Le Biomasse

Biomasse

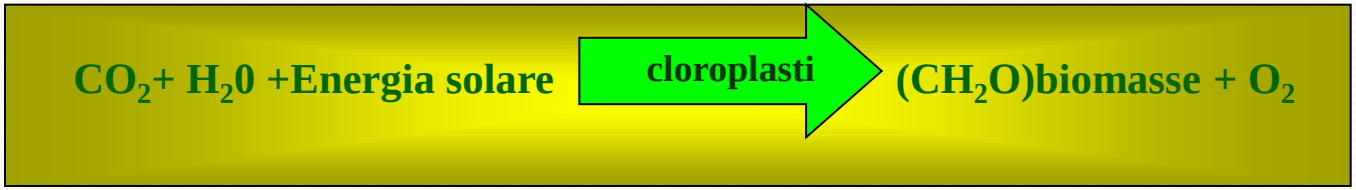
Secondo la Direttiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 27 settembre 2001 sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità, la biomassa è "*la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali ed animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali ed urbani*". Tale definizione è stata utilizzata in tutte le normative europee e nazionali.

Grande importanza rivestono le biomasse residuali:

- **Residui agricoli (es. paglie)**
- **Residui forestali**
- **Residui dell'industria agroalimentare**
- **Residui dell'industria del legno (segatura, chips)**
- **Reflui degli allevamenti zootecnici**
- **Parti organiche dei RSU**

Rese energetiche

I vegetali hanno la capacità di trasformare l'energia solare in energia chimica attraverso la fotosintesi clorofilliana



Efficienza energetica complessiva della formazione dei carboidrati → **Biomassa ottenuta / Energia solare disponibile**

Efficienza della fotosintesi ← **Piante tipo C3 e C4**

Efficienza della fotosintesi ← **Quantità di radiazioni intercettata**

Un parametro che, in questo caso, assume molta importanza è il potere calorifico delle diverse biomasse. Se moltiplichiamo il potere calorifico inferiore, espresso in gigaJoule per tonnellata [GJ/t], per la produttività agricola media delle colture energetiche, misurata in tonnellata di sostanza secca per ettaro ed anno [t/hm^{2}a], si ottiene la resa energetica lorda media della coltura [GJ/hm^{2}a]. Possiamo esprimere, per comodità, le rese in tonnellate di petrolio equivalente per ettaro ed anno [tep/hm^{2}a]:

1 tep=10^7 kcal=4,187*10^{10}J=41,87GJ

Produttività agricola e resa energetica lorda di biomasse e derivati

Biomassa e/o biocarburante derivato	Tipo	H_i [MJ/kg]	Produttività [t/hm^{2}a]	Resa lorda [tep/hm^{2}a]
Sorgo	C4	17	25	10,2
Miscanto e canna comune	C4	17	30	12,2
Pioppo, robinia, salice	C3	19	12	5,4
Semi di colza	C3	28	3	2
Semi di girasole	C3	28	4	2,7
Biodiesel		21	11	5,5
Biodiesel (carburante)		37	1	0,9
Bietola	C3	17	15	6,1
Granella di grano e orzo	C3	18	11	4,7
Granella di mais	C4	18	17	7,3
Bioetanolo		20	9	4,3
Bioetanolo (carburante)		27	3	1,9

Le specie vegetali di tipo C4 sono caratterizzate da una produttività agricola e una resa energetica superiore rispetto alle piante di tipo C3

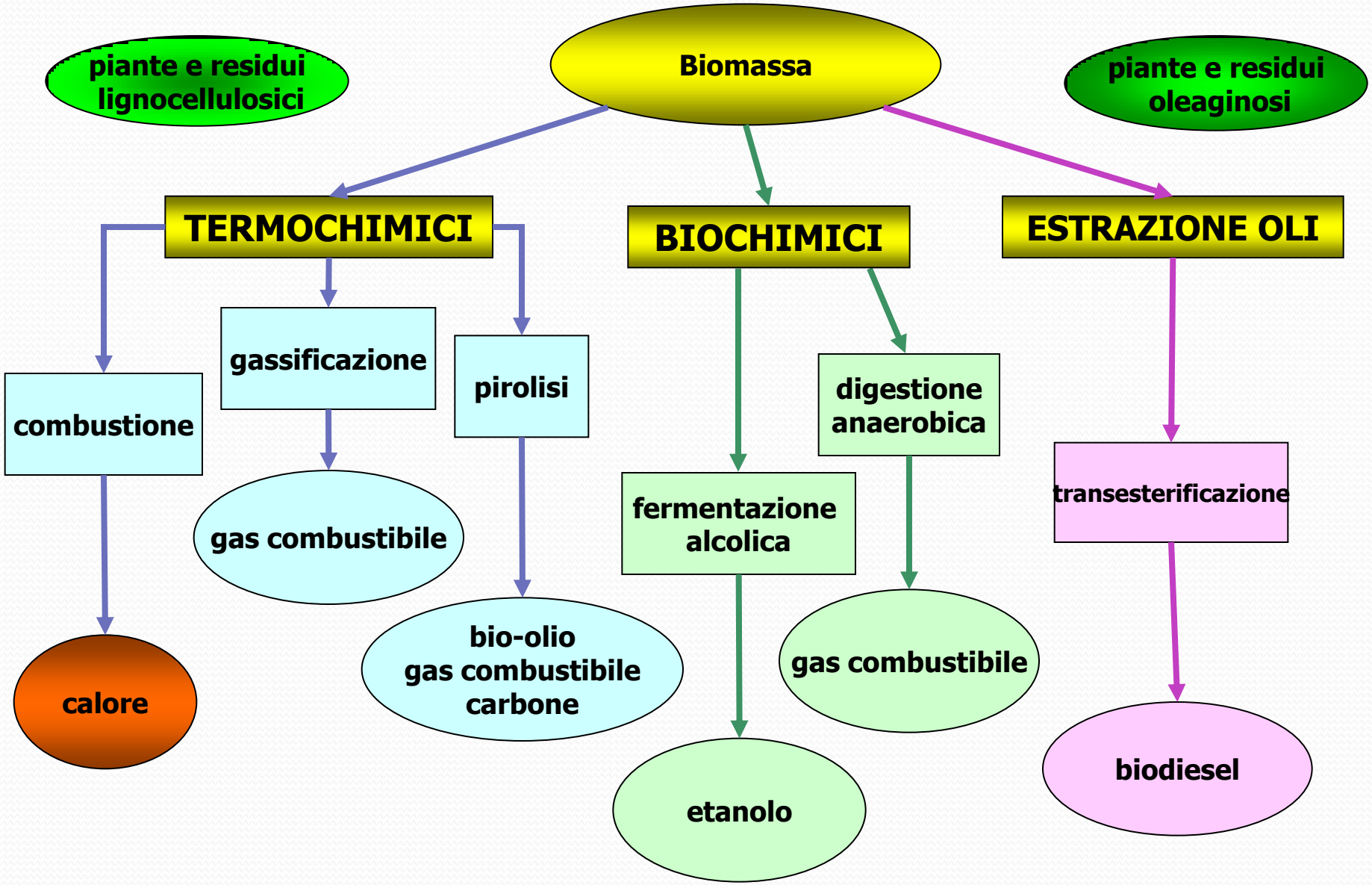
Energia spesa per produrre biomassa

Rapporti energetici Re tra energia ottenuta ed energia spesa nella produzione e rese energetiche nette di biomasse e derivati.

Biomassa e/o biocarburante derivato	Re	Resa netta [tep/hm^{2}a]
Miscanto e canna comune	14,3	11,3
Pioppo, robinia, salice	7,0 – 40,0	4,3 – 5,3
Biodiesel	3,9 – 5,5	4,1 – 4,5
Biodiesel (carburante)	1,7 – 2,3	0,4 – 0,5
Granella di grano e orzo	7,8 – 9,3	4,1 – 4,5
Granella di mais	8,9 – 9,8	6,5 – 6,6
Bioetanolo	1,5 – 1,8	1,4 – 1,9
Bioetanolo (carburante)	0,6 – 0,8	(-1,3) – (-0,5)

Il rapporto energetico Re dipende dal tipo di coltivazione e dall'eventuale successiva trasformazione industriale

Trasformazioni energetiche



Metodi termochimici

I processi termochimici sono basati sull'azione del calore che permette le reazioni chimiche necessarie a trasformare la materia in energia.

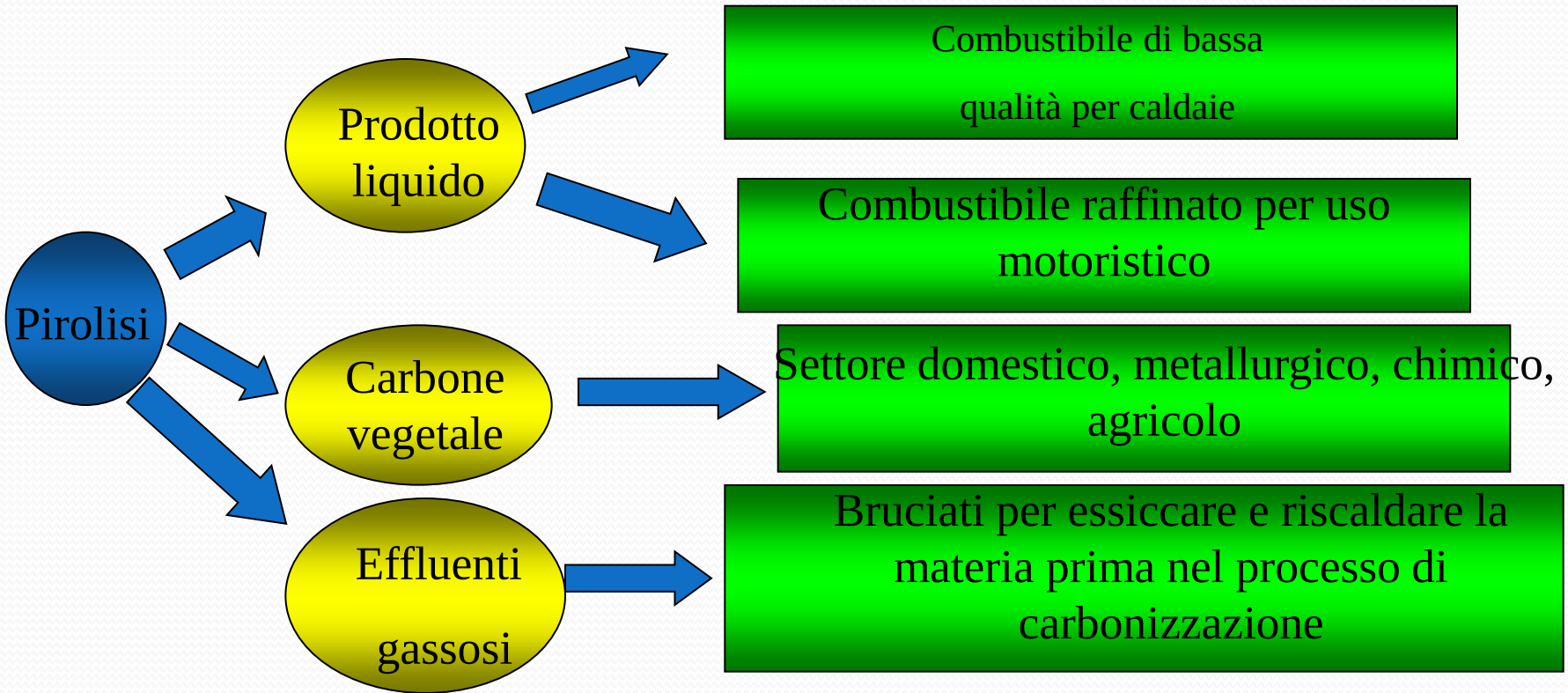
Per tali processi sono utilizzabili i prodotti ed i residui cellulosici e legnosi in cui il rapporto C/N abbia valori superiori a 30 ed il contenuto di umidità non superi il 30%.

I metodi di conversione sono:

- *Pirolisi*
- *Gassificazione*
- *Carbonizzazione*
- *Combustione diretta*
- *SRF (Short Rotation Forestry)*

Pirolisi

La pirolisi è un processo di decomposizione termochimica di materiali organici, ottenuto fornendo calore a temperature comprese tra 400 e 800 ° C, in completa assenza di ossigeno o con una limitata presenza in quantità tali da non causare gassificazione.



Metodi e prodotti della pirolisi

Pirolisi lenta → **(< 600°) Lunghi tempi di reazione** → **Carbone (fino al 30÷40%)**

Flash Pirolisi (basse temp.) → **Tempi <1 sec (500÷700 ° C)** → **Liquido Catrame di legna Acido acetico Metanolo (fino all' 80%)**

Flash pirolisi (alte temp.) → **Tempi<1 sec >700° C** → **gas fino all' 80%**

PCI [MJ/kg] →

liquido/gas	16÷20
solido	20÷30

Il potere calorifico inferiore è maggiore di circa 2,5 volte la biomassa originaria

Combustione diretta

E’ un processo termochimico che avviene attraverso la combustione di legna da bosco, piante a crescita rapida e corta rotazione (eucalipto,salice,…) raccolti ogni 5/10 anni ed essiccati

Emissione di Sox,Nox,….

Carbonizzazione trasforma legno in carbone in 2 fasi emettendo metano, anidr. Carbonica e vapore acqueo

Esempio:

$$xC_6H_{10}O_5 + nO_2 \Leftrightarrow yCO + zH_2 \quad (+1{,}85\text{KJ/g})$$

Gassificazione

E’ un processo termochimico che avviene attraverso la combustione di residui vegetali ed organici in biogas per parziale ossidazione condotta con una quantità di ossigeno sotto lo stechiometrico (in difetto di ossigeno)

Il combustibile ottenuto è una miscela di CO, CO2, H2, CH4 , H2O, N2 con piccole quantità di idrocarburi, cere e particolato. Il principio di funzionamento è simile a quello della **combustione**, differendone esclusivamente per il valore del rapporto comburente/combustibile prescelto.

$CH_\alpha O_\beta$=generica formula della biomassa per la Gassificazione

$$CH_\alpha O_\beta + xO_2 + yN_2 + zH_2O + \text{calore} = a_1C + a_2H_2 + a_3CO + a_4H_2O + a_5CO_2 + a_6CH_4 + a_7N_2$$

Esempio: $C_6H_{10}O_5 + \frac{1}{2}O_2 \Leftrightarrow 6CO + 5H_2$ (+1,85KJ/g)

Gli agenti gassificanti

Aria

È la tecnologia più semplice ma il gas prodotto (gas di gasogeno) ha basso potere calorifico (PCI = 5,5 – 7,5 MJ/Nm3) dovuto alla grande quantità di azoto che lo diluisce.

Ossigeno

Sostituendo l'aria con ossigeno si ottiene una miscela a base di CO e H2, indicata con il termine Syngas (gas di sintesi), che può essere usata come combustibile (PCI 11 MJ/Nm3) o come base per la produzione di prodotti chimici

Vapore

Generalmente indicata in breve come Reforming, produce un gas ricco di H2 ed è un processo fortemente endotermico

Gassificazione

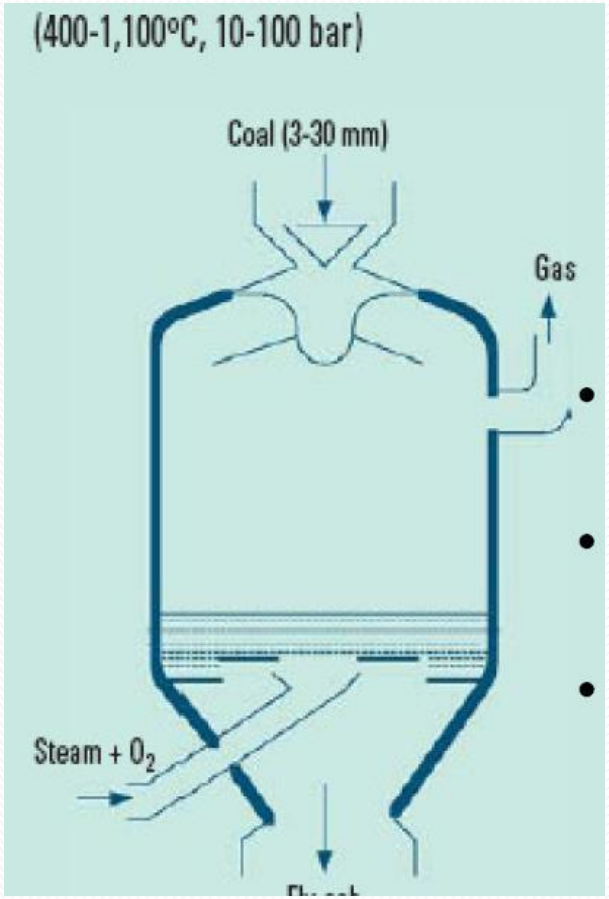
Oltre al gassificatore ci vuole:

- separazione aria
- Raffreddamento gas sintesi
- Depurazione gas
- Pretrattamento, stoccaggio, smaltimento ceneri

Gas sintesi non immagazzinabile ma da utilizzare subito per evitare condensazioni

Tipologie di gassificatori

A letto fisso



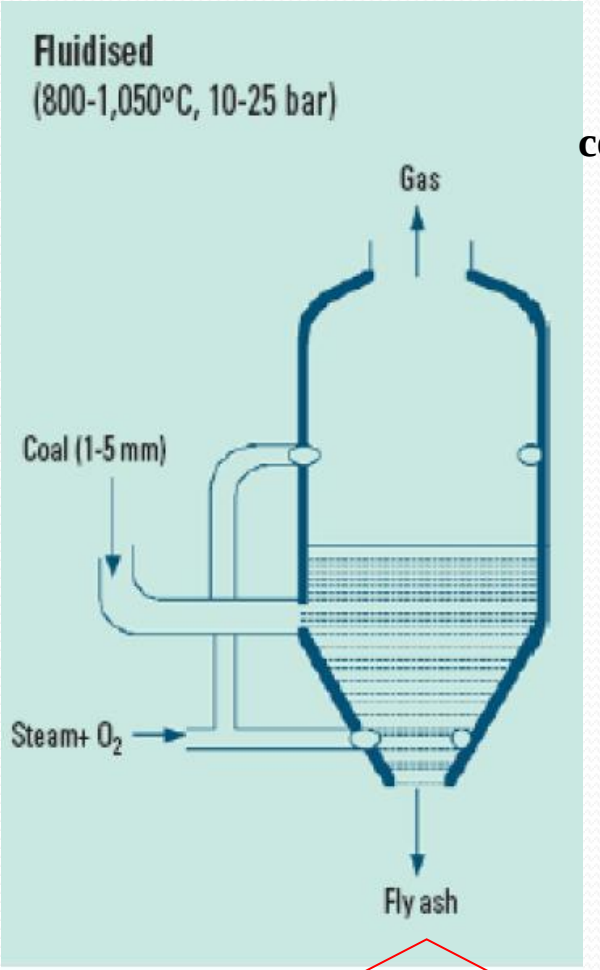
I gassificatori a letto fisso sono utilizzati generalmente per impianti di media taglia; si adattano bene a combustibili di granulometria varia (da particelle grandi a molto fini) e possono essere di 3 tipi:

•Updraft (a tiraggio superiore, detti anche controcorrente): l'agente ossidante sale verso l'alto mentre il combustibile scende

•Downdraft (a tiraggio inferiore o equicorrente): combustibile ed ossidante scendono entrambi verso il basso attraversando un letto di solidi a pacco

•Crossdraft (a tiraggio incrociato): il combustibile si muove verso il basso mentre l'ossidante è immesso trasversalmente.

A letto fluido



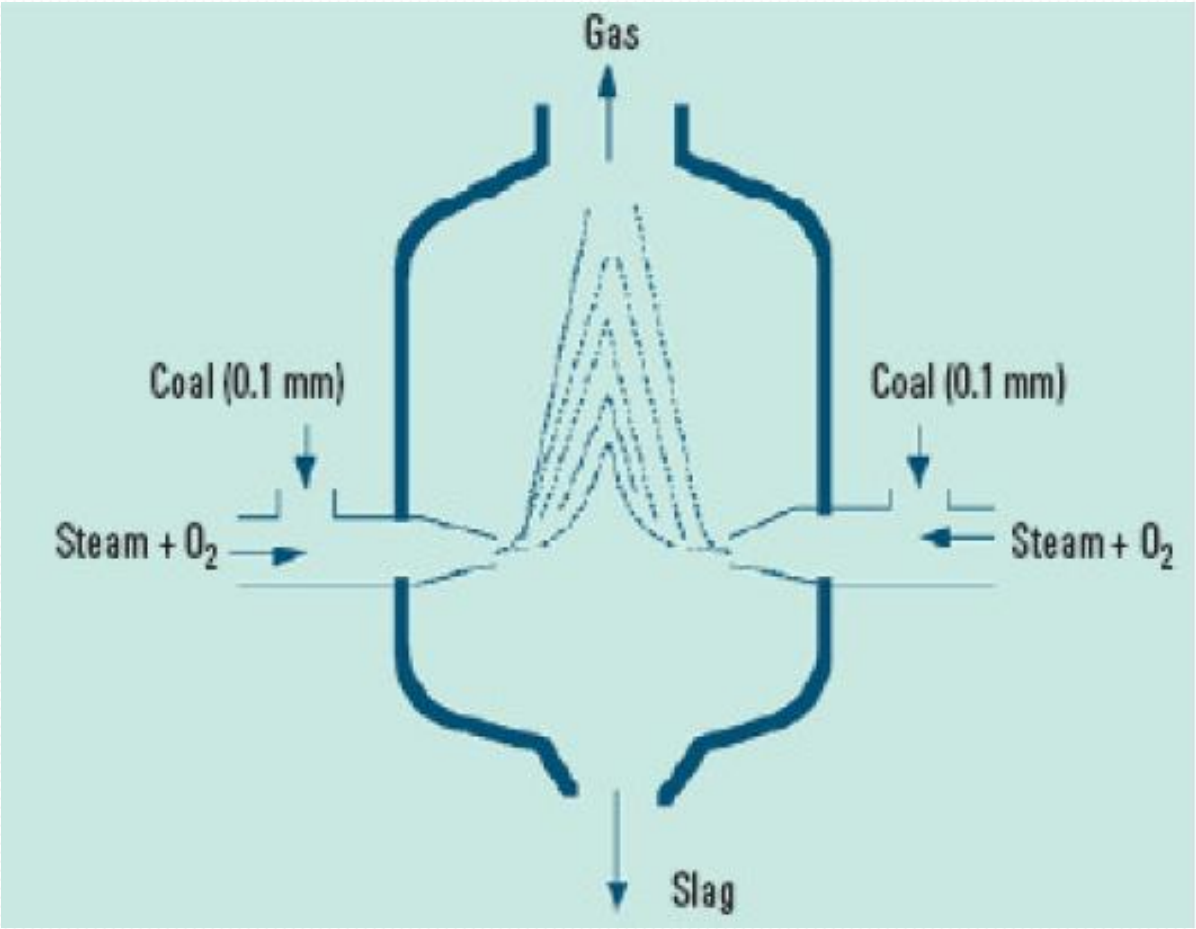
I combustibili solidi risultano sospesi (BFB) o circolanti (CFB) in un flusso di gas. Se la condizione di esercizio é pressurizzata (come conviene per l'alimentazione di turbogas) si parla di gassificatori PFB.

BFB: il letto sospeso si comporta in modo molto simile ad un reattore chimico omogeneo in cui si possono impiegare combustibili dalle dimensioni variabili, che sono sospesi nella colonna di gas ascendente insieme ad un solido inerte (sabbia silicea) che favorisce lo scambio termico all'interno del letto

CFB: la miscela bifase gas/solido non é stratificata con due fasi di densità diversa, ma si ha un progressivo incremento della fase gassosa salendo verso l'alto; il gassificatore assume la forma di una lunga colonna ascendente. Sono adatti a potenzialità elevate, ma richiedono una granulometria fine delle particelle solide.

$v = 1 \div 2$ m/s

A letto trascinato



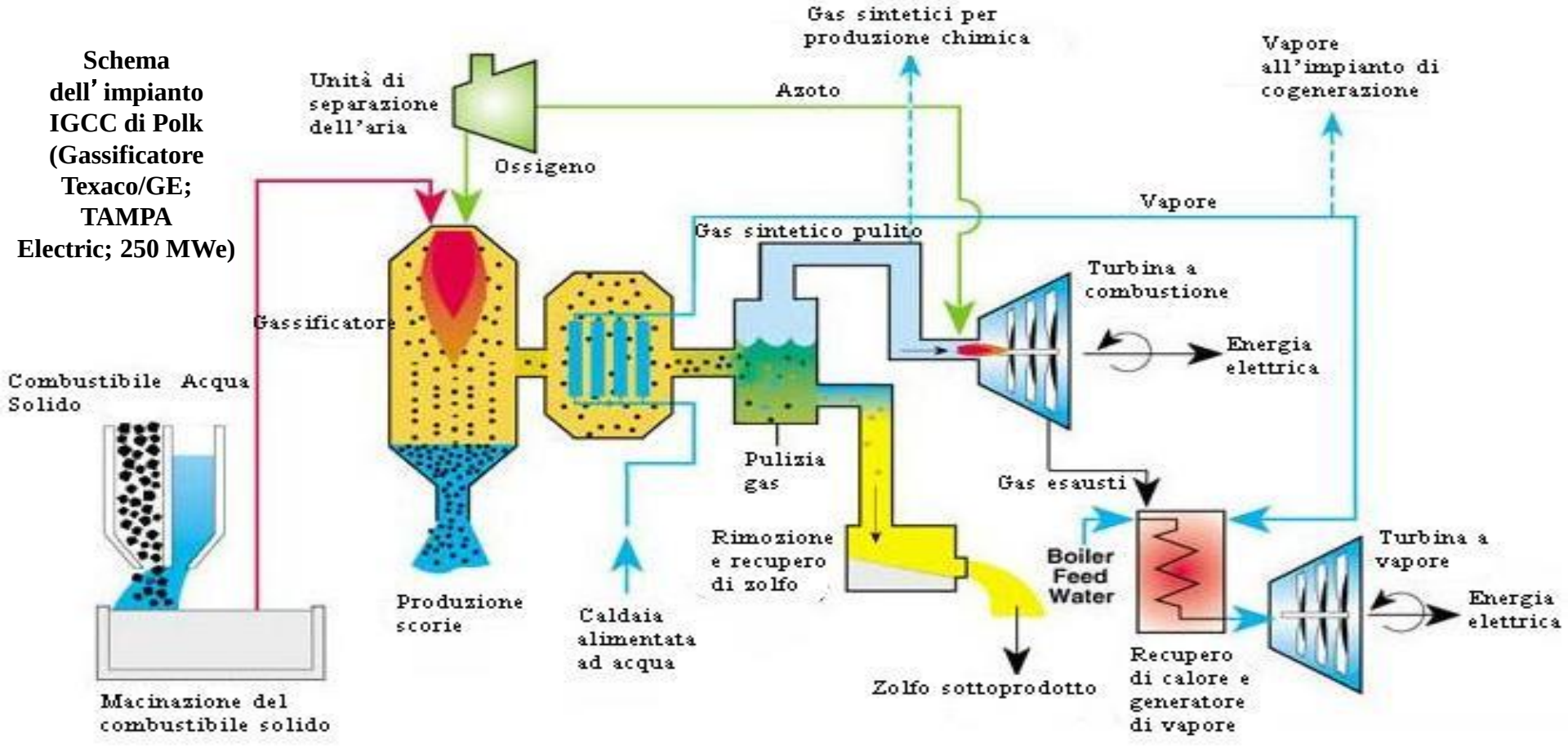
Sono adatti per elevate potenzialità, ma richiedono combustibile finemente polverizzato (bassi tempi di residenza, trascinamento fluido). I prodotti della gassificazione escono dal gassificatore a temperatura molto elevata, rendendo problematico il recupero termico (necessariamente radiativo) prima della pulizia del gas.

Gassificatore	Vantaggi	Svantaggi
Letto fisso	Tecnologia semplice Bassi costi di gestione Lavora anche in piccola scala Tollera alta umidità Assenza di C nelle ceneri	Sconsigliabile per grandi scale Bassa efficienza
Letto fluido	Applicabile a grande scala Alti coefficienti di scambio termico Elevate velocità di reazione Temperatura uniforme	Alta produzione di particolato Media produzione di tar Richiede pezzatura fine ed alto pdf ceneri Tecnologia complessa Possibile presenza di carbone nelle ceneri
Letto trascinato	Applicabile a grande scala Grande versatilità Bassissima produzione di tar Completa conversione del carbonio	Alta produzione di scorie Richiede combustibile fine Tecnologia complessa Alti costi di gestione

Impianto di gassificazione

A ciclo combinato gas-vapore

Schema dell'impianto IGCC di Polk (Gassificatore Texaco/GE; TAMPA Electric; 250 MWe)



Carbonizzazione

La carbonizzazione è un processo che consente la trasformazione delle molecole strutturate dei prodotti legnosi e cellulosici in carbone (carbone di legna o carbone vegetale), ottenuto mediante l'eliminazione dell'acqua e delle sostanze volatili dalla materia vegetale, per azione del calore nelle carbonaie.

È una pirolisi condotta ad una temperatura inferiore ai 400° C

Combustione diretta

La combustione diretta costituisce il più antico e diffuso processo per l'utilizzazione energetica di residui di varia natura. Si ricorre a questo processo quando la percentuale di umidità presente nella biomassa è sufficientemente bassa: (legna proveniente dai tagli di boschi, cippato, pellets, la paglia di cereali, la paglia, i tutoli di riso, ecc.). La combustione viene generalmente attuata in apparecchiature (caldaie) in cui avviene anche lo scambio di calore tra i gas di combustione ed i fluidi di processo (acqua, olio diatermico)

$CH_\alpha O_\beta$ = generica formula della biomassa

combustione:

$$CH_\alpha O_\beta + xO_2 = a_1CO_2 + a_2H_2O + \text{calore}$$

esempio $\Rightarrow$ $C_6H_{10}O_5 + 6O_2 \Leftrightarrow 6CO_2 + 5H_2O$ (-17,48 KJ/g)

Tipologie di combustibili legnosi

Cippato

Si definisce “legno sminuzzato”, o “chips di legno”, il legname in scaglie ottenuto da apposite macchine utilizzando legno di qualità inferiore (residui delle potature boschive , agricole o urbane, oppure i sottoprodotti delle segherie e il legno proveniente da impianti a breve rotazione). Il suo potere calorifico varia tra 2.000-3.500 kcal/kg.

Pellets

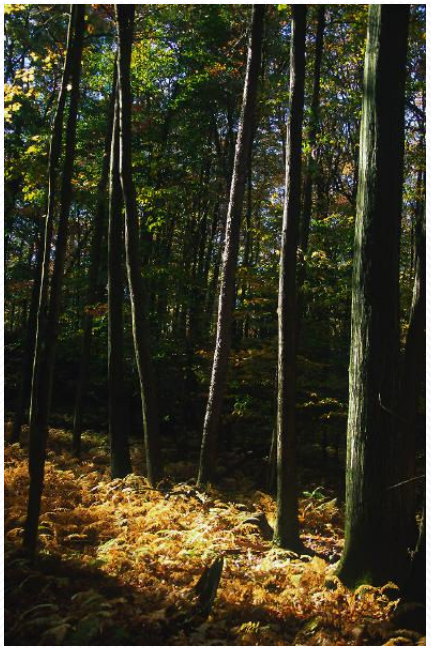
È un prodotto ottenuto con la polvere di residui legnosi vergini, la quale viene pressata in cilindretti che possono avere diverse lunghezze e spessori (1,5-2 cm di lunghezza,6-8 mm di diametro). La compattezza e la maneggevolezza danno a questa tipologia di combustibile caratteristiche di alto potere calorifico (pci 4.000-4.500 kcal/kg).

Bricchetto

Sono dei tronchetti pressati, in genere di 30 cm di lunghezza e 7-8 cm di diametro, prodotti con residui e polveri più grossolane. L'utilizzo è assimilabile a quello del legno in ciocchi ed hanno un alto potere calorifico (PCI 4.000-4.500 kcal/kg).

SRF (Short Rotation Forestry)

Con il termine SRF, si intende la coltivazione di specie arboree perenni con alto contenuto energetico e un breve turno di raccolta (2-5 anni) per la destinazione energetica



Metodi biochimici

I processi di conversione biochimica ricavano l'energia per reazioni chimiche dovute al contributo di enzimi, funghi e micro-organismi, formati nella biomassa in particolari condizioni.

Si usano biomasse in cui il rapporto C/N è minore di 30 e l'umidità alla raccolta superiore del 30%.

I metodi biochimici sono:

- **Conversione biochimica ad alcoli (fermentazione alcolica)**
- **Digestione anaerobica (biometanizzazione)**
- **Digestione aerobica**
- **Produzione di biodiesel**

Fermentazione alcolica

La fermentazione alcolica è un processo di trasformazione anaerobica dei glucidi contenuti nei vegetali, attuata da specifici microrganismi.

Interessa prodotti ricchi di zucchero o di amido.

Produce etanolo

Produzione di Bioetanolo

Idrolisi degli amidi

$$C_6H_{10}O_5 + H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6$$

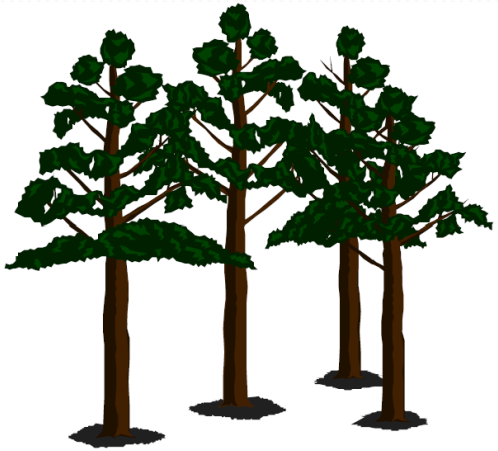
Fermentazione

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

Distillazione a 78° C

Se combinato con l'isobutilene produce H_2O ed EtilTertioButilEtere che è un additivo antidetonante miscelato nelle benzine fino a concentrazioni del 15% per aumentare il numero di ottano

Produzione di Bioetanolo da materiali lignocellulosici



Pretrattamento

Idrolisi (basica o acida)
Steam-explosion
Processo microbiologico

Detossificazione

Idrolisi

Fermentazione e distillazione

Steam Explosion

Separazione dal substrato vegetale di emicellulosa, cellulosa e lignina

-Rapido riscaldamento della biomassa con vapore saturo ad alta pressione (15-30 bar) in un reattore continuo o discontinuo

-Mantenimento alla temperatura desiderata (180-230° C) per un breve periodo (1-10minuti)

-Decompressione esplosiva (diminuendo rapidamente la pressione al valore atmosferico) che sfibra ulteriormente la biomassa

Digestione anaerobica

La digestione anaerobica è un processo di conversione che avviene in assenza di ossigeno, consistente nella demolizione, ad opera di micro-organismi, di sostanze organiche complesse (lipidi e glucidi) e che produce un gas (biogas) costituito dal 50-70% di metano e per la parte restante di CO_2

Il biogas così prodotto viene raccolto, essiccato,

compresso ed immagazzinato e può essere utilizzato come combustibile per alimentare lo stesso processo di bioconversione, ovvero veicoli a gas o caldaie a gas per produrre calore e/o energia elettrica

Digestione aerobica

Tale processo consiste nella metabolizzazione delle sostanze organiche per opera di micro-organismi, il cui sviluppo è condizionato dalla presenza di ossigeno. Questi batteri convertono sostanze complesse in altre più semplici, liberando CO_2 e H_2O e producendo un'elevata quantità di calore che può essere trasferito all'esterno mediante scambiatori a fluido.

Biodiesel

Il Biodiesel o Metil-Estere si ottiene dalla transesterificazione degli olii vegetali ottenuti da piante oleaginose (colza, soia e girasole). Il Metil-Estere ha proprietà di combustione simili al gasolio, che ne permettono l'uso in caldaie e motori già esistenti, mentre per gli altri prodotti agro-energetici è necessaria l'applicazione in apposite caldaie e motori, con un considerevole aumento dei costi.

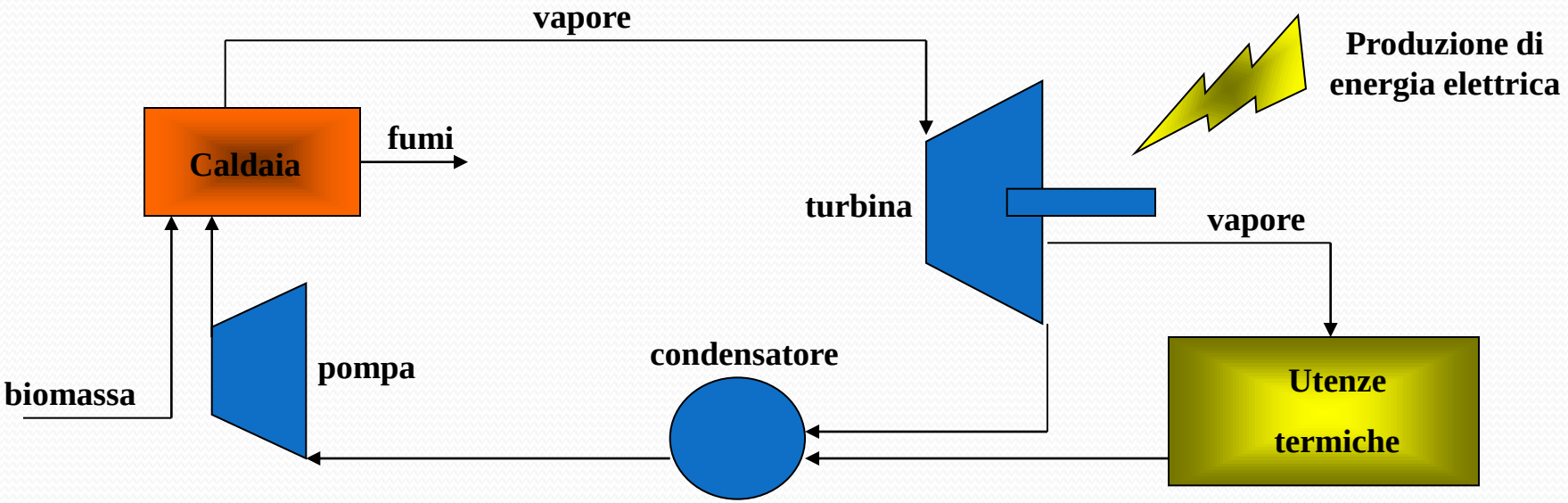
Quantità	Unità di Misura	BioDiesel	Gasolio
Punto di congelamento	° C	-14	-18
Densità a 15° C	Kg/l	0,883	0,84
Numero di **Cetani**	/	51,8	51
Flash	° C	118	64
Viscosità a 37.8 ° C	cSt	4,7	3,26
PCI	MJ/l	32,8	35,6
HC Emissioni	g/KWh	0,024	0,047
CO Emissioni	g/KWh	0,22	0,32
NOx Emissioni	g/KWh	5,901	6,001
Particolato	g/KWh	0,3	0,441

La Cogenerazione

È una strategia di risparmio energetico che sfrutta l'energia termica altrimenti dispersa proveniente dai cicli termodinamici utilizzati nella produzione di energia elettrica.

Dunque utilizza l'energia primaria in modo più razionale rispetto a processi che producono separatamente le due forme di energia, ottenendo così un risparmio di combustibile fino al 44%.

Di conseguenza si riducono le emissioni a parità di potenza utilizzabile



Costi per la produzione di energia termica

La voce principali tra gli oneri di esercizio è il costo del combustibile nel caso di piccoli impianti di riscaldamento

Combustibile	Cq[€/GJ]	Cq[%]
Legna in ciocchi	8	29,9
Cippato	4,63	17,3
Pellets	11,6	43,3
Gasolio	26,8	100
Gas naturale	18,6	69,4

$$Cq = \frac{Cc}{PCI}$$

Cc=costo del combustibile[€/t]

PCI=potere calorifico[GJ/t]

Cq=prezzo al consumo di combustibile

Costi per la produzione di energia elettrica

Costi fissi (F) → Tecnologia produttiva, Dimensioni della centrale → Dipendono dalla potenza della centrale

$$Cf = \frac{F}{P}$$

Cf=costi per unità di potenza installata [€/KW a]

P= potenza installata [KW a]

Tecnologia	Cf[€/KW a]	Cf[%]
Biomasse CSV	240	63
Biomasse IGCC	380	100
Carbone	120	32
Olio combustibile	80	21
Gas naturale	70	18

Costi variabili → Costo del combustibile necessario a produrre un KWh

$$Ce = \frac{0{,}36 \cdot Cq}{\eta}$$

Tecnologia	Ce[c€/KWh]	Ce[%]
Biomasse CSV	6,29	100
Biomasse IGCC	4,99	79
Carbone	1,56	25
Olio combustibile	4,77	76
Gas naturale	5,91	94

Costi medi complessivi

$$Cm = Ce + 100\frac{Cf}{24 \cdot 365 \cdot f}$$

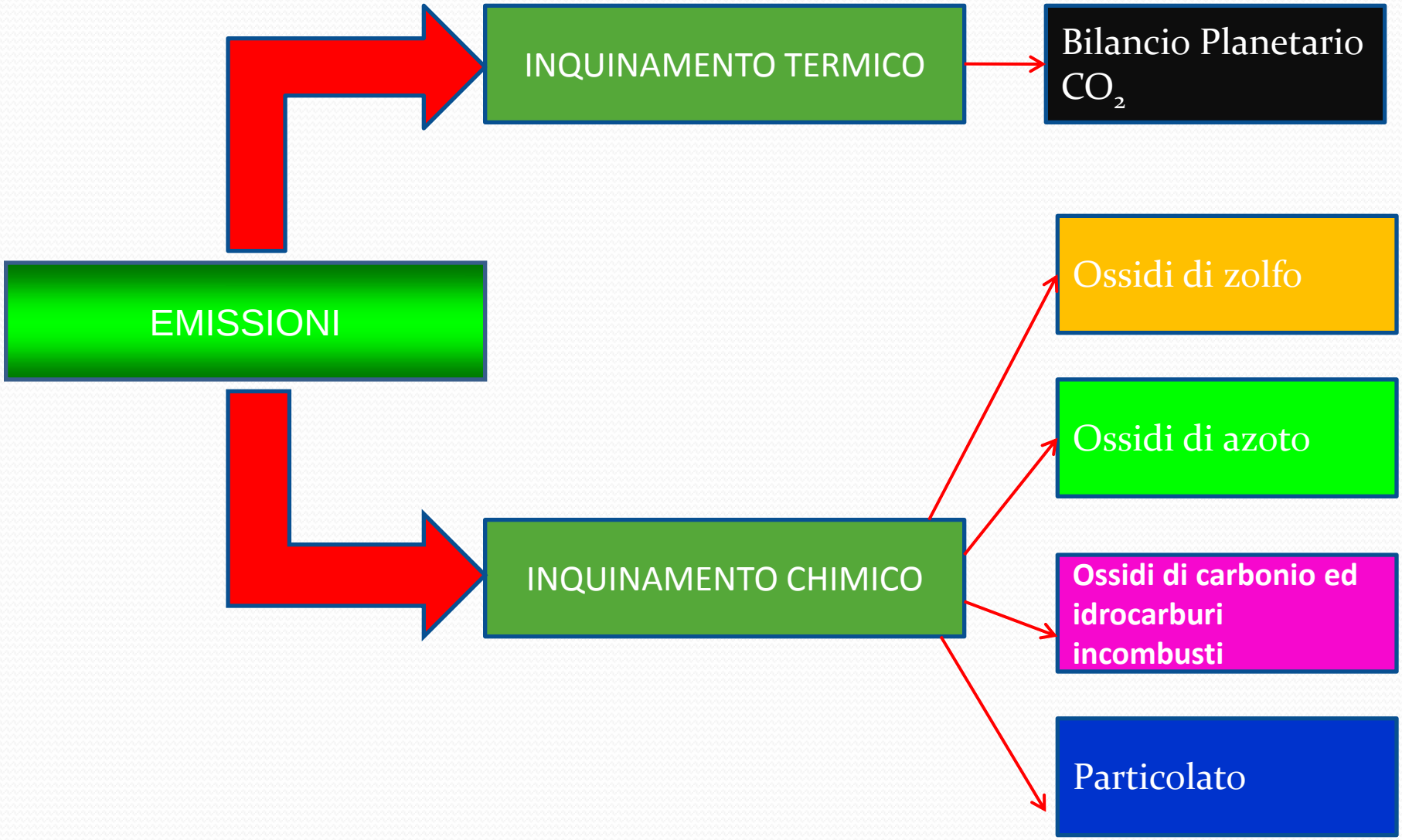
f = fattore di utilizzo della centrale $[0 \div 1]$

Cm espresso in C€/KWh rappresenta i costi totali annuali rapportati al numero di ore di funzionamento annuo della centrale

La seguente tabella si riferisce ad un funzionamento annuo della centrale di 7700 ore

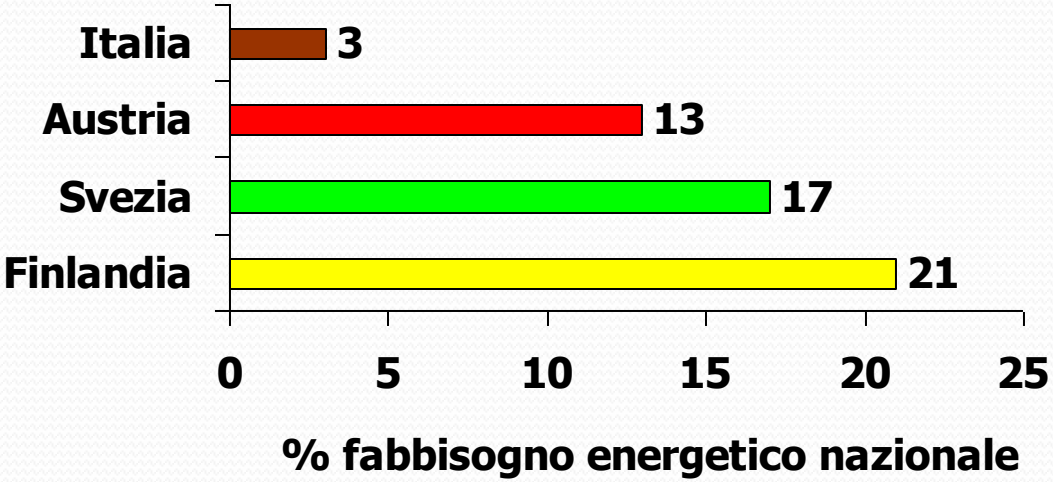
Tecnologia	Cm[c€/KWh]	Cm[%]
Biomasse CSV	9,41	93
Biomasse IGCC	9,92	100
Carbone	3,12	31
Olio combustibile	5,81	59
Gas naturale	6,82	69

L’impatto ambientale



Situazione attuale

- Media nei Paesi in via di sviluppo 38% (Nepal 90%)
- Media europea 3,5%



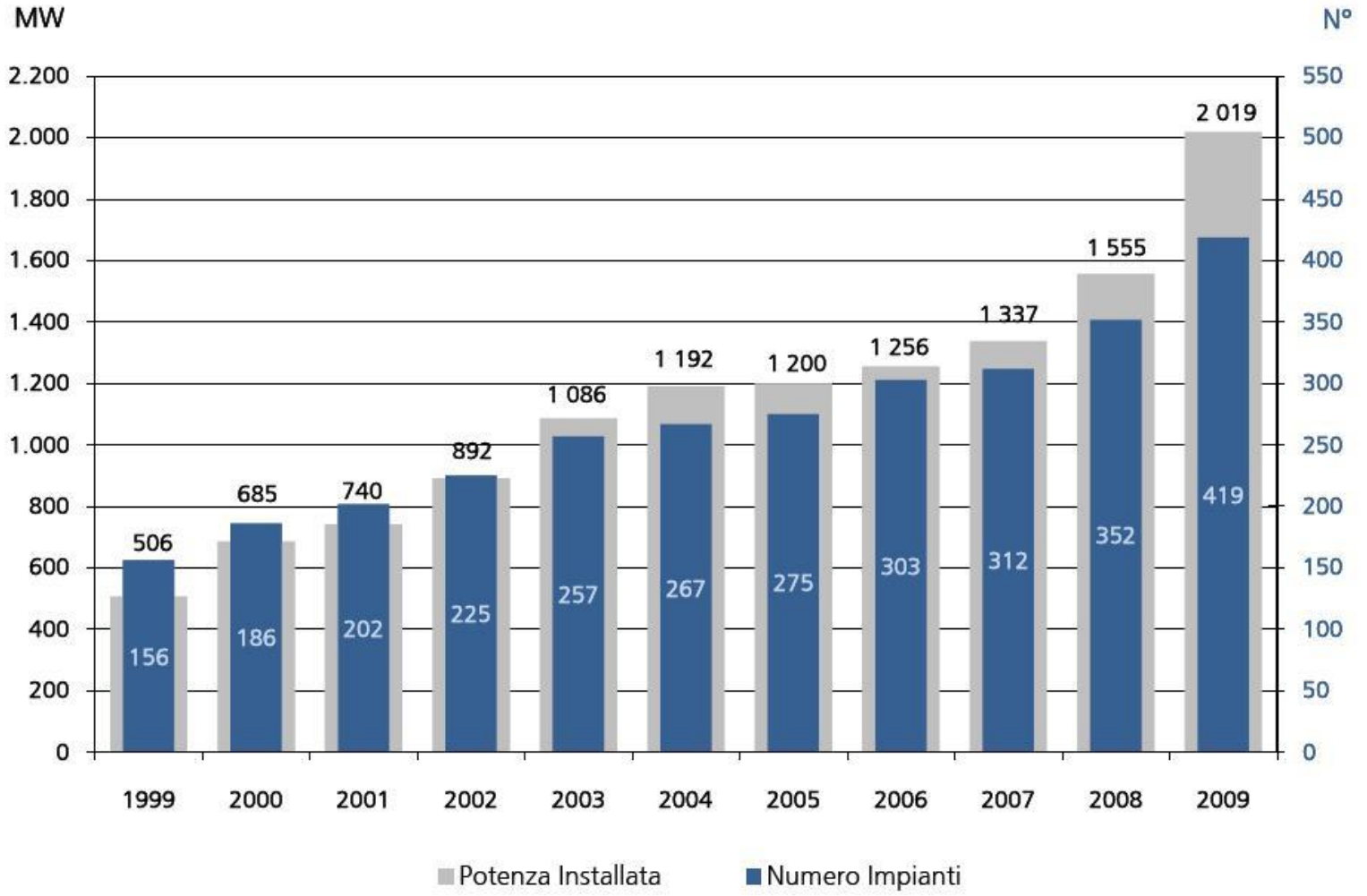
Attualmente, la popolazione mondiale soddisfa il 12-15% del proprio fabbisogno di energia primaria con biomassa con 55 milioni di TJ/anno (1.230 Mtep/anno)

Uso della biomassa In Italia

- **Energia termica (92%)**
- **Energia elettrica (7%)**
- **Combustibili (1%)**

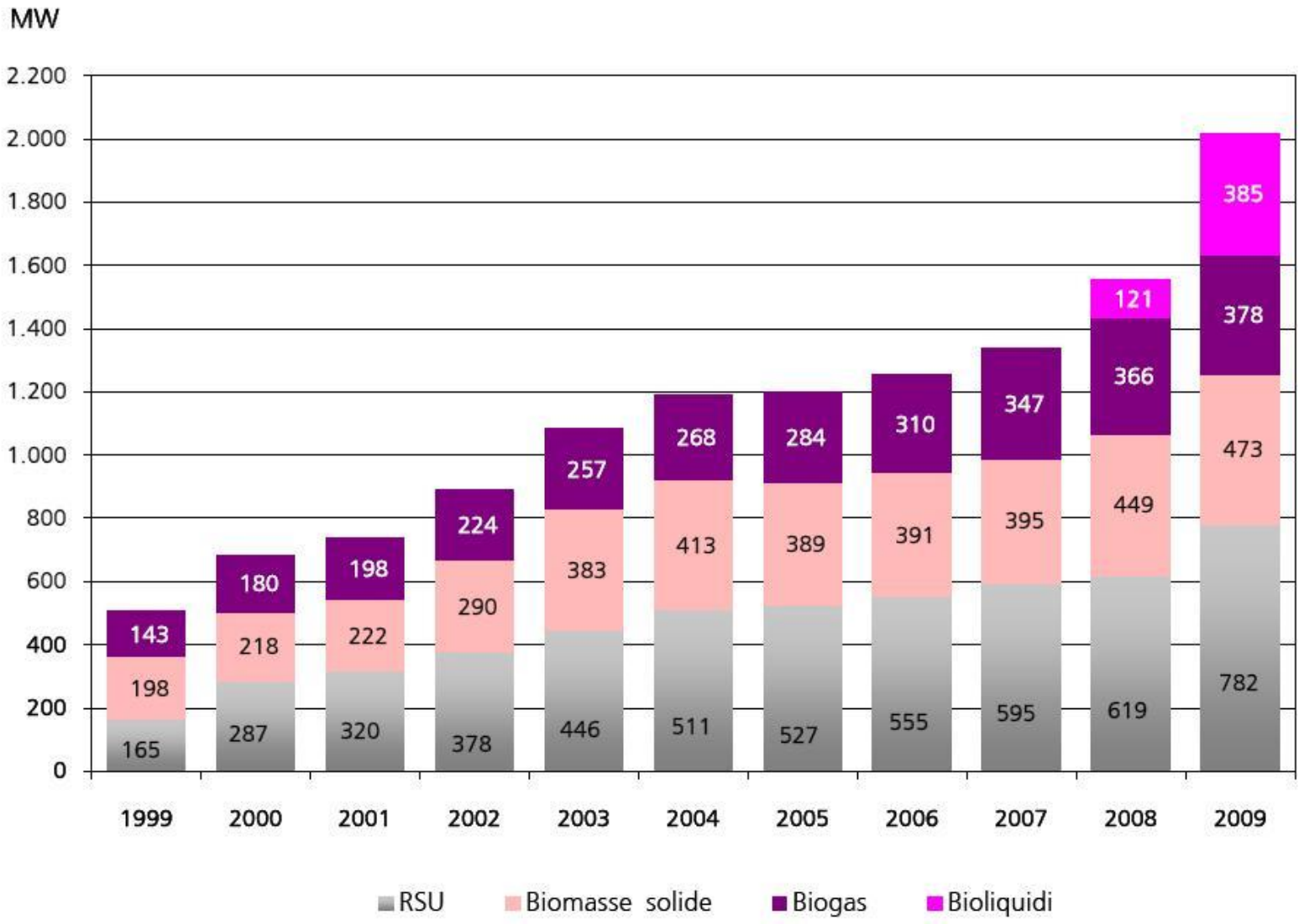
Evoluzione della numerosità e della potenza degli impianti a biomasse in Italia

Il tasso medio annuo di crescita è stato pari al 10,4% per la numerosità e al 14,8% per la potenza installata.

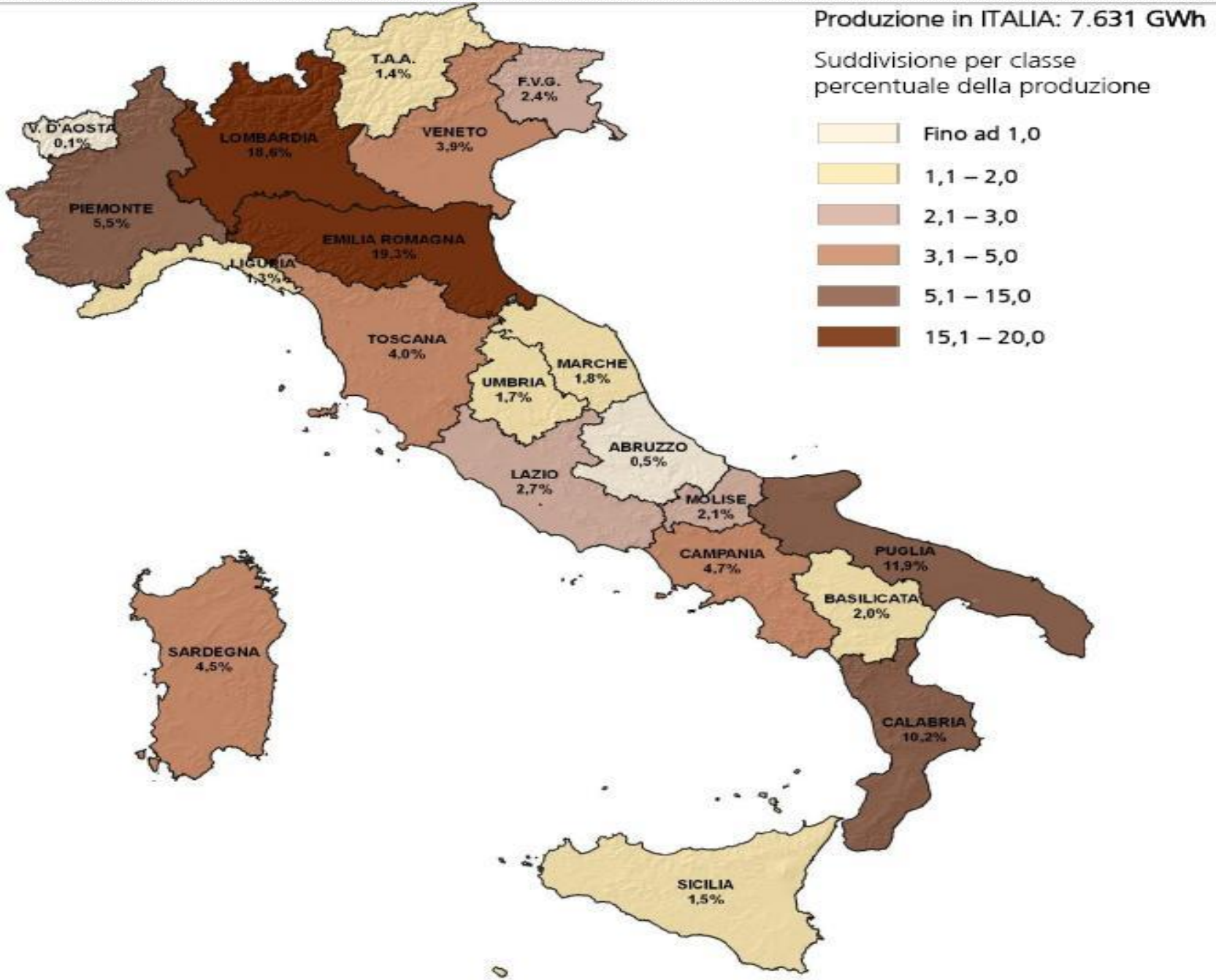


Evoluzione della potenza installata degli impianti a biomasse in Italia

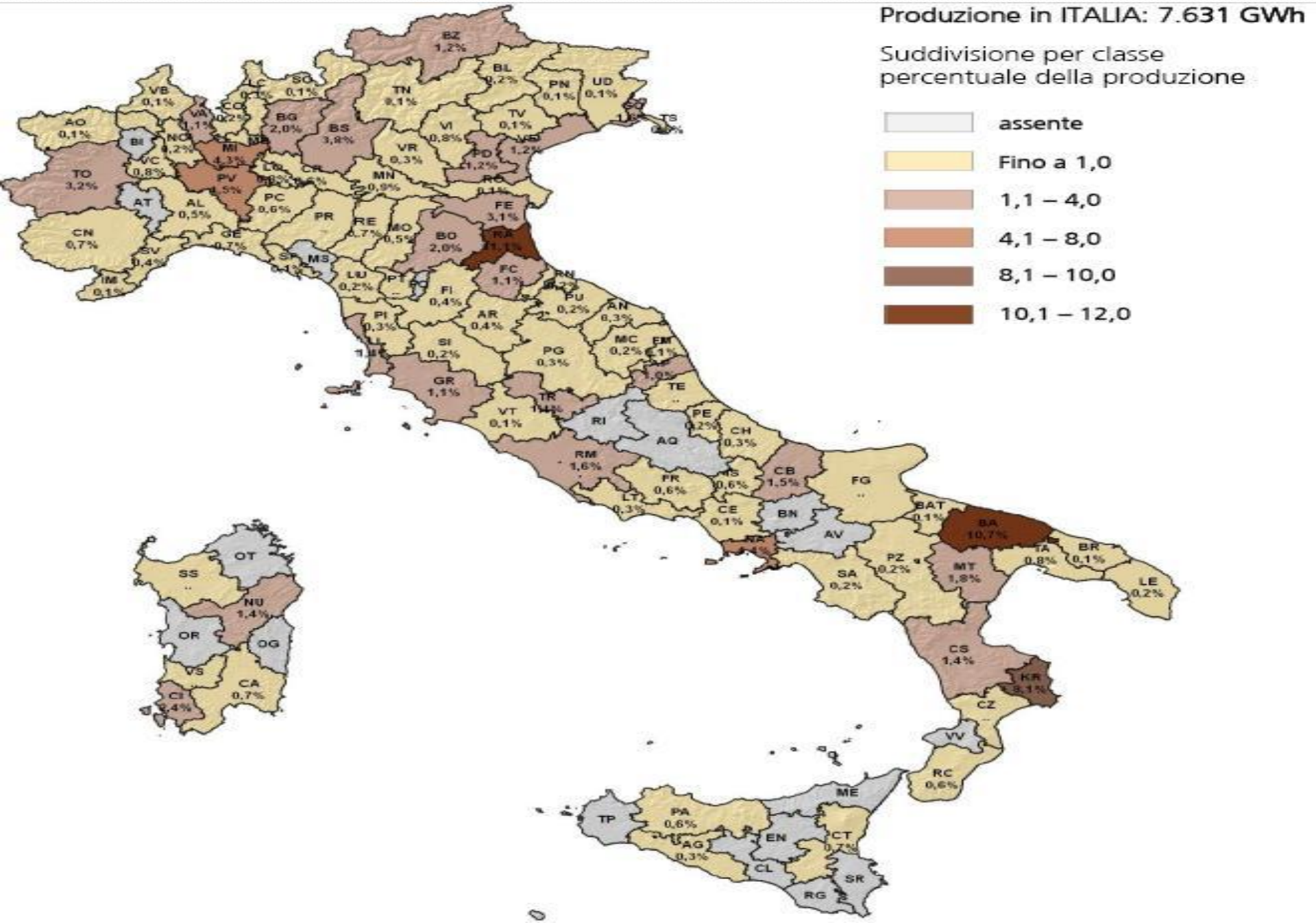
	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Taglia Media (MW)	4,5	4,4	4,1	4,3	4,4	4,8



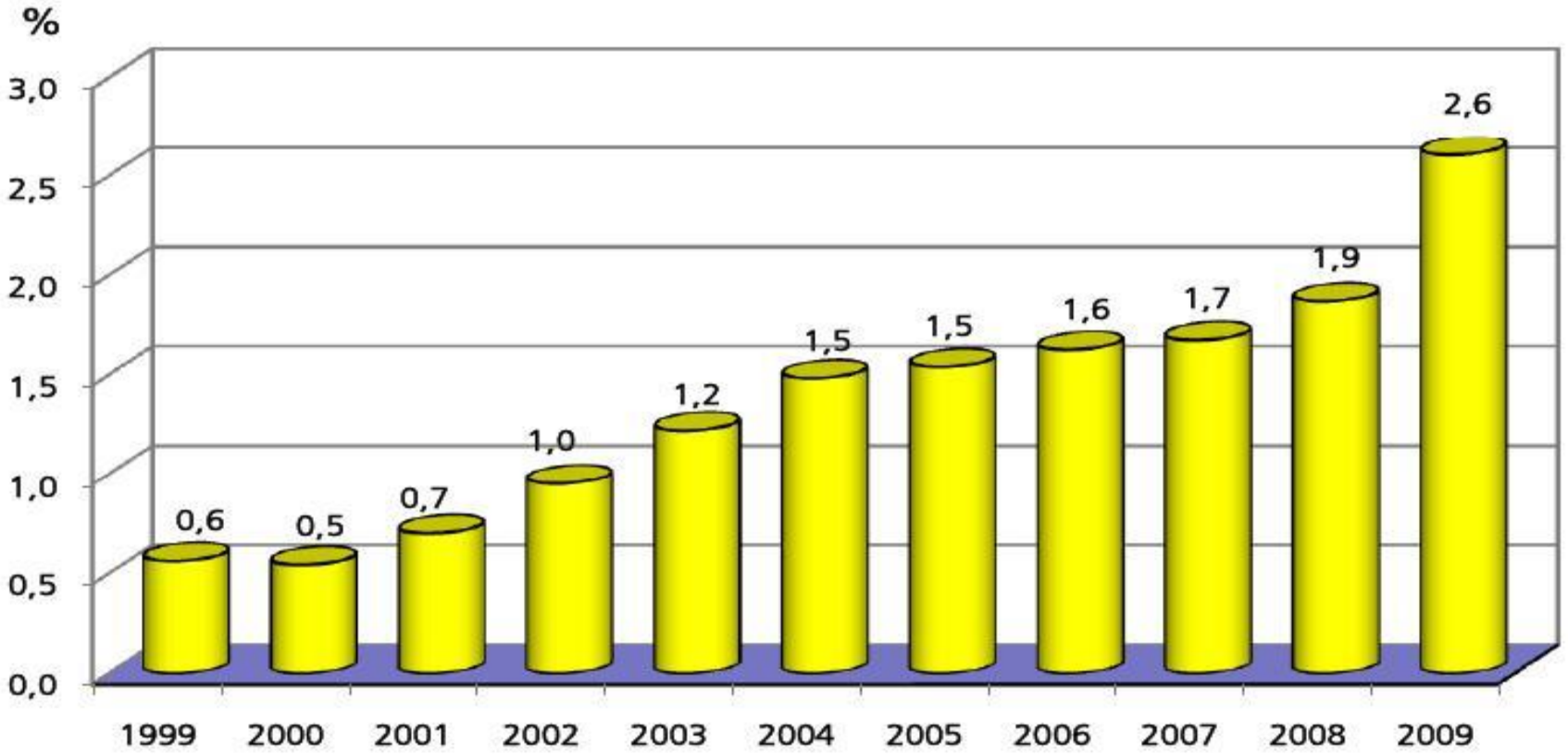
Distribuzione regionale della produzione da biomasse nel 2009



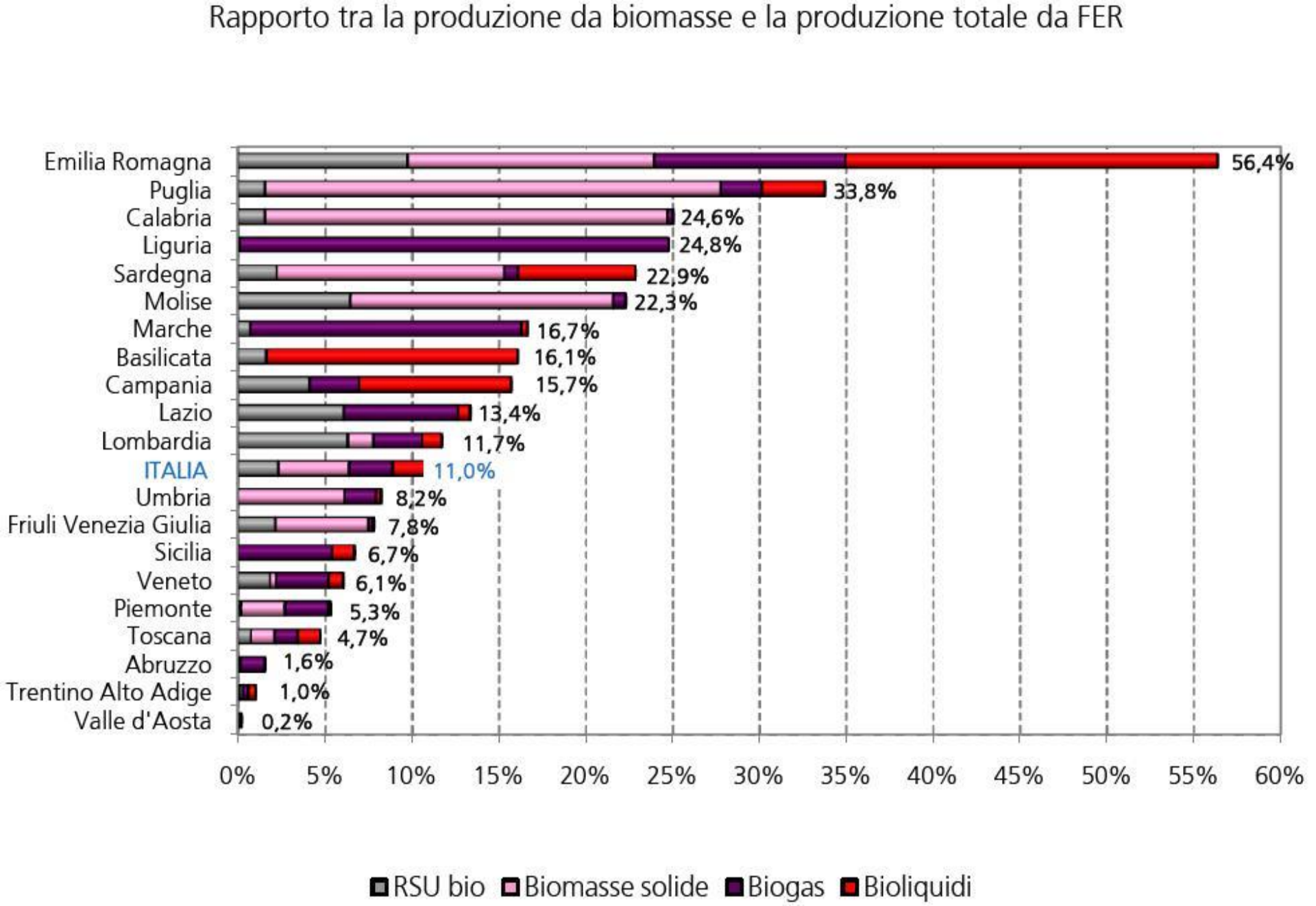
Distribuzione provinciale della produzione da biomasse nel 2009



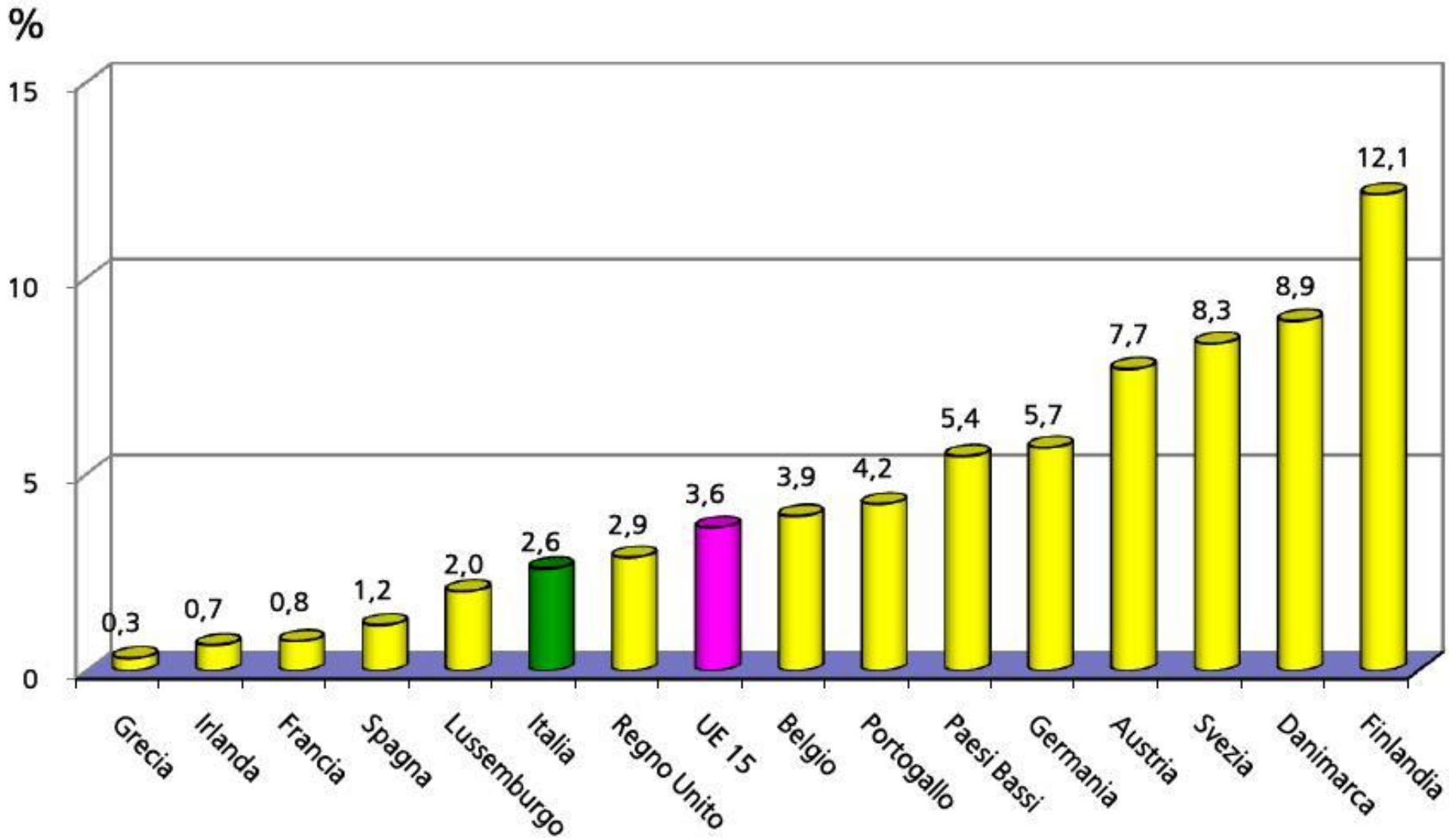
Rapporto tra la produzione da biomasse e la produzione totale di energia elettrica



Produzione da biomasse per Regione nel 2009



Rapporto tra la produzione da biomasse e la produzione lorda di energia elettrica



Come si calcola il guadagno da un impianto a biomasse

Struttura del business plan

- Dati di partenza (potenza impianto e consumo di combustibile)
- Costi iniziali
- Costi di gestione
- Finanziamento
- Producibilità energetica
- Entrate (incentivi e vendita energia prodotta)
- Ritorno di investimento

DATI DI PARTENZA		
Potenza elettrica nominale	200	kWe
Potenza termica nominale	300	kWt
Consumo combustibile	2000	t/anno
Costo del combustibile	35	€ /t
Prezzo vendita en. elettrica	0,28	€/kWhe
Prezzo vendita en. termica	0,035	€ /kWht

COSTI INIZIALI		
Costo macchina	1.000.000	€
Numero di macchine	1	n°
Costo impianto	1.000.000	€
Costo cabina Enel	0	€
Totale costi iniziali	1.000.000	€

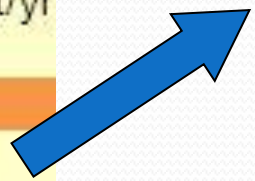
COSTI DI ESERCIZIO		
Acquisto combustibile	70.000	€
Smaltimento ceneri	10.000	€
Manutenzione	15.000	€
Monitoraggio/operatore	15.000	€
Affitto locali macchina	0	€
Spese impreviste	5.000	€
Totale costi di esercizio	115.000	€

FINANZIAMENTO		
Cifra da finanziare	1.115.000	€
Tasso di interesse fisso	5	%
Durata	15	anni
Rata mensile	8.785	€
Totale rate annue	105.420	€

PRODUCIBILITA' ENERGETICA		
Ore di funzionamento	7.500	h/anno
Percent. su ore di un anno	86	%
Energia elettrica prodotta	1.500.000	kWhe/yr
Energia termica prodotta	2.250.000	kWht/yr

ENTRATE VARIE		
Vendita energia elettrica	420.000	€
Vendita energia termica	78.750	€
Ricavo orario	67	€
Totale vendita energia	498.750	€

RITORNO INVESTIMENTO		
Utile annuo	278.330	€
Tempo di rientro	4	anni



prezzo di vendita *

potenza nominale *

ore di funzionamento

$$\frac{\text{totale vendita energia}}{\text{ore di funzionamento}}$$

totale vendita energia –

totale rate annue –

totale costi di esercizio