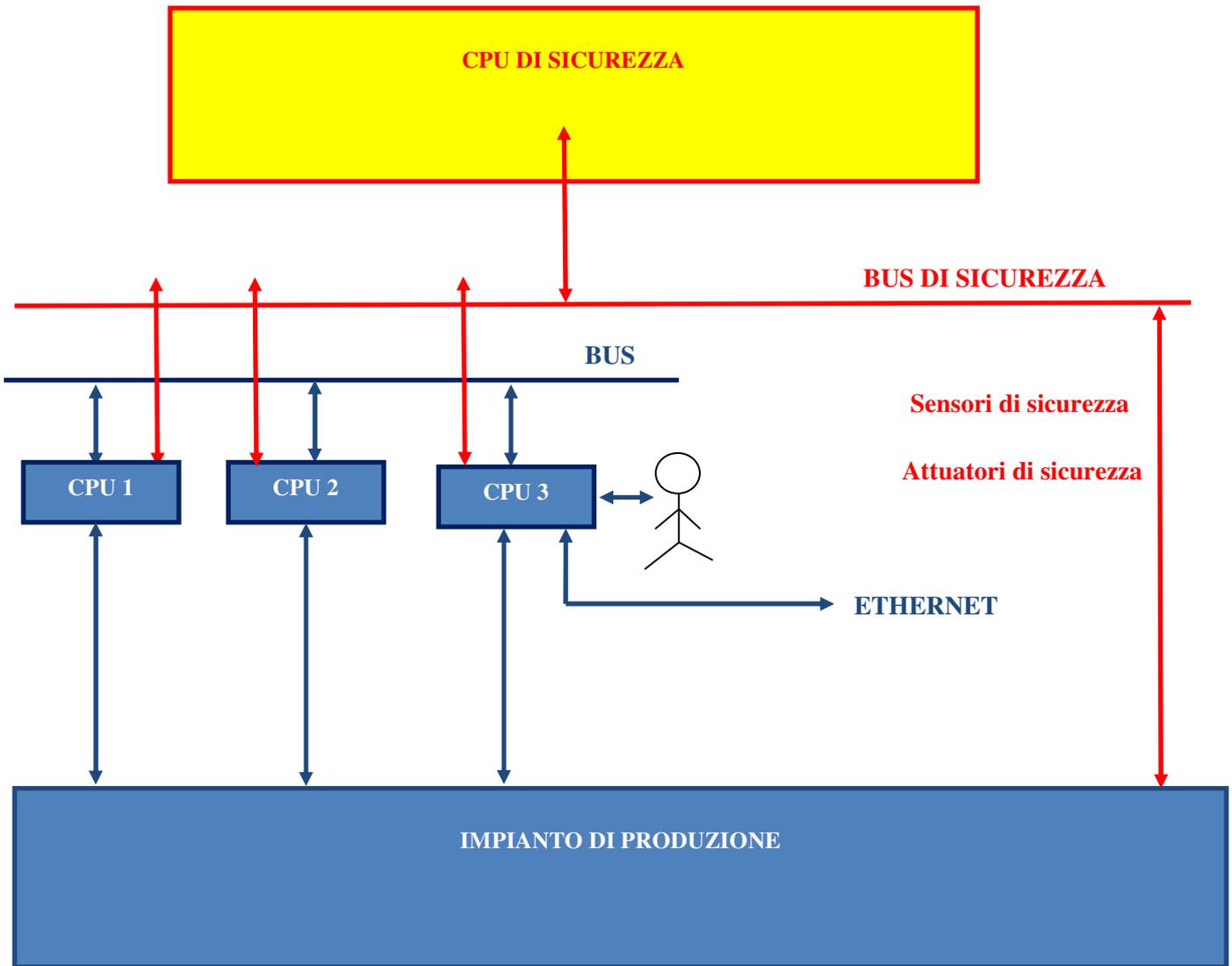
Vi sono 3 CPU (controllo motore, controllo impianto, gestione interfaccia uomo/macchina) ognuna che espleta una determinata funzione, al cui interno vi saranno poi certi controlli di diversi parametri.

Tale rappresentazione schematica possiamo dettagliarla maggiormente, esplicitando tutti i controlli da effettuare all'interno delle diverse CPU e avremo dunque lo schema implementativo della pagina seguente.



Poi a sua volta i vari controlli all'interno delle singole CPU saranno realizzati imponendo il soddisfacimento di una serie di vincoli sulle variabili fisiche dell'impianto; la camera di combustione per esempio è tenuta controllata attraverso una serie di parametri che devono essere rispettati (parametri per la depressione, ossigeno residuo, temperatura, temperatura fasci tubieri e cilindri Stirling, ecc.), e così via gli altri controlli esplicitati all'interno delle singole CPU.

L'intero sistema è monitorato da una CPU di sicurezza.



Da tale schema si può notare come anche la CPU 3 di interfaccia uomo/macchina sia collegata al bus di sicurezza; questo al fine di poter disabilitare l'utente a compiere certe attività in caso scatti qualche intervento di sicurezza, in modo per esempio di non permettere la manipolazione di certe grandezze che comporterebbero un grave danno all'impianto.

Inoltre abbiamo anche dei *sensori e attuatori di sicurezza* collegati al bus di sicurezza (anche nelle 3 CPU abbiamo dei **sensori** che rilevano le grandezze fisiche da controllare e degli **attuatori** che permettono l'intervento sui dispositivi da tenere sotto controllo) che sono *dimensionati con un ordine di grandezza superiore* degli altri presenti nell'impianto; essendo appunto tali dispositivi di sicurezza devono scattare prima del raggiungimento di un certo **valore soglia di allarme**, antecedente al valore soglia dei sensori distribuiti nell'impianto.

## 7.6. CONTROLLO DELL'IMPIANTO A BIOGAS MENGOLI

Il monitoraggio del sistema è realizzato anche qui tramite un PLC con diverse CPU, ognuna controllante diverse sezioni dell'impianto. In questo impianto tutto il sistema di controllo è stato affidato a un'azienda di Brunico, la ERS ([www.ers.it](http://www.ers.it)).

In tale impianto vengono effettuati diversi tipi di controllo :

- Controllo sulla tramoggia di carico col sistema di coclee, in base al peso (controllo di peso nel silos)
- Controllo sulla temperatura che deve rimanere circa sui 42 gradi centigradi per questo tipo di batteri (batteri mesofili), in particolare avviene un controllo della temperatura tramite una sonda posta all'interno delle vasche fermentative; un controllo del tempo di rimescolamento dei mixer, un controllo sul tempo di azione degli agitatori che devono avere dei tempi specifici temporizzati in base a certi lassi di tempo; un controllo se tempo degli agitatori va bene; un controllo della pompa per pompare da una vasca di fermentazione all'altra, ecc.
- Controllo del biogas tramite un report di analisi ogni 2 ore; avviene in particolare un controllo sulle sue componenti : metano deve essere circa nel range 53-69 %, zolfo deve risultare < 100%, ossigeno che deve essere <1%, idrogeno che deve essere presente in una piccolissima quantità
- Controllo sul motore, in particolare un controllo sui kW prodotti, un controllo sulla temperatura del motore che non si surriscaldi troppo, un controllo sull'elio del motore, un controllo sulla pressione interna al motore che deve essere in un certo range di valori, un controllo sulla carburazione che avvenga in maniera corretta (carburazione = controllare che il motore bruci la quantità di ossigeno e idrogeno che rimane incombusta, in modo che non rimanga nulla di incombusto che provocherebbe emissioni dannose in atmosfera; fare in modo che sia sempre tutto carburato è indispensabile per avere una costanza nella produzione del biogas, e ciò significa che il motore a scoppio giri sempre nel modo migliore possibile e siano garantiti i giri al minuto richiesti per il buon funzionamento)

Da tali controlli si riesce così a monitorare l'impianto e a intervenire per risolvere gli eventuali problemi; ad esempio se la temperatura nei fermentatori non è costante attorno ai 42 gradi occorre disabilitare un fermentatore mentre l'altro continua a funzionare regolarmente.

L'insorgere di un problema può essere sapendo che in condizioni di corretto funzionamento si ottengono 160-180 m<sup>3</sup> di biogas ogni ora; se ciò non avviene significa che qualcosa non va e si procede nel testare le diverse sezioni dell'impianto per identificare il problema (sicurezza passiva).

### 7.6.1. Architettura di controllo

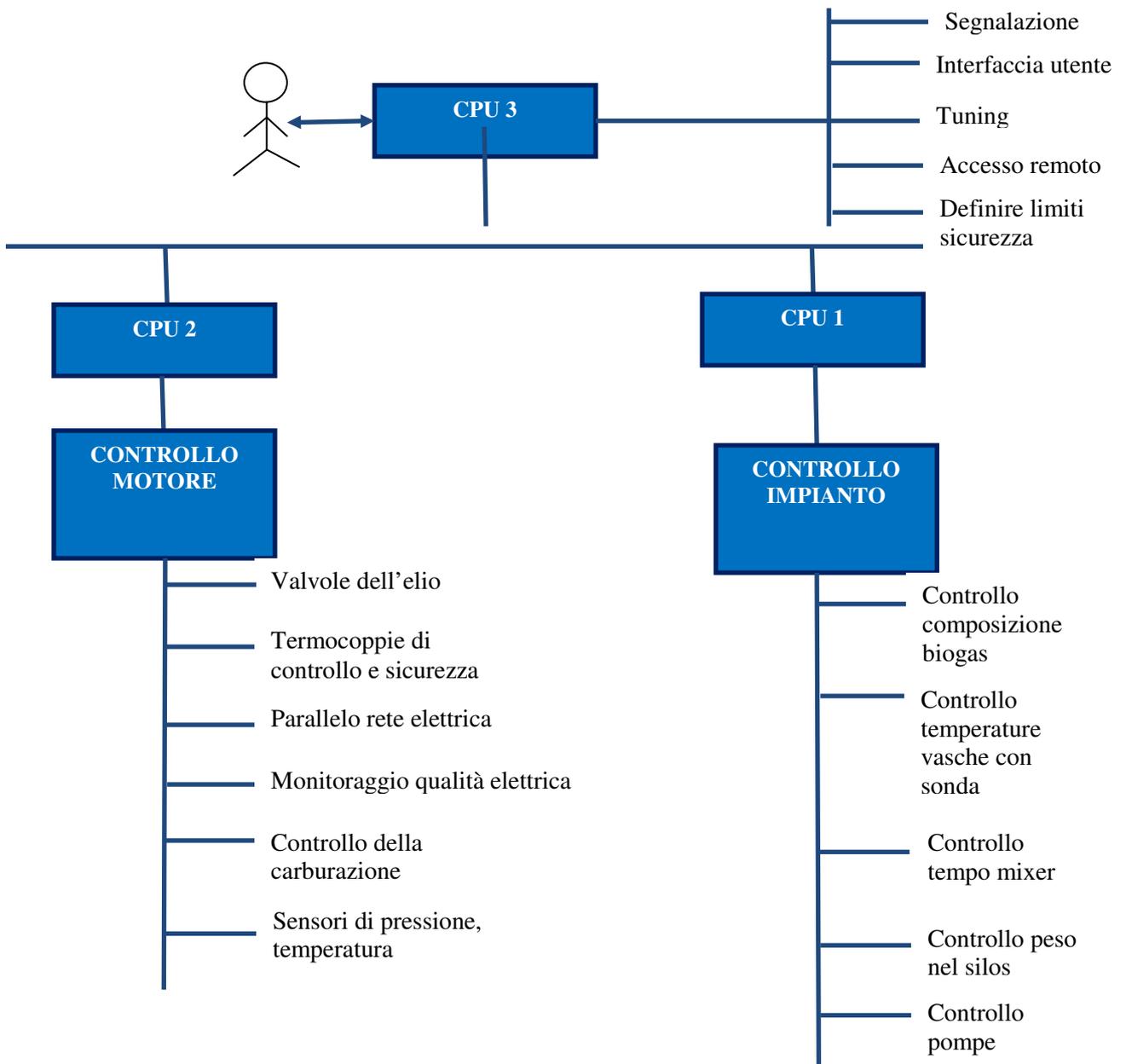
Come per l'impianto di Castel d'Aiano anche questo impianto presenta un controllo distribuito realizzato mediante 3 CPU : una che realizza il controllo sul motore; una che esegue un controllo sull'impianto per quanto riguarda il carico, la temperatura nei fermentatori, le diverse pompe (pompe tra un fermentatore e l'altro, pompaggio liquami in vasca, pompaggio biogas nella sala macchine, pompaggi digestato nei campi), l'alimentazione del silos (nel silos vengono caricate le quantità necessarie di insilati e sottoprodotti acquistati giornalmente, poi di tali quantità la tramoggia presenta un sistema computerizzato nel quale viene regolata una quantità di 1/20 all'ora), controllo sulle tempistiche di miscelazione, infine esegue controlli sul biogas prodotto che abbia certi componenti con certe percentuali e la quantità di biogas erogata che rimanga costante; infine l'ultima CPU realizza funzionalità di interfaccia uomo/macchina.

Vediamo nella pagina seguente lo schema implementativo del sistema di controllo dell'impianto, peraltro simile all'impianto precedente.

Lo schema di sicurezza risulta il medesimo del caso precedente (non verrà pertanto rappresentato) in cui è presente un'unità di sicurezza con il suo bus di sicurezza; al bus di sicurezza sono quindi collegate tutte le CPU del sistema di controllo utilizzato, oltre ai dispositivi dedicati alla sicurezza.

Anche la CPU di interfaccia uomo/macchina è collegata al bus di sicurezza al fine di disabilitare l'utente a eseguire certe attività.

Vi sono *sensori e attuatori di sicurezza* collegati al bus di sicurezza (anche nelle CPU vi sono **sensori** che rilevano le grandezze fisiche da controllare e degli **attuatori** che permettono l'intervento sui dispositivi da tenere sotto controllo) che sono *dimensionati con un ordine di grandezza superiore* degli altri presenti nell'impianto; devono scattare prima del raggiungimento di un certo **valore soglia di allarme**.



# Capitolo 8 - Impatto sociale

Nel presente capitolo verrà analizzato l'aspetto sociale e l'impatto locale sulla popolazione, inerente alla costruzione degli impianti a biomassa.

Si analizzerà il contesto locale e l'accettabilità della nuova soluzione impiantistica.

## 8.1 SALVAGUARDARE GLI ASPETTI SOCIALI E AMBIENTALI

Sostenibilità : La potenza di un impianto deve essere proporzionale alle risorse naturali locali.

Impatto sociale : L'impianto dovrebbe utilizzare il combustibile fornito dagli abitanti del loco; il trasporto del combustibile non deve gravare in modo pesante sulla rete viaria; l'impianto non deve produrre emissioni "preoccupanti".

Dobbiamo considerare tre punti per un corretto approccio tecnico alla progettazione e realizzazione :

- Orientare la scelta energetica in base alle risorse e alle necessità locali
- Ricercare la migliore tecnologia per utilizzare il combustibile-risorsa disponibile
- Rendere sostenibile la filiera di approvvigionamento e salvaguardare gli aspetti sociali

### **Le biomasse : non è tutto ora quello che luccica**

I sistemi di trattamento, recupero, utilizzo e smaltimento delle ceneri che gli impianti a biomassa inevitabilmente produrranno, una % minima in peso rispetto alla quantità di materiale trattato, se viene bruciato legname essiccato, un valore comunque diverso dalle ceneri prodotte dal carbone (7%) .

La movimentazione delle ceneri è associata a consumi energetici ed emissioni che devono essere sommati ai consumi energetici e alle emissioni indotti dalla raccolta e dal trasporto all'impianto, al fine di valutare l'effettiva sostenibilità di questa scelta.

Altro problema critico è il livello di tossicità delle ceneri ed in particolare delle ceneri volanti raccolti dagli impianti di depurazione dei fumi.

Il contenuto di cadmio, cromo, rame, piombo e mercurio delle ceneri volanti derivanti dalla combustione di legname (querchia, faggio, abete) è superiore a quella riscontrabile nelle ceneri volanti prodotte dalla combustione di carbone.

Risulta carente la **valutazione dell'impatto ambientale e sanitario** che i nuovi impianti a biomassa inevitabilmente indurranno.

A tal riguardo ci sembra insufficiente il riferimento all'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili, che è un obbligatorio requisito di legge, ma che da solo non garantisce la salute dei cittadini esposti agli inquinanti comunque prodotti ed immessi nell'ambiente.

Un più corretto termine di riferimento dovrebbe essere il confronto della qualità dell'aria e dell'ambiente prima e dopo l'entrata in funzione dell'impianto a biomassa. Questo confronto non può che essere questo: **con l'entrata in funzione dell'impianto a biomassa la qualità dell'aria deve migliorare o per lo meno restare uguale a quella pre-esistente.**

Il miglioramento è possibile se nel sito interessato le biomasse sostituiscono un combustibile più inquinante utilizzato in un impianto termoelettrico già esistente e se il recupero del calore permette di spegnere numerose calderine inquinanti, il cui impatto ambientale era superiore a quello di un nuovo impianto di teleriscaldamento, conteggiando anche le emissioni dei trasporti associati.

Questa norma, oltre che essere in sintonia con le scelte della Unione Europea in tema di politiche di tutela dell'ambiente e della salute, è motivata dal fatto che l'uso di biomasse per la produzione di elettricità non è obbligatoria e la diffusione di questa scelta a volte è sostanzialmente motivata dai sostanziosi incentivi pubblici dei Certificati Verdi.

**La verità è che le biomasse legnose sono un combustibile povero, economicamente ed energeticamente conveniente solo nelle circostanze che si verificano in paesi come la Svezia dove l'industria del legno produce grandi quantità di scarti e la morfologia del territorio permette il facile taglio e trasporto di questi materiali.**

Oltre che alle emissioni di inquinanti convenzionali quali ossido di carbonio, polveri totali sospese e ossidi di azoto occorre porre attenzione ad inquinanti meno convenzionali che si producono con la combustione di biomasse quali polveri sottili, formaldeide, benzene, idrocarburi policiclici aromatici, diossine.

Recenti risultati segnalano rischi per la salute dovuti all'uso domestico di biomasse per il riscaldamento domestico anche in contesti sociali economicamente avanzati, con effetti sull'asma e sulla funzionalità respiratoria. Dal punto di vista dell'impatto ambientale la scelta di privilegiare l'uso di biomasse per la produzione di elettricità pone un altro problema: **l'economia di scala.**

Una centrale a biomassa per poter produrre elettricità a costi confrontabili con quelli in uso in Europa deve avere una potenza pari a qualche megawatt elettrici; questo significa fare arrivare all'impianto un certo quantitativo di tonnellate all'anno di legna secca, con camion che girano in strada e trovare una destinazione alle ceneri che ne derivano. E' infatti importante localizzare gli impianti nei pressi delle zone di approvvigionamento per giustificare il trasporto entro pochi chilometri e le sue conseguenti emissioni.

Non costruire centrali troppo piccole che non sarebbero giustificabili dal punto di vista economico per i costi ad esso associati; non creare nemmeno centrali troppo grandi che genererebbe un'enorme esbosco di legna.

Il territorio della provincia può garantire questa produzione di biomassa, in modo veramente sostenibile?

Il calore prodotto da un impianto può trovare un utilizzo entro un raggio compatibile con i costi della distribuzione del calore e con una richiesta costante per tutto l'anno?

L'economia di scala comporta conseguenze non trascurabili anche sull'impatto ambientale in quanto la **quantità di inquinanti emessi in atmosfera e ricadenti sul territorio** sottovento **sarà in proporzione alla quantità di biomassa utilizzata.**

Anche se le Linee Guida prevedono impianti da 3 a 50 megawatt termici (corrispondenti in prima approssimazione ad una potenza elettrica da 1 e 16 megawatt elettrici) ci chiediamo come sia possibile che impianti così piccoli possano stare sul mercato.

Si pensa che sia inevitabile, una volta che questi piccoli impianti saranno stati realizzati, che i gestori richiedano sia il loro ampliamento che la possibilità di utilizzo di Combustibili da Rifiuto, combustibile certamente più facilmente disponibile, di potere calorifico più alto, il cui uso è permesso dalle normative nazionali ed europee e con prezzi probabilmente più bassi delle biomasse.

E se la combustione delle biomasse comporta certamente qualche problema, la combustione di CDR, anche della sola frazione biodegradabile, comporta certamente qualche problema ambientale e sanitario in più.

## 8.2. IL CONSENSO LOCALE

Pur ritenendola molto importante, la ricerca del consenso locale per un impianto da fonti rinnovabili non è quasi mai ricercata dall'imprenditore, soprattutto se l'intervento sul territorio è di modeste dimensioni. Spesso tuttavia l'imprenditore è obbligato a intervenire quando si è già in presenza di un conflitto.

I processi localizzativi degli impianti produttori di energia da fonti rinnovabili non differiscono dai più comuni processi che suscitano conflitti ambientali, come gli impianti per lo smaltimento rifiuti, le principali infrastrutture di trasporto, gli impianti energetici tradizionali.

Si assiste comunque in tutti i casi citati all'attivarsi di un'opposizione locale con connotati "*not in my back yard*" – non nel mio cortile).

Si è riscontrata una ricerca del consenso locale solamente nel caso dell'installazione di parchi eolici e solo per pochi impianti a biomasse. In tutti gli altri casi sono state organizzate solamente delle piccole campagne di informazione a progetto ultimato o incontri con comitati di cittadini che si erano formati a causa della costruzione dell'impianto.

Da questo atteggiamento, più improntato alla correzione in corso d'opera che alla prevenzione del conflitto, scaturiscono delle insoddisfazioni profonde dei proponenti, motivate da un significativo **aumento dei tempi di realizzazione dell'opera e dei costi**.

Risulta chiaro come il mostrarsi, da parte dell'imprenditore, disponibile alla presenza sul territorio, al confronto con gli amministratori locali ed al legame con le caratteristiche produttive e di contesto sociale sin dalla nascita del progetto sia la migliore ricetta per garantire il consenso locale.

A livello locale ci possono essere barriere e conflitti, spesso di breve durata o legati a piccole strumentalizzazioni politiche (soprattutto in vista delle elezioni politiche). Viene inoltre evidenziata un'attitudine, assai diffusa, di coinvolgere nei processi decisionali prevalentemente gli enti locali e in misura decisamente minore i cittadini (eventualmente organizzati in comitati e associazioni), anche per un'oggettiva difficoltà a trattare la rappresentatività di questi ultimi. Sono proprio le opinioni di questi a influenzare anche in maniera significativa gli orientamenti dei politici che rappresentano gli enti locali.

## Le cause ricorrenti dei conflitti

- Sostanziale mancanza di informazioni sulla cultura delle fonti rinnovabili; spesso gli stessi ambientalisti locali si mostrano diffidenti verso i nuovi impianti per via di una disinformazione sui benefici locali a lungo termine
- Gli oppositori sono spesso proprietari privati legati a minoranze politiche all'interno degli enti locali; è di fatto possibile leggere dietro al conflitto una querela locale interna all'amministrazione o tra pubblico e privato legata ad altre questioni ma che trova nella localizzazione di un nuovo impianto sul territorio un pretesto di rivalsa
- La mancanza di linee guida e indicazioni rispetto ai siti eleggibili da parte delle Regioni; questa lacuna sposta il conflitto dalle sedi istituzionali a quelle locali allungando i tempi e accrescendo i costi degli interventi, nonché generando un malcontento difficile da arginare in fase di realizzazione
- L'impatto legato alla presenza di un cantiere sul territorio che spesso non rispetta la sensibilità locale, concentra i disagi anziché distribuirli
- Si avanza per opposizioni poco costruttive e non si aprono tavoli di negoziati veri e propri.

Solamente in pochissimi casi (parco eolico) sono state valutate delle alternative e prese misure significative per la mitigazione del conflitto (delocalizzazione di alcune pale), in tutti gli altri casi sono bastati incontri con la popolazione locale o con la pubblica amministrazione per arrivare alla cancellazione del conflitto.

E' estremamente difficile stimare **i costi della attività di ricerca del consenso, di prevenzione e risoluzione dei conflitti** perché spesso non vengono conteggiate; in base a una serie di casi studiati però tale costo si è evidenziato che può raggiungere un **massimo del 2% del costo dell'investimento**.

Tuttavia laddove sia presente una forte opposizione locale, alcuni impianti hanno avuto in media un costo maggiorato del 30%.

Le proposte di prevenzione e gestione delle conflittualità locali, messe in campo nell'intento di aumentare il grado di accettabilità locale degli impianti produttori di energia da fonti rinnovabili, si articolano attorno ad alcuni concetti cardine :

- ▶ La necessità di *coinvolgere la popolazione locale* sia nella fase progettuale dell'impianto, sia nella fase di gestione e monitoraggio dello stesso. Ciò viene perseguito già da alcuni proponenti che si attivano sul territorio prescelto quale sito per il nuovo impianto con largo anticipo curando il rapporto con la comunità, diffondendo video e pubblicazioni nelle scuole locali, organizzando incontri con gli studenti e con la cittadinanza, pubblicando interventi sulla stampa locale; questo favorisce l'instaurarsi di un rapporto continuativo e diretto con le comunità in quanto l'importante è tanto ottenere il consenso quanto mantenerlo;
- ▶ L'esigenza di *implementare le campagne di diffusione dell'informazione* rispetto a rischi e benefici reali dell'utilizzo di fonti rinnovabili, ma anche di mantenere tale diffusione di informazioni durante l'esercizio, comunicando passo dopo passo i risultati e le innovazioni;
- ▶ La scelta di collocare *gli impianti lontani dalle zone residenziali* e dai paesaggi di pregio;
- ▶ La necessità per i proponenti di *dimostrare la qualità dei propri impianti* ottenendo una certificazione ISO 14000 e proponendo una progettazione *che minimizzi l'impatto ambientale* in tutte le sue componenti;
- ▶ L'opportunità di favorire *la ricaduta dei benefici indotti dagli impianti sul territorio* che li ospita, tutelando i privati oltre che gli enti pubblici (formazione e utilizzo di manodopera locale, sostegno alla progettualità e alle attività locali in settori affini e non, ecc.);
- ▶ Predisporre un *Piano Regionale di Localizzazione degli impianti*; servono leggi applicabili e limiti e le condizioni vanno fissate a priori da un organo competente;
- ▶ Va valorizzata l'opportunità di realizzare *molti piccoli impianti* (anche riadattando centrali preesistenti e oggi in disuso), magari più costosi ma che diano benefici a livello locale anziché pochi di grosse dimensioni, che consentono magari un risparmio ma non una equa spartizione di costi e benefici; in questo modo si potrebbe ragionare a livello locale anche sull'integrazione di produzione di energia, utilizzando le emissioni per il teleriscaldamento.

Vediamo ora quali sono esattamente i conflitti locali che possono sorgere per le diverse tipologie di impianti a fonte rinnovabile :

### Eolico

- Il rumore, per quanto le tecnologie si siano evolute per garantire impianti silenziosi, nell'immaginario collettivo resta il timore di un fastidioso ronzio del rotore
- L'impatto visivo (effetto barriera tipo)
- L'impatto elettromagnetico
- L'impatto sulla fauna (per esempio in Norvegia la Legge valorizza un gabbiano 800 euro)

### Biogas

- Conflitti dovuti alla presenza di cattivi odori nell'aria più che alla presenza della centrale
- Presunto inquinamento

### Biomasse

- Presunto inquinamento, legato alle emissioni in atmosfera
- Si associano spesso le biomasse ai rifiuti e si genera sfiducia : e se lo stesso impianto che oggi viene usato per bruciare biomasse, dopo aver ottenuto il consenso collettivo si mettesse a bruciare rifiuti? queste sono le principali preoccupazioni

### **Produzione di biogas**

Con questa tecnologia l'uso di personale per la gestione dei motori è limitato : una persona a tempo pieno ed un'altra un giorno alla settimana sono sufficienti per la normale gestione delle varie sezioni dell'impianto.

Inoltre, lavorando con motori e pompe, vi sono onerosi processi di smaltimento (olio esausto, filtri, olio, ricambi, ecc) che fanno salire i costi di gestione complessivi.

Le barriere che di solito si riscontrano in questi impianti sono soprattutto legate alle attività che possono far diminuire la quantità di biogas recuperato. Oltre a ciò una scorretta gestione delle fermate (programmate ed accidentali) può essere causa di forti perdite della produzione.

### **Utilizzo energetico delle biomasse**

Il primo dato che colpisce, analizzando le esperienze di centrali a biomasse, è l'alta occupazione, per la gestione dell'impianto, generata da questo tipo di tecnologia. Le centrali a biomassa richiedono personale per la gestione del combustibile, il caricamento della caldaia e la gestione dei generatori; servono operai, impiegati e dirigenti.

Da tenere in considerazione però che questo genere di impianti preveda costi di smaltimento per oli, filtri e ceneri che vengono inviate in discarica controllata, costi legati al trasporto delle biomasse e costi legati alle fermate (programmate e accidentali).

Per quanto riguarda le barriere che i produttori stanno incontrando, c'è la situazione degli allacciamenti alla rete con obbligo di connessione da parte di terzi : mentre la rete ad alta tensione, gestita dal GRTN, lamenta ritardi nella implementazione strutturale di infrastrutture necessarie all'impiego di energie rinnovabili; la rete di alta e media tensione nelle disponibilità del principale distributore italiano (ENEL Distribuzione) non dispone di un programma strategico di sviluppo finalizzato all'impiego di risorse rinnovabili e alla futura generazione distribuita, bensì si adegua agli sviluppi di rete dettati dall'utenza passiva.

Infine va citata una voce che costituisce una fetta importante del fatturato che se ne va : la convenzioni con i Comuni. Benché tali costi prendano origine da una necessità di risarcire il Comune stesso per impianti realizzati su suolo pubblico, questa pratica ha preso così piede che viene richiesta una convenzione a titolo oneroso a prescindere dall'occupazione di terreno, pena enormi difficoltà e intoppi burocratici. Quantunque non si sia mai negata ai Comuni ospiti di un'iniziativa di valorizzazione delle fonti rinnovabili la possibilità di avere dei benefici economici, sorprende che i comuni usino tale pratica in maniera eccessiva, talvolta per accrescere le casse comunali e talaltra per lanciare un messaggio di non gradimento dell'iniziativa.

## Capitolo 9 - Conclusioni

Nel presente capitolo si vuole tirare le fila dell'elaborato e riassumere i risultati ottenuti a livello ambientale ed economico degli impianti presi in considerazione, attraverso anche considerazioni legate alla tipologia di impianto e di materia prima trattata.

La parte generale del presente studio, corrispondente ai primi due capitoli, è stata dedicata alla presentazione della biomassa come fonte alternativa di energia, potenzialmente in grado di sostituire, almeno in parte, i tradizionali combustibili fossili. La biomassa infatti costituisce un immenso giacimento energetico che, se sfruttato in maniera sostenibile, potrebbe rappresentare un passo decisivo verso l'ampliamento del mix di fonti energetiche disponibili nazionali e, soprattutto, consentire una sempre minore dipendenza dai principali Paesi produttori di idrocarburi. Nell'ambito delle tecnologie di sfruttamento delle biomasse a fini energetici molte delle tecnologie di conversione sono già ampiamente consolidate, sia per quanto riguarda la disponibilità, sia per quanto riguarda i rendimenti.

Successivamente, nel capitolo 3 e 4, si sono analizzati i casi studio descritti nel presente elaborato e la descrizione delle tecnologie software impiegate per ottenere i risultati.

Nella parte di analisi del presente studio invece vi sono due tipologie di valutazioni :

1. La valutazione relativa all'impatto ambientale della produzione di energia da cippato e da biogas, tramite metodologia LCA con software Simapro e metodologia atta ad affermare i vantaggi della produzione cogenerativa di energia termica ed elettrica, come nei nostri casi studio, tramite software Mini Bref sviluppato da Arpa Bologna.
2. La valutazione relativa all'analisi di fattibilità economica della costruzione degli impianti studiati, tramite metodologia VAN.

### **Aspetti ambientali (LCA-Simapro 6)**

La valutazione dell'impatto ambientale è stata realizzata mediante un'Analisi del Ciclo di Vita, procedura ampiamente ricorrente e consolidata per la stima e il confronto degli impatti relativi ad uno o più prodotti (impianti). In questo studio è stato valutato l'impatto ambientale conseguente alla produzione di un prefissato quantitativo di energia rinnovabile, espressa dal Kwh equivalente, a fronte di un approvvigionamento di materia prima di due tipologie : cippato di legno dai boschi e prodotti agricoli (liquami, insilati e sottoprodotti acquistati).

La valutazione di impatto è stata realizzata impiegando il software SimaPro 6 che ha fornito i risultati secondo due distinti metodi: *Eco-indicator 99* e *EDIP/UMIP 96*, di cui si ricordano i risultati ottenuti :

#### Impianto Castel d'Aiano

- Con il metodo degli **Eco-indicator99**.

Con il metodo degli *Eco-indicator 99* con approvvigionamento La Fenice si è giunti alla conclusione che la filiera di produzione energia dal cippato genera un impatto sulla salute umana e sulla qualità dell'ecosistema data principalmente dalla cippatura, fase a elevato consumo di combustibile fossile che emette in atmosfera sostanze dannose per la salute umana e l'ecosistema del pianeta. Tale filiera genera inoltre un impatto sulle risorse dato principalmente dalla fase di trasporto del cippato.

Con approvvigionamento Orlandini la fase a maggiore impatto sulle categorie salute umana e qualità ecosistema è la medesima con uguali valori; la fase a maggiore impatto sulla categoria risorse risulta sempre il trasporto cippato ma con un valore superiore; questo maggiore valore è da imputare alla distanza nettamente maggiore percorsa per trasportare la materia prima di rifornimento all'impianto.

Quindi a parità di energia fornita l'approvvigionamento La Fenice risulta meno impattante per l'ambiente, trovandosi l'impianto a una distanza minore dal rifornimento.

- Con il metodo **Edip/Umip 96**.

Con approvvigionamento La Fenice il punteggio relativo a tutte le categorie di impatto considerate risulta maggiore nella fase di cippatura; nella categoria risorse di tale metodo la fase a maggiore impatto risulta il trasporto cippato all'impianto.

Con approvvigionamento Orlandini nelle categorie di impatto la fase a maggiore impatto risulta sempre la cippatura, mentre il taglio presenta un'incidenza minore in quanto la motosega viene impiegata per un tempo minore (30% del cippato deriva da scarti di precedenti lavorazioni e per 50% viene utilizzata la gru a cavo che esbosca direttamente senza l'ausilio della motosega).

Nella categoria risorse di tale metodo l'impatto maggiore però deriva dalla fase di esbosco, in quanto in tale approvvigionamento i boschi sono situati a distanze maggiori e il consumo del trattore è molto impattante (nell'approvvigionamento La Fenice l'impatto dell'esbosco era inferiore al trasporto cippato essendo la raccolta del legno a breve distanza), inoltre tale metodo dà molto più peso alle risorse naturali.

Quindi a parità di energia fornita l'approvvigionamento La Fenice risulta più vantaggioso per l'ambiente, trovandosi a distanza minore e inoltre presenta un impatto totale della categoria risorse minore (l'esbosco è a distanza minore e inquina meno il trattore per questo e il trasporto cippato è a distanza minore).

#### Impianto Mengoli

- Con il metodo degli **Eco-Indicator 99**.

Con il metodo degli *Eco-indicator 99* si è giunti alla conclusione che la filiera di produzione energia dal biogas genera un impatto sulla salute umana e sulla qualità dell'ecosistema data principalmente dalla produzione di energia, fase a elevato consumo di combustibile fossile per l'utilizzo di pompe e soprattutto dei mixer che emettono in atmosfera sostanze dannose per la salute umana e l'ecosistema del pianeta, impiegando energia da fonte fossile. Tale filiera genera inoltre un impatto sulle risorse dato principalmente dalla fase dei sottoprodotti acquistati, prima della vendita del digestato; tale risultato perché i sottoprodotti acquistati da trasportare compiono una distanza di trasporto molto maggiore del tragitto effettuato per trasportare il digestato agli acquirenti (12 km in media per i sottoprodotti contro i 2 km per il digestato); in questo modo il numero dei km percorsi in totale in un anno risulterà sicuramente maggiore, anche se la quantità trasportata è nettamente inferiore. Tale metodo però considera nella categoria Risorse solo per 1/3 il consumo di risorse (da cui deriverebbe un impatto maggiore della vendita digestato, presentando una quantità trasportata doppia) e per il resto il consumo di combustibili fossili e uso del territorio, che danno quindi un peso maggiore al totale dei km percorsi, visto che più km si fanno e più l'impatto ambientale è dannoso.

- Con il metodo **Edip/Umip 96**

Il punteggio relativo a tutte le categorie di impatto considerate risulta maggiore nella fase di produzione energia; nella categoria risorse di tale metodo la fase a maggiore impatto risulta la vendita digestato.

In tale metodo risulta più impattante la vendita digestato rispetto ai sottoprodotti acquistati, al contrario dell'altro metodo; tale risultato è da imputare al fatto che gli elementi che concorrono a costituire la categoria d'impatto Resources in questo metodo danno maggiore importanza ad elementi legati alle risorse naturali (nel metodo eco-indicator appunto le risorse naturali contribuiscono solamente per 1/3 al totale della categoria Risorse); la vendita digestato, presentando una quantità annuale doppia, impatta dunque in misura maggiore dei sottoprodotti trasportati.

#### **Aspetti ambientali (Mni Bref)**

Il software Mini Bref evidenzia il vantaggio della cogenerazione energetica rispetto alla produzione separata di energia.

In entrambi gli impianti analizzati, utilizzando il programma, è risultato evidente il minore impatto ambientale della cogenerazione, visibile dalle tabelle e dai grafici riportati nei capitoli precedenti.

#### **Aspetti economici**

Per l'aspetto economico si è proceduto a un'analisi della fattibilità economica dell'investimento di costruzione impianto, tramite la metodologia del VAN.

Anche in questo caso si è utilizzato il software Mini Bref che comprende una parte relativa alle tematiche economiche, in cui è sufficiente conoscere i costi e i ricavi dell'attività per valutarne la fattibilità in base all'ottenimento di un VAN positivo, indicatore della possibilità di effettuare l'investimento.

Si poteva anche procedere con il metodo degli esponenti di scala, nel quale è sufficiente la conoscenza dei costi e ricavi di un impianto simile e conoscendo la taglia del nuovo impianto posso ricavarne i costi e ricavi corrispondenti.

In entrambi gli impianti è risultato un VAN positivo che indica la fattibilità a intraprendere gli investimenti, e in particolare è risultato con una fattibilità economica maggiore l'impianto a biogas rispetto a quello a cippato; il primo infatti presenta una taglia maggiore e quindi una grossa produzione di energia elettrica dalla cui vendita derivano ricavi non indifferenti, inoltre l'impianto a biogas è incentrato prevalentemente sulla produzione di energia elettrica, mentre l'impianto a cippato è più incentrato sulla produzione di energia termica.

In generale, si può affermare che la valorizzazione della bioenergia richieda l'incremento dei relativi campi di applicazione mediante lo sviluppo di nuove filiere e sviluppo e miglioramento di quelle esistenti.

Gli aspetti che richiedono particolare attenzione e su cui è necessario investire risiedono sia nella scarsa conoscenza che i progettisti e gli installatori hanno circa le applicazioni disponibili, sia nell'incentivazione dell'opinione pubblica alla sostituzione delle apparecchiature obsolete.

Sarebbe poi necessaria una pressante informazione di tutti gli attori coinvolti circa i benefici che le nuove tecnologie disponibili sono in grado di offrire, al fine anche di evitare conflitti a livello locale dei cittadini del comune in cui sorgono i nuovi impianti.

Riguardo l'impiego delle biomasse in impianti per il riscaldamento domestico non si riscontrano particolari elementi di criticità circa le tecnologie attualmente disponibili sul mercato: i moderni generatori sono in grado di offrire rendimenti e livelli di emissioni confrontabili, e in molti casi migliori, a quelli funzionanti con combustibili fossili; si parla infatti sempre più di teleriscaldamento grazie alla micro cogenerazione.

Nel futuro si prevede un sempre maggiore ricorso alle fonti energetiche alternative all'energia fossile, grazie agli sviluppi tecnologici e ai rendimenti sempre maggiori legati allo sfruttamento delle energie rinnovabili.

Si auspica, inoltre, l'ampliamento dei possibili campi di applicazione, la sostituzione quasi totale dei combustibili fossili con energie più pulite, il sempre minore impiego di energia primaria e l'utilizzo di minori materie prime, tramite la valorizzazione delle risorse riciclate.

Nelle filiere analizzate risulta dunque chiaro come valorizzare risorse naturali, quali la legna o le colture agricole, comporti un notevole risparmio di combustibili fossili. Inoltre l'utilizzo di materiali di scarto, quali i liquami zootecnici e gli scarti di lavorazioni del legno, valorizza le risorse secondarie, comportando un minore utilizzo di materie prime e del combustibile fossile necessario per costruirle o trasportarle; nei casi studio difatti le

materie utilizzate risiedono già in loco alla produzione energetica e sono rappresentate da materiali altrimenti scartati.

Nelle produzione delle materie prime è inclusa anche una parte di carburante impiegato per trasportarle e di carburante utilizzato nei processi produttivi, i quali richiedono energia primaria derivante da fonte fossile; con le energie rinnovabili esaminate invece le materie non sono più primarie, ma risultano dalla pulizia e manutenzione dei boschi o da liquami naturalmente prodotti o da colture già coltivate per alimentare i capi bovini. Perciò per tali materie prime è stato utilizzato un processo produttivo che consuma minimamente carburante fossile e tantomeno devono essere trasportate per lunghe distanze (si pensi a filiere legno-energia locali o a impianti agricoli in cui costruire direttamente l'impianto in loco).

Da tenere poi presente che parte dell'energia prodotta dagli impianti viene auto consumata e la parte residua viene ceduta e venduta in rete; tale energia risulta quindi energia pulita per la cui produzione non si è contribuito ai gas serra e all'emissione di inquinanti in atmosfera.

In un Paese sviluppato l'energia risulta necessaria per il benessere sociale e per tutte le attività produttive essenziali per la crescita economica, culturale, sanitaria ecc.; se, in uno scenario ipotetico, tutta la produzione di energia derivasse da energia pulita il contributo all'inquinamento ambientale sarebbe pressoché nullo. In questo modo si affronterebbe il problema ambientale che sta interessando l'intero Pianeta.

Le energie rinnovabili presentano un elevato potenziale anti-inquinamento e inoltre costituiscono una fonte di reddito per molti nuovi imprenditori; è perciò evidente l'importanza della loro diffusione a livello globale.

# Bibliografia

- G.L. Baldo : *Analisi del Ciclo di Vita*, Edizioni Ambiente 2008
- CISA, COSEA : *Cogenerazione a biomassa Gassificazione Motore a combustione sterna Stirling*, 2008
- Pepe (Tesi in sistemi di controllo digitale) : *Analisi di sistemi per l'industria di processo*, anno accademico 2007/2008
- Ing. E. Borgognoni (Tesi in Valorizzazione delle risorse primarie e secondarie) : *sistema di cogenerazione a biomassa con processo di gassificazione e uso del motore a combustione esterna di Stirling : l'ecoimpianto di castel d'aiano*, anno accademico 2009/2010
- Documento ppt : *PLC e standard 1131-3*
- Bonivento e A. Paoli, CASY-DEIS University of Bologna : *Safety oriented design*, Diagnostica e controllo anno accademico 2008/2009
- LP Automazione, articolo di F. Andreolli e I. Mazzarelli : *La sicurezza funzionale nell'innovativa norma IEC 61508*
- E. Usai, Dipartimento DIEE Università di Cagliari : *sistemi di supervisione e controllo*
- S. Bimbo, E. Colaiacovo : *Sistemi SCADA*, 2006
- J Smith & K. G L Simpson : *Functional Safety*, seconda edizione 2004
- C.R.P.A. S.p.A. Reggio Emilia : *La sfida delle agroenergie per le imprese agricole*, 2009
- Svizzera Energia : *Smaltimento della cenere corretto dal punto di vista ambientale*
- Ing. F. Paolini (Tesi in Impatto ambientale dei Sistemi Energetici) : *Sviluppo di un codice di calcolo basato su indicatori tecnico-economici per l'impatto ambientale di sistemi energetici*, anno accademico 2008/2009
- Ing. Mazza : *MINIBREF Manuale utente*, 16/2/2010
- Ing. Mazza (Tesi in Impatto ambientale dei Sistemi Energetici) : *Sviluppo di un codice di calcolo per la valutazione dell'impatto ambientale dei sistemi energetici cogenerativi*, anno accademico 2008/2009
- Ing. M. Progressi (Tesi in Valorizzazione delle risorse primarie e secondarie) : *Applicazione di una metodologia LCA all'impiego di biomasse legnose a fini energetici un confronto tra la produzione di energia da cippato e da pellet*, anno accademico 2006/2007
- Fondazione METES Dossier : *Fonti energetiche rinnovabili : la sfida delle agro energie*, 2008

- Antonini, V. Francescato e AIEL : *Numeri e nozioni di Xiloenergetica*
- L. Zuccaro : *Le fonti rinnovabili di energia e l'utilizzo delle biomasse nell'ambito della riforma del sistema elettrico nazionale*
- Documento pdf : *Sminuzzatura (cippatura)*
- Ministero delle Attività produttive, Ministero dell' Ambiente e della tutela del Territorio, APAR, Renael : *La cogenerazione*, nell'ambito della Campagna di informazione, comunicazione ed educazione a sostegno delle fonti rinnovabili, del risparmio e dell'uso efficiente dell'energia in attuazione dell'articolo 15 del Decreto Legislativo 29 dicembre 2003, n.387, e dell'articolo 1, comma 119 lettera a), della legge 23 agosto 2004 n.239
- Compagnia delle opere agroalimentari, articolo di R. Belotti : *Le vacche e il biogas, da un'azienda familiare tradizionale*
- Agricoltura No Food/Emilia Romagna, articolo di G. Di Paolo : *Energia dalla stalla. Ecco l'altra agricoltura*
- Studio Bartucci, scheda tecnica su *La promozione della biomassa da filiera corta*
- AIEL, manuale pratico : *Legna e cippato*, 2009
- Prof. Ing. Negrini, corso di Principi di Ingegneria Elettrica : *Energia dalle biomasse*, anno accademico 2006/2007
- GSE, Direzione operativa G. Tangari : *Normativa e Incentivi : certificati verdi e conto energia*, 23 maggio 2008
- BTS biogas M. Mittermair : *Impianti di biogas agricoli*, Ravenna 2010 Lab & Lab
- M. Mengoli : *Impianti a biogas : l'azienda Mengoli di Castensao*, Ravenna 2010
- P. Belluco, Politecnico di Milano : *Robotica – Introduzione agli attuatori*, 2009
- C.R.P.A. S.p.A. Reggio Emilia LIFE 2006
- Nordest S.r.l., brochures *Attrezzatura professionale*
- Ing. S. Palmieri e COSEA : *Impianto di cogenerazione a biomasse, il sistema gassificazione più motore Stirling – L'impianto di Castel d'Aiano*, 2008
- M. Cossalter – Tolmezzo : *Esperienze di progettazione e costruzione impianti a biomassa in Friuli Venezia Giulia*
- Prof. Ing. M. Bianchi, Università di Bologna : *La tecnologia della cogenerazione : inquadramento e concetti base*, Ravenna 2010 Lab & Lab
- Prof. Ing. A. De Pascale, Università di Bologna DIEM : *Cogenerazione e micro cogenerazione : stato dell'arte e prospettive future – Celle a combustibile*, Ravenna 2010 Lab & Lab

- Piattaforma Nazionale Biofuels Italia, G. Venturi : *Bioenergie e biocarburanti : la Piattaforma Tecnologica Nazionale*, Ravenna 2010 Lab & Lab
- COSEA e CISA, Ing. S. Palmieri : *La filiera legno-energia sostenibile – l'esperienza e gli impianti realizzati dal consorzio COSEA e centro CISA*, Ravenna 2010 Lab & Lab
- Romagna Compost, Ing. A. Piraccini : *La digestione anaerobica di FORSU : l'esempio di Romagna Compost*, Ravenna 2010 Lab & Lab
- Dott. P. Navarotto, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Veterinarie per la Sicurezza Alimentare Università degli Studi di Milano : *Produzione di biogas : concetti generali e parametri per la progettazione di impianti di digestione anaerobica*, Ravenna 2010 Lab
- Dott. L. Rossi C.R.P.A. S.p.A. Reggio Emilia : *Normativa impianti a biogas*, Ravenna 2010 Lab & Lab
- Ing. F. Lussu, ARPA Emilia Romagna e Ing. E. Valentini, Università di Bologna relazione : *Procedure autorizzative ed incentivi per gli impianti a biogas da digestione anaerobica*
- Osservatorio Gestione Conflitti Ambientali, Avanzi e APER : *Fonti energetiche rinnovabili e accettabilità sociale. Cause, dinamiche e strategie per la ricomposizione dei conflitti*, 2003
- Osservatorio Gestione Conflitti Ambientali, Avanzi e APER : *Il decalogo per favorire l'accettabilità degli impianti di produzione di energia da fonti energetiche rinnovabili*, ottobre 2003
- Prof. Ing. F. Negrini, Università degli Studi di Bologna, articolo : *L'accumulo dell'energia elettrica nell'era delle fonti rinnovabili*
- Bollettino al 30/6/2007 GSE : *Incentivazione delle fonti rinnovabili con i Certificati Verdi*
- Ballardin, E. Di Giulio, S. Migliavacca articolo : *L'energia rinnovabile salverà l'Italia?*
- Interviste e contatti con Ing. S. Palmieri, centro CISA e Ing. F. Marini, consorzio COSEA
- Interviste e contatti con M. Mengoli, azienda Mengoli di Castenaso
- Interviste e contatti con F. Giarandoni, azienda agricola La Fenice (Rocca di Roffeno, Bologna)
- Interviste e contatti con C. Franceschi, azienda Orlandini (Pistoia)
- Interviste e contatti con azienda DIFE (Serravalle Pistoiese, Pistoia)
- Interviste e contatti con Ing. E. Valentini, Ing. F. Lussu, Ing. P. Cagnoli ARPA Bologna
- Interviste e contatti con Ing. F. Pantaleoni, Università di Bologna
- Collaborazione con Ing. Lisa Di Candilo, Università di Bologna
- IST, R. Benzi, articolo : *Biomasse : non è tutto oro quello che luccica*, ottobre 2007

# Ringraziamenti

E così sono giunta alla fine di un percorso.

Finisce una fase della mia vita e ne comincia un'altra. E' l'inizio di una fase di maggiore consapevolezza e maturità; grazie anche alle difficoltà riscontrate nei diversi esami e progetti universitari sviluppati all'interno dell'ateneo e non da ultimi la tesi svolta in collaborazione con importanti Enti, quali Arpa, CISA e Co.Se.A.

Il mio percorso universitario non è stato sempre facile e lineare, ho alternato momenti di grande produttività a momenti di sconforto; proprio nei momenti di sconforto è stato fondamentale l'aiuto e la presenza di tante persone a me vicino.

Ma nonostante tutto sono arrivata, con mio grande orgoglio personale, alla fine del percorso intrapreso e con entusiasmo del titolo che sono prossima a raggiungere, titolo a cui ho sempre aspirato.

Ringrazio prima di tutto i miei genitori, non c'è di certo bisogno di spiegarne i motivi! E non posso certo dimenticarmi del mio ragazzo, Matteo, sempre a me vicino in questo lungo percorso, non privo di insidie.

Hanno sempre avuto la pazienza e la forza di incoraggiarmi nei momenti bui dello studio, senza mai troppo giudicare le mie scelte; ma soprattutto devo a loro la costanza e la determinazione con le quali sono giunta fino in fondo al percorso, in particolar modo nei momenti in cui avrei voluto abbandonare tutto... Un grazie davvero speciale e di cuore.

Ringrazio anche i miei amici e compagni di facoltà : La Francy, anche mia cara amica, sempre a me vicina e pronta ad ascoltare le mie lamentele su professori, esami, ecc e nell'avermi prestato i suoi preziosissimi appunti. La Marghe e Luca, con cui abbiamo condiviso esami, interrogazioni, scambio di appunti, progetti di gruppo e senza dimenticarci le nostre uscite. La Carm, Enri e Fabri, compagni e amici di corso degli ultimi anni con i quali abbiamo scherzato e riso per sdrammatizzare ogni situazione che si veniva a creare. Gli amici : Erika cara amica di lunga data con cui ho anche condiviso vacanze e avventure estive in Riviera, Riki, Francy, Veronica, Giada, Manu, Vero, Gibbo, Ceci, Simo, Jonny, Fin, Fede, Sere, Andre, Susy, Matte, Taty, Gian, Alex, Andrea, Gio, Angie, Ba, Chiara, Davide che in questi anni mi hanno permesso di svagarmi nelle uscite. Infine, ma non per questo ultima di importanza, la mia cara cugina Simona, sempre a me vicina in ogni momento.

Un ringraziamento va anche a Lisa Di Candilo, con cui abbiamo condiviso momenti di allegria e momenti seri di studio, le telefonate fatte per reperire l'enorme e dettagliata mole di dati necessari per lo sviluppo dell'elaborato; grazie a lei che mi ha fatto ragionare in molte situazioni e alla sua calma.

Un ringraziamento speciale anche per la mia relatrice, la Professoressa Alessandra Bonoli, che mi ha permesso nella presente tesi di sviluppare argomenti di notevole interesse e piacere per me.

Concludo citando una delle mie citazioni preferite : *“Le persone più felici non sono necessariamente coloro che hanno il meglio di tutto, ma coloro che traggono il meglio da ciò che hanno. La vita non è una questione di come sopravvivere alla tempesta, ma di come sapere danzare nella pioggia”*.

Grazie a tutti.