

Biomasse



■ Definizioni e Classificazione delle biomasse

- “**Biomassa**” è un termine che riunisce una gran quantità di materiali di natura estremamente eterogenea; con alcune eccezioni, si può dire che è biomassa tutto ciò che ha matrice organica.
- Viene definita biomassa (Dlgs 387/03 e Direttiva 2009/28/CE) la frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui biologici (sia vegetali sia animali) che provengono dall'agricoltura, dalla silvicoltura e dalle industrie connesse (compresa pesca e acquacoltura), nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali ed urbani.

■ Definizioni e Classificazione delle biomasse

- Possiamo distinguere dunque le seguenti tipologie di biomasse:
 - **Residui forestali e del legno:** derivati da attività di segherie, industrie di trasformazione, manutenzione boschiva
 - **Sottoprodotti agricoli:** paglie, stocchi, sarmenti di vite ramaglie di potatura
 - **Residui agroindustriali,** sanse, vinacce, noccioli, lolla di riso, provenienti di industrie alimentari
 - **Colture energetiche:** finalizzate alla produzione di biomasse sia erbacce (girasole, colza, barbabietole, canna da zucchero, etc.)
 - **Residui industrie zootecniche:** letame, liquami
 - **Rifiuti urbani**

■ Definizioni e Classificazione delle biomasse

- Nell'ambito del corso "Chimica per ambiente ed energia" ci occuperemo di biomasse provenienti da settori:
 - Agricolo (sotto forma di colture dedicate e residui colturali);
 - Forestale (sotto forma di arbicolture e residui di operazioni selvicolturali ed agroforestali);
 - Zootecnico (sotto forma di reflui inviati alla produzione di biogas).

Risorsa indigena

- Prezzo non controllato da mercati internazionali
- Nei Paesi in Via di Sviluppo (PVS) principale combustibile

Sorgenti

- Foreste
- Residui forestali dalla gestione del bosco
- Piantagioni a rapida rotazione (short rotation forestry)

La disponibilità dipende dal sistema di gestione, il quantitativo (yield) dalla specie

Il raccolto (yield) è limitato

- Dalle possibilità (fisiche ed economiche) di accesso alla risorsa
- Dalle perdite in fase di produzione, raccolta e stoccaggio

Raccolto = area (ha) x [produ.annuale (t/ha/y) – altri usi (t/ha/y)]

Residui agricoli

- Residui della produzione (es stocchi di mais, etc)
- Residui del processo agro-industriale (es. lolla di riso)
 - I residui sono spesso già utilizzati per fornire energia ai processi agro-industriali (es. bagassa per la produzione di zucchero)
- Stimare il quantitativo disponibile non è semplice
 - Non tutti i residui sono disponibili (in molti casi non sono “wastes”: fertilizzanti, materiali inerti, fibre, combustibili, etc.)
 - La densità è molto variabile
Da 60 kg/m³ (paglia @ 6.85 wt%) a 642 kg/m³ (noci di cocco @ 10.13 wt%)
- Riassumendo, i principali fattori che influenzano la disponibilità di residui sono quindi Variazioni climatiche, area disponibile, quantitativo medio di residui disponibile per anno, frazione recuperabile (tecnicamente ed economicamente), vincoli ambientali, usi competitivi, perdite.

■ Biomasse ed energia solare

- Al di là delle definizioni, è fondamentale tener presente che **le biomasse di qualunque provenienza rappresentano una forma di accumulo dell'energia solare!**
- **La Fotosintesi** è il processo con cui i vegetali sono in grado di convertire l'energia solare in energia chimica.
 - La fotosintesi clorofilliana ([foto] = "luce" [synthesis] = "costruzione, assemblaggio") è un processo chimico grazie al quale le piante verdi e altri organismi producono sostanze organiche – principalmente carboidrati – a partire dall'anidride carbonica atmosferica e dall'acqua metabolica, in presenza di luce solare.



- Il prodotto più importante della fotosintesi è il glucosio $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ che, a sua volta, da origine ad amido $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ e cellulosa $n[\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6]$

■ Piante di tipo C3 e C4



- Nelle **piante C3** la CO_2 è catturata direttamente nei cloroplasti.
 - intermedio a tre atomi di carbonio $\text{PC}_3\text{H}_4\text{O}_7$ (fosfoglicerato)
 - La reazione di fotosintesi deve “competere” con la sua inversa a causa dell’elevata concentrazione di ossigeno nell’aria.
 - la reazione inversa è prevalente durante la notte (le piante C3 “respirano”)

- Nelle **piante C4** la CO_2 è catturata fuori dai cloroplasti.
 - intermedio a quattro atomi di carbonio $\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_5$ (ossalacetato)
 - L’ossalacetato viene trasportato nei cloroplasti e si trasforma in fosfoglicerato
 - La concentrazione di CO_2 è molto elevata: la quantità di carboidrati prodotti rispetto alle piante C3 è quasi doppia!

■ Energia chimica nelle piante

- Tecnicamente l'energia chimica accumulata nelle piante sotto forma di carboidrati è liberata nei processi di combustione.

$$1 \text{ tep} = 10^7 \text{ Kcal} = 4,18 \times 10^{10} \text{ J} = 41,87 \text{ GJ}$$

tep = tonnellata equivalente petrolio

tep/(hm²a) = tonnellata equivalente petrolio / ettaro × anno

Biomassa e/o biocombustibile derivato	Tipo	H _i MJ/kg	Produttività t/(hm ² a)	Resa Lorda tep/(hm ² a)
Erbacce annuali	C4	17	25	10,2
Erbacce poliennali	C4	17	30	12,2
Legnose	C3	19	12	5,4
Alcoligene		17	15	6,1
<i>Barbabietola</i>	C3	18	11	4,7
<i>Granella di cereali</i>	C3			
Oleaginose				
<i>Semi di Colza</i>	C3	28	3	2
<i>Semi di Girasole</i>	C3	28	3	2
Biocarburanti				
<i>Bioetanolo</i>		27	3	1,9
<i>Biodiesel</i>		37	1	0,9

■ Rapporto Energetico

- **Le rese energetiche lorde** delle biomasse e dei loro derivati non fanno riferimento alle quantità totali di energia ottenute sotto forma di prodotto secco e/o di biocarburanti, ma **non danno indicazioni sulle quantità di energia spesa durante il ciclo di vita delle biomasse stesse.**
- **Rapporto energetico r_e** = il rapporto tra l'energia contenuta in un prodotto e l'energia spesa nella sua produzione

Biomassa e/o biocombustibile derivato	Tipo	r_e
Erbacce annuali	C4	7 - 8
Erbacce poliennali	C4	10 - 11,5
Legnose	C3	7 - 9,5
Biocarburanti <i>Bioetanolo</i> <i>Biodiesel</i>		1,0 - 1,7 1,7 - 2,3

■ Sostenibilità ambientale

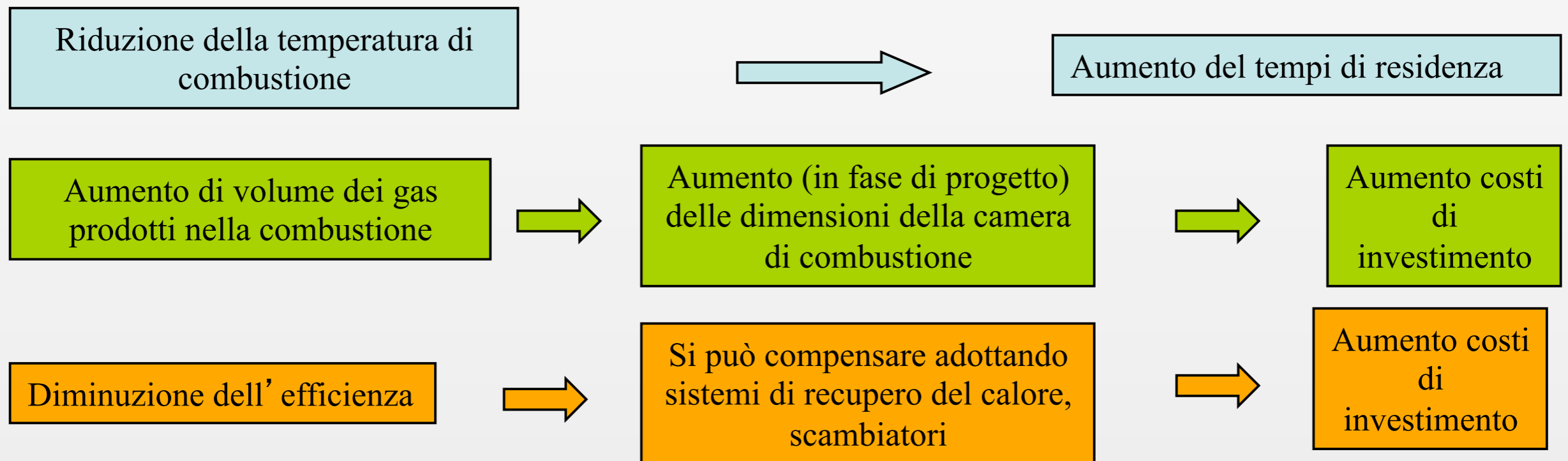
- La preparazione delle biomasse e la preparazione dei combustibili da essi derivati richiedono ingenti quantità di energia non indifferenti.
- La normativa europea impone una valutazione quantitativa di “sostenibilità ambientale” ovvero la differenza tra le emissioni evitate (E_F) e le emissioni prodotte durante il ciclo di vita delle biomasse (E_B)
 - Direttiva 2009/28/CE (DIR) = biocarburanti e biocombustibili liquidi
 - Rapporto C.E. 2010/65-66 (SEC) = biocarburanti e biocombustibili solidi
- Riduzione percentuale gas serra: $\Delta e = (E_F - E_B) / E_F$

■ Conversione energetica diretta

- Le biomasse sono utilizzate in processi di combustione sotto forma di tronchetti, cippato, pellets.
- Riscaldamento ambientale
- Produzione di energia elettrica

■ Tasso di Umidità

- Il tasso di umidità ha un ruolo importante, poiché l'acqua richiede un elevato calore di vaporizzazione.
- In molti casi un pretrattamento di essiccazione prima dell'inserimento in camera di combustione.



■ Conversione energetica diretta

Processi Termochimici

- Sono processi basati sull'azione del calore necessario a trasformare la materia in energia, si utilizzano per i prodotti e per i residui cellulosici e legnosi in cui il rapporto C/N abbia valori superiori a 30 ed il contenuto di umidità non superi il 30%.
- Le biomasse più adatte a subire tale tipo di processi sono:
 - Legna e tutti i suoi derivati (segatura, trucioli, ecc..)
 - Sottoprodotti colturali di tipo ligno-cellulosico (paglia di cereali, residui di potatura della vite e dei frumenti)
 - Scarti di lavorazione (lolla, pula, gusci, noccioli..)

■ Conversione energetica diretta

- **COFIRING:** Consiste nell'utilizzare la biomassa come combustibile complementare al carbone o al gas naturale. Viene inoltre utilizzato nella produzione di energia elettrica.
- Viene sostituita una porzione (circa il 15 – 20%) del carbone con biomassa, possono essere miscelate assieme e fatte bruciare nella stessa caldaia o utilizzando alimentazioni separate, permette la riduzione della CO₂ ed SO₂ (anidride solforica).
- Nel caso di combustione con gas naturale non è particolarmente interessante sotto il profilo delle prestazioni termodinamiche e del contenimento dei costi, richiede:
 - gassificazione delle biomasse
 - interventi di adattamento dei parametri di funzionamento e modifiche strutturali del TG, a causa del basso potere calorifico del syngas e della diminuzione di temperatura di fiamma
 - complesso equipaggiamento di pulizia del syngas, per soddisfare le elevate specifiche di purezza richieste dalla turbina.

■ Conversione energetica diretta

- **Pirolisi:** È un processo di decomposizione termochimica ottenuto mediante l'applicazione di calore a temperature comprese fra i 400 – 800°C, in completa o parziale assenza di ossigeno.
- I prodotti ottenibili sono solidi, liquidi e gassosi con proporzioni differenti in funzione del tipo di processo utilizzato (pirolisi lenta, veloce o convenzionale)
- Utilizzando ad esempio la legna è possibile ottenere un combustibile dal potere calorifico di 4 – 7 MJ/m³.

■ Conversione energetica diretta

- La pirolisi del Legno viene fatta in tre stadi:
- disidratazione: legna + calore → legna secca + vapor acqueo
- pirolisi: legna secca + calore → carbone vegetale + pece + gas (CO, CO₂, H₂O, CH₄)
- combustione: carbone + ossigeno + H₂O → CO + H₂ + CO₂ + calore

■ Conversione energetica diretta

- La prima fase permette di aumentare il rendimento del processo, il tasso di umidità non deve superare il 20%. L'essiccazione può essere condotta per via naturale, lasciando la biomassa per un periodo opportuno a temperatura ambiente, oppure mediante l'impiego di forni, con apporto di calore ad una temperatura intorno ai 100°C, per evitare possibili accensioni del vegetale.
- La seconda reazione si compone di varie fasi dalle quali si ottengono prodotti diversi, a seconda delle temperature raggiunte.
 - Carbonizzazione per valori sino a 400-500°C, che origina carbone di legna corrisponde al 30-35% del materiale secco di partenza (il carbone di legna ha un contenuto di carbonio compreso nel campo 75÷85%, ed un potere calorifico di circa 6000/7000 kcal/kg),
 - Produzione di gas a temperatura di 600°C e sino a 900-1000°C composto da H₂, CO, CO₂ (quest'ultime in percentuali sempre più basse), con potere calorifico di circa 3000 kcal/m³

■ Conversione energetica diretta

Gassificazione

- È un processo endotermico a due stadi per mezzo dei quali il combustibile (biomassa o carbone) è convertito in gas a basso o medio potere calorifico 4000 – 14000 KJ/m³.
- Prima stadio: la pirolisi, i componenti più volatili sono vaporizzati a temperatura inferiori a i 600°C da un insieme di reazioni complesse. Questi componenti sono gas di idrocarburi, idrogeno, CO, CO₂, nerofumo e vapor acqueo.
- Secondo stadio: le sostanze non vaporizzabili come le ceneri vengono vaporizzate in una reazione con ossigeno, vapore ed idrogeno. La parte incombusta delle sostanze carbonizzate viene bruciata per fornire il calore necessario per le reazioni endotermiche di gassificazione.

■ Riscaldamento Ambientale

- Si tratta della combustione diretta in apposite caldaie, di legname in tutte le sue forme.
- Ad esempio paglie di cereali, residui di piante da fibra tessile (cotone, canapa...), residui di piante oleaginose (ricino, catramo...), residui legnosi di piante da frutto e di piante forestali, residui dell'industria agro alimentare.
- Tra i materiali più noti citiamo i **pellets** scarti dell'industria del legno (segatura, polveri) ottenuti dalla sfibratura e polverizzazione dei residui legnosi, in seguito pressati in apposite macchine per formare cilindretti di diverse lunghezze e spessori, hanno un potere calorifico 4.000 -4.500 kcal/kg



■ Processi biologici o biochimici

- Permettono di ricavare energia per reazione chimica dovuta al contributo di enzimi, funghi, micro-organismi naturali, che si formano nella biomassa sotto particolari condizioni, e vengono impiegati per quelle biomasse il cui rapporto C/N si inferiore a 30 e l'umidità alla raccolta superiore al 30%.
- Si utilizzano le colture acquatiche, alcuni sottoprodotti colturali (foglie e steli di barbabietola, ortive, patata,...), i reflui zootecnici e alcuni scarti di lavorazione (borlande, acqua di vegetazione,...), nonché la biomassa eterogenea immagazzinata nelle discariche controllate.

■ Digestione Anaerobica

- La digestione anaerobica è un insieme di processi biologici mediante i quali le sostanze organiche possono essere "digerite" in un ambiente privo di ossigeno, arrivando alla produzione di:
 - Gas combustibile "biogas" costituito per il 50 – 70% da metano e per la restante parte da CO₂ il potere calorifico medio è dell'ordine di 23.000 KJ/m³.
 - Fanghi humificati e mineralizzati, il materiale organico, originariamente putrescibile, è stato trasformato in un prodotto metastabile ed innocuo, soggetto a decomposizione molto lenta contenente elementi nutritivi principali quali: azoto, fosforo e potassio. **Utilizzati come fertilizzanti**

■ Digestione anaerobica

- Gli impianti a digestione anaerobica possono essere alimentati con deiezioni animali, reflui civili, rifiuti alimentari, e la frazione organica dei residui solidi urbani.
- In relazione all'intervallo di temperatura in cui agiscono, i batteri sono suddivisi in:
 - Psicofili, quando agiscono a temperature inferiori a 25°C
 - Mesofili, quando agiscono a temperature comprese tra i 25°C e 45°C
 - Termofili, quando agiscono a temperature superiori a 45°C.
- nota: questi batteri sono sempre presenti nella massa organica originale, si sviluppano in ambiente chiuso, e trasformano i composti organici in CH₄ e CO₂, utilizzando gli enzimi come catalizzatori biologici.

■ Digestione aerobica

- Consiste nella metabolizzazione delle sostanze ad opera di batteri, che convertono sostanze complesse in altre più semplici, liberando CO_2 e H_2O e producendo un elevato riscaldamento del substrato.
- Il calore prodotto può essere trasferito all'esterno per mezzo di uno scambiatore a fluido. Tale processo viene utilizzato per il trattamento delle acque di scarico.

■ Produzione di energia elettrica

- L'applicazione delle biomasse nella produzione elettrica è possibile attraverso due tipi di approcci tecnologici:
 - post-combustione
 - post-combustione e rigenerazione

■ Post combustione di biomasse

- La combustione delle biomasse viene utilizzata per incrementare la temperatura dei gas di scarico della turbina, prima dell'ingresso nel GVR.
- Questo tipo di tecnologia si adatta al ripotenziamento degli impianti già esistenti, con turbine a gas di basso rendimento (intorno al 30%) o con temperature dei gas in uscita basse (inferiori per esempio a 750 K).
- L'aumento di temperatura che i gas subiscono mediante postcombustione delle biomasse, è utile per innalzare la temperatura di ingresso nel GVR e migliorare l'efficienza di scambio termico nel GVR e soprattutto l'efficienza complessiva del ciclo di recupero.

■ Post-combustione e rigenerazione di biomasse

- Questa soluzione è più interessante sotto il profilo dell'efficienza termodinamica, del risparmio di gas naturale, ed è particolarmente adeguata alla progettazione di nuovi impianti.
- La postcombustione, consentendo un aumento della temperatura dei gas all'uscita dalla turbina, migliora lo scambio termico nel GVR e le prestazioni della turbina a vapore
- La rigenerazione, cioè l'utilizzo di parte del calore prodotto dalle biomasse per aumentare la temperatura dell'aria in ingresso alla camera di combustione, permette di aumentare l'efficienza del turbogas

■ Vantaggi nell'utilizzo delle biomasse

- Abbondante – si trova in quasi ogni parte della terra, dove siano presenti alghe, alberi, letame...
- Fonte di Energia Rinnovabile – grazie alla possibilità del rimboschimento
- Immagazzinabile-Stoccabile
- Convertibile in combustibili solidi, gassosi o liquidi con buoni poteri calorifici
- Sfruttamento di zone inutilizzate dall'agricoltura e conseguente creazione di occupazione nelle zone rurali
- Ciclo emissioni di CO₂ - le piante la riassorbono durante la loro crescita (fotosintesi)

■ Vantaggi nell'utilizzo delle biomasse

- Necessarie grandi aree a causa della bassa densità energetica
- superficie minima di 12.000 ha
- produzione superiore a 17 ÷ 25 t per ha
- La produzione può richiedere elevati volumi di fertilizzanti ed irrigazione
- Sistema di gestione (logistica) complesso per assicurare la costante fornitura della risorsa
- Problemi di trasporto, stoccaggio e movimentazione a causa della bassa densità (bulk density) si è studiato che c'è convenienza economica se la distanza tra approvvigionamento e impianto non supera le 100 miglia (160 km)
- Produzione soggetta a variazioni legate alle condizioni ambientali/meteo
- Produzione non costante durante l'anno
- Contenuto di umidità variabile