

# Sistemi di produzione dell'energia da fonte rinnovabile

Mirko Morini

Dipartimento di Ingegneria  
Università degli Studi di Ferrara

---

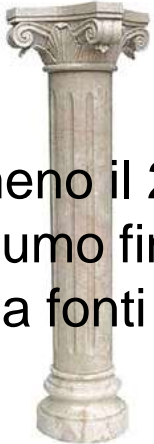
# Politica energetica

L'Unione Europea ha emanato il 23 aprile 2009 una nuova direttiva (2009/28/CE) che costituisce la cornice entro la quale gli Stati membri devono legiferare in termini di politica energetica (l'Italia ha emanato a marzo 2011 il decreto di recepimento).


La nuova politica energetica europea si basa su tre obiettivi che devono essere raggiunti entro il 2020



Incremento del  
20 % dell'efficienza  
energetica



Almeno il 20 %  
del consumo finale lordo  
coperto da fonti rinnovabili



20 % di riduzione  
delle emissioni di  
gas climalteranti

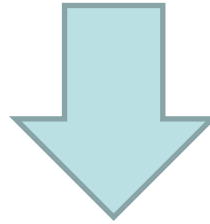
# Il piano di azione nazionale

	2005		2009		2020	
	Potenza installata FER-EE	Produzione Lorda FER-EE	Potenza installata FER-EE	Produzione Lorda FER-EE	Potenza installata FER-EE	Produzione Lorda FER-EE
	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
<b>Idroelettrica*</b>	15.466	43.768	16.458	42.155	17.800	42.000
<b>Geotermica</b>	711	5.325	737	5.342	920	6.750
<b>Solare</b>	34	31	1.142	676	8.600	11.350
<b>Maree e moto ondoso</b>	-	-	-	-	3	5
<b>Eolica*</b>	1.639	2.558	4.898	6.830	12.680	20.000
<b>Biomassa</b>	937	4.675	1.658	7.631	3.820	18.780
<b>Totale</b>	<b>18.787</b>	<b>56.356</b>	<b>24.893</b>	<b>62.634</b>	<b>43.823</b>	<b>98.885</b>

\* La produzione degli impianti idroelettrici e di quelli eolici è normalizzata secondo le regole previste dalla direttiva 28/2009/CE

# La competitività

Nonostante l'aumento del costo dei combustibili fossili , la generazione elettrica da fonte rinnovabile non è competitiva con la generazione tradizionale.



## **INCENTIVI**

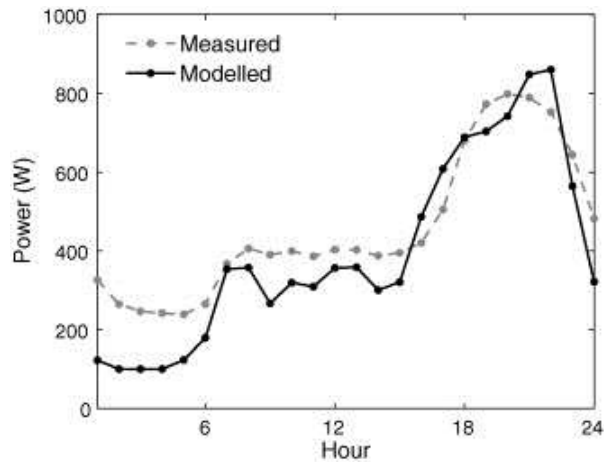
- 1992 – CIP6
- 1999 – Certificati Verdi
- 2005 – Conto Energia
- 2007 – Tariffa Omnicomprensiva
- 2008 – Ritiro Dedicato
- 2009 – Scambio sul Posto
- 2013 – Nuovo regime incentivante

# Costi tecnologici

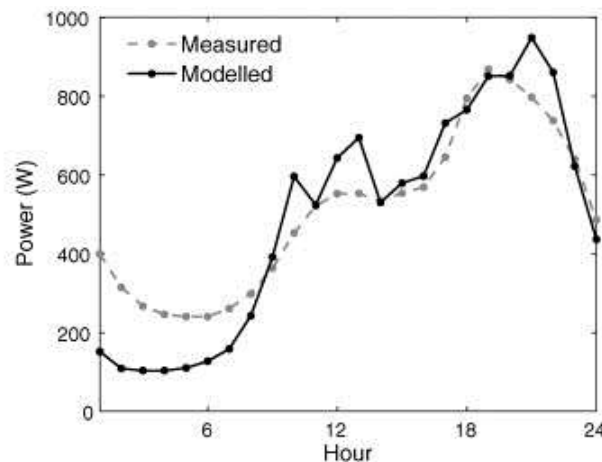
Le fonti quali eolico e solare sono non programmabili e discontinue. La loro penetrazione su larga scala ha dei costi indiretti dovuti all'adeguamento del sistema energetico nazionale.

- Necessità di potenza di riserva.
- Maggior accesso al mercato dei servizi di dispacciamento e aumento del prezzo dell'energia elettrica per il consumatore.
- Le centrali tradizionali devono modulare di più, in prospettiva spegnendosi e accendendosi anche due volte al giorno.
- Aumento del costo di manutenzione e riduzione delle ore di funzionamento con conseguente aumento del peso del costo dell'investimento sul prezzo dell'energia elettrica.
- Aumento dei rischi di congestione della rete.
- Zonalizzazione e aumento del prezzo dell'energia elettrica per il consumatore.

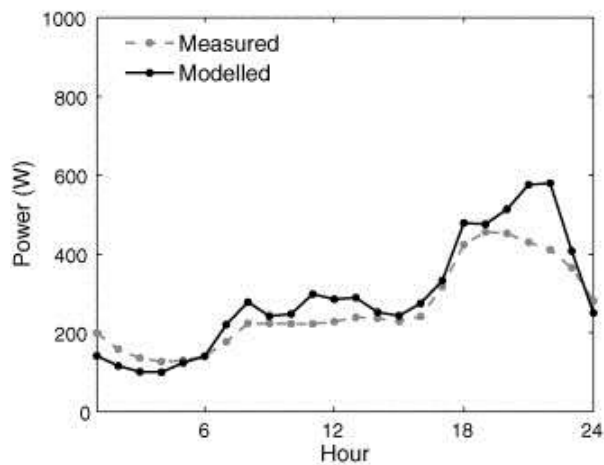
# I profili di fabbisogno elettrico



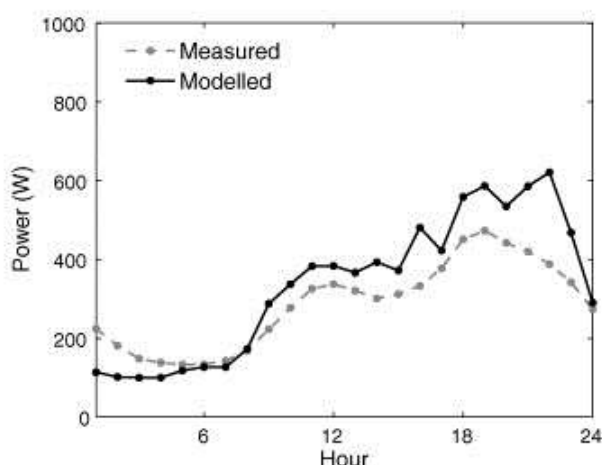
(a) Detached houses, weekday



(b) Detached houses, weekend day



(c) Apartments, weekday



(d) Apartments, weekend day

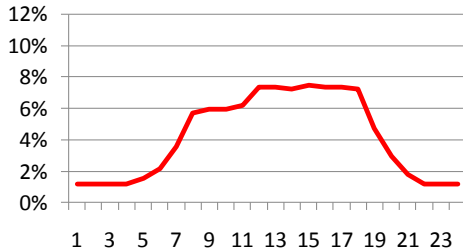
Il fabbisogno di energia elettrica di una utenza (sia domestica, industriale e del terziario) non è costante durante la giornata.

I profili di carico cambiano secondo la tipologia di giorno (feriale o festivo) e dipendentemente dai mesi dell'anno.

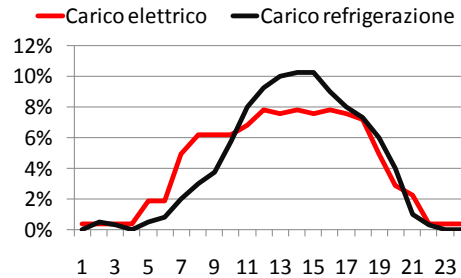
Fonte: Energy and Buildings, Volume 41, Issue 7, July 2009, Pages 753-768

# I profili di fabbisogno elettrico

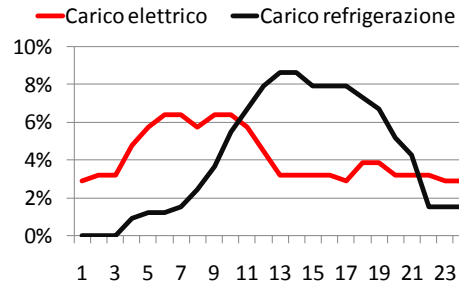
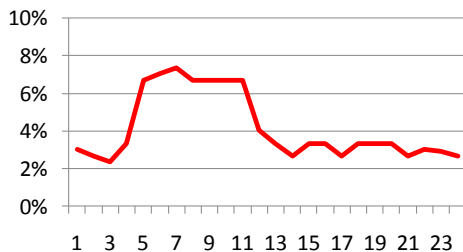
## Periodo invernale



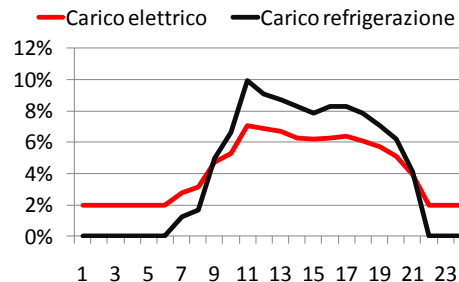
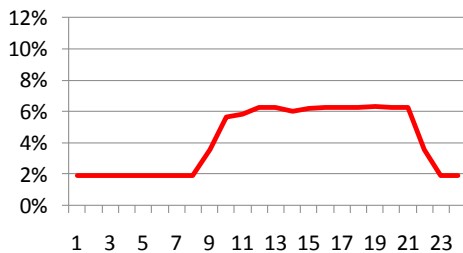
## Periodo estivo



Giorni tipo uffici



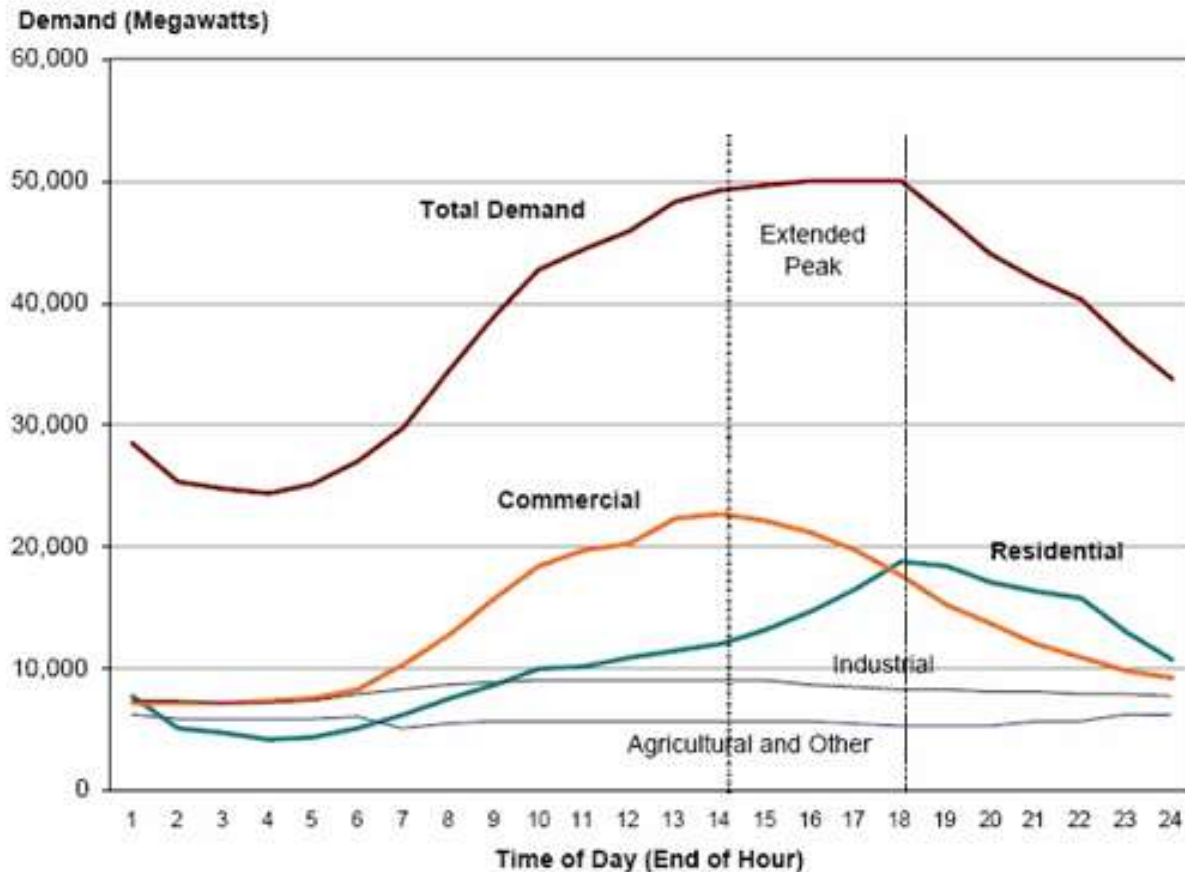
Giorni tipo utenza alberghiera



Giorni tipo centro commerciale

Fonte: Macchi et al, "La microgenerazione a gas naturale", Polipress 2005

# La domanda aggregata

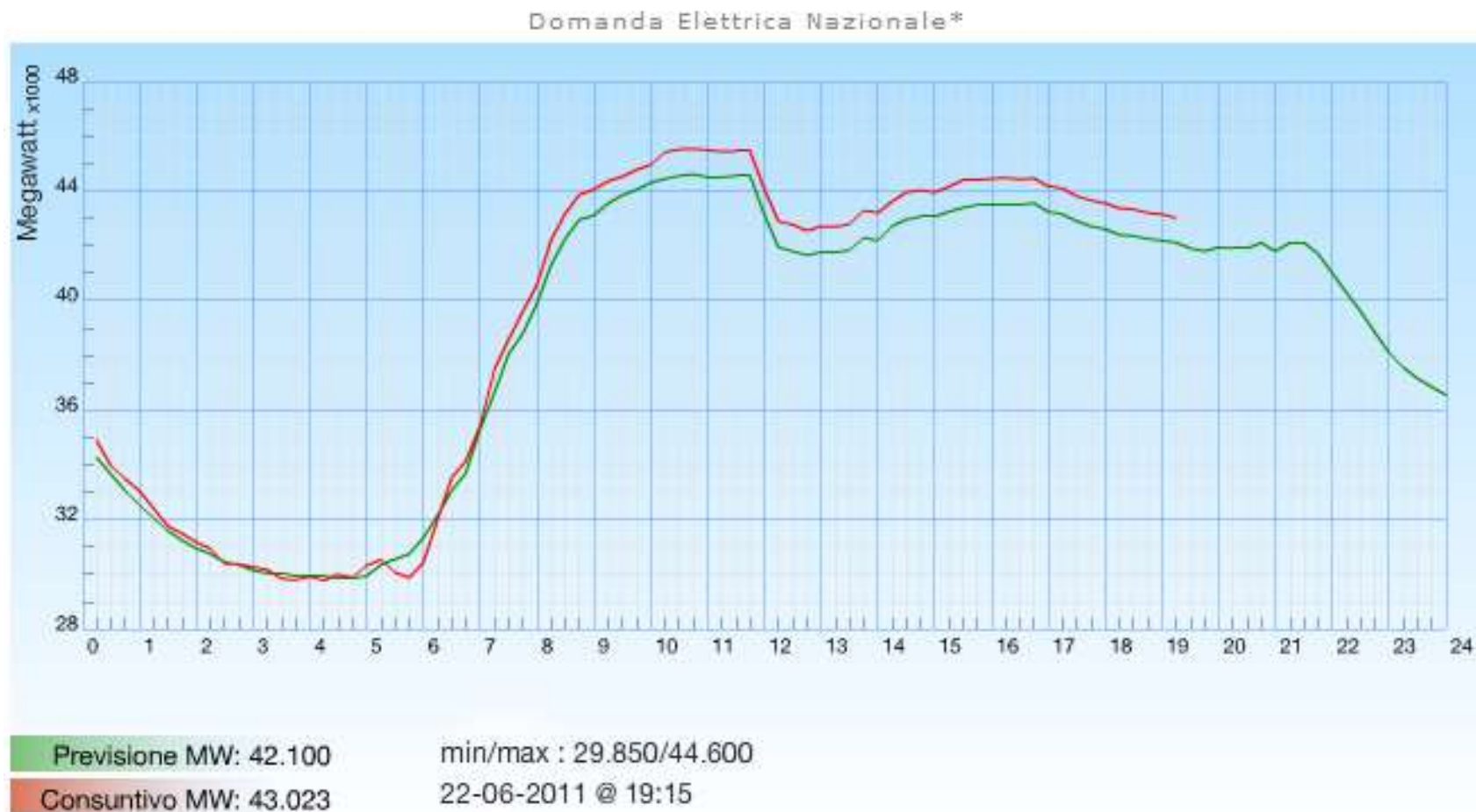


Aggregando i profili delle varie utenze per tipologia si possono individuare dei trend che spianano i picchi.

La somma di tutte le utenze nazionali crea la domanda elettrica nazionale.



# Sostenibilità tecnologica



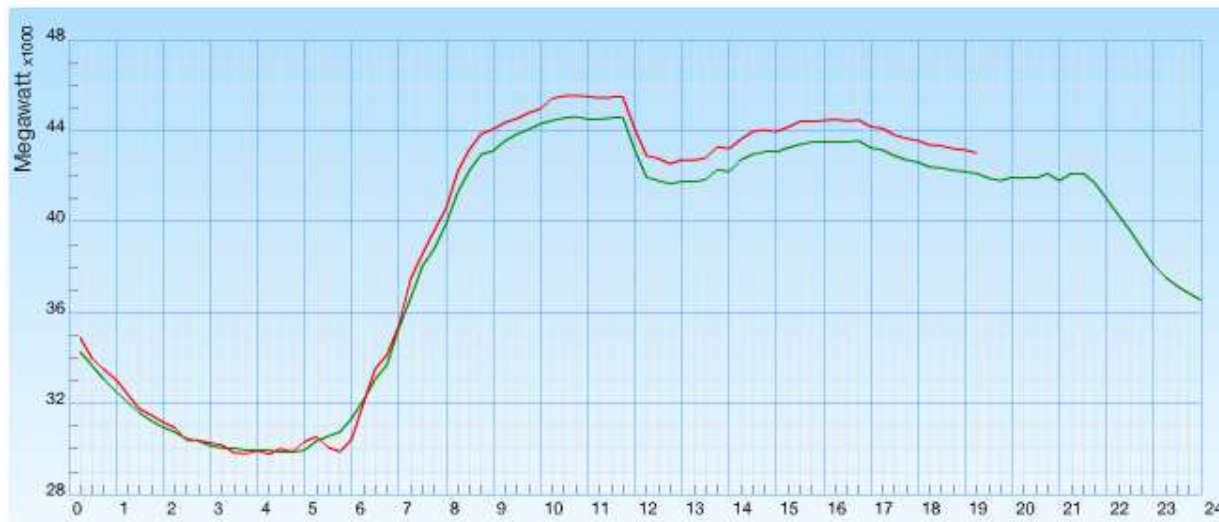
Fonte: [www.terna.it](http://www.terna.it)

# Sostenibilità tecnologica

## Regolazione della frequenza di rete

- l'ente gestore della rete deve garantire l'equilibrio tra la domanda e l'offerta di potenza al fine di mantenere costante la frequenza di rete al valore di 50 Hz

La regolazione è effettuata in primo luogo programmando accensione, spegnimento e variazione di carico delle centrali



# Sostenibilità tecnologica

## Rete a 400 kV



39 427 km di linee

Linee a 380 kV : 9 812 km

Linee a 220 kV : 9 773 km

Linee a < 150 kV : 19 842 km

362 stazioni di trasformazione e smistamento

567 Trasformatori

3 centri di tele conduzione



# L'idroelettrico

---

# Il ciclo dell'acqua



# La stima di produzione mondiale

---

L'entità delle precipitazioni sulla terraferma è di circa 800 mm, le terre emerse sono 149 milioni di km

$$800 * 10^{-3} * 149 * 10^{12} = 119 * 10^{12} \text{ m}^3/\text{anno di precipitazioni}$$

$$70 * 10^{12} \text{ m}^3/\text{anno evaporano}$$

$49 * 10^{12} \text{ m}^3/\text{anno}$  defluiscono con un salto medio di 400-500 m mettendo a disposizione un'energia pari a

$$49 * 10^{12} \text{ m}^3/\text{anno} * 500 \text{ m} * 1000 \text{ kg/m}^3 * 9.81 \text{ kg/s}^2 = 240 * 10^{18} \text{ J/anno}$$

Di questi potenziali 66 666 TWh/anno considerando i rendimenti degli impianti pari a 75-85 % si potrebbero ottenere

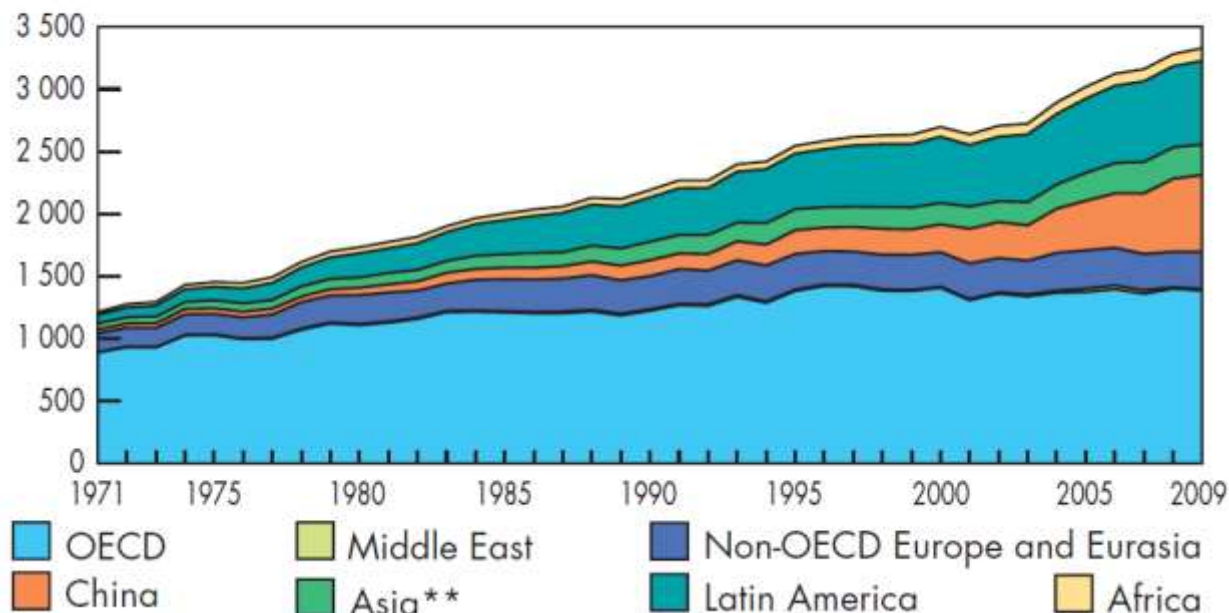
$$66\,666 \text{ TWh/anno} * 85 \% = 56\,666 \text{ TWh/anno}$$

di questo solo il 30-40 % è **tecnicamente** sfruttabile e un 40-50 % di questa frazione è **economicamente** utilizzabile. L'energia elettrica effettivamente producibile da fonte idraulica si riduce a 6000-12000 TWh/anno

# L'idroelettrico nel mondo

Installed capacity	GW
People's Rep. of China	168
United States	100
Brazil	78
Canada	75
Japan	47
Russian Federation	47
India	37
Norway	30
France	25
Italy	21
Rest of the world	324
<b>World</b>	<b>952</b>

Hydro\* production from 1971 to 2009  
by region (TWh)

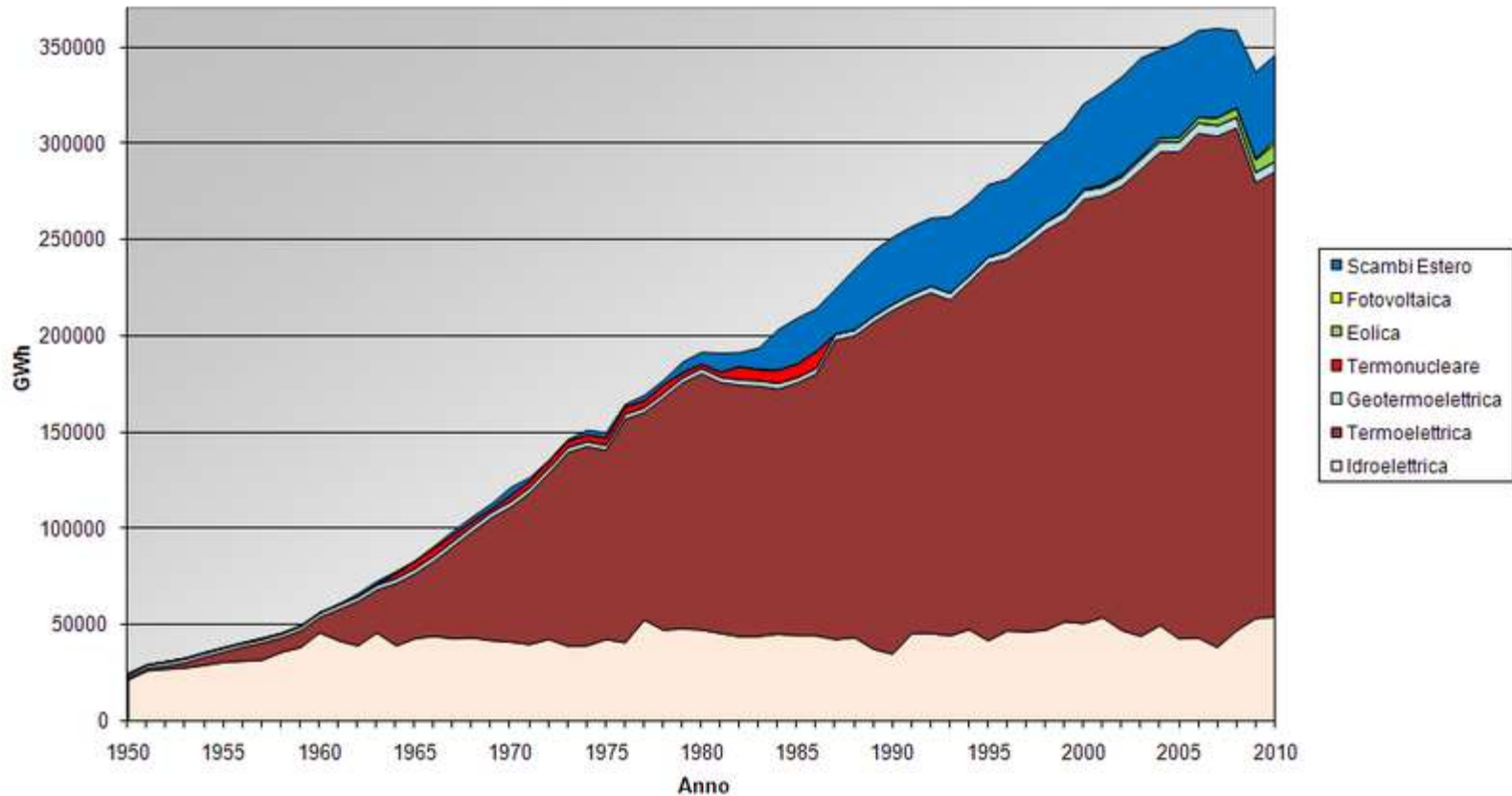


Nel mondo la produzione si attesta a circa 3250 TWh/anno, con una potenza installata di circa 1 TW.

Paesi come la Norvegia producono quasi tutta l'elettricità da fonte idrica.

Country (top-ten producers)	% of hydro in total domestic electricity generation
Norway	95.7
Brazil	83.8
Venezuela	72.8

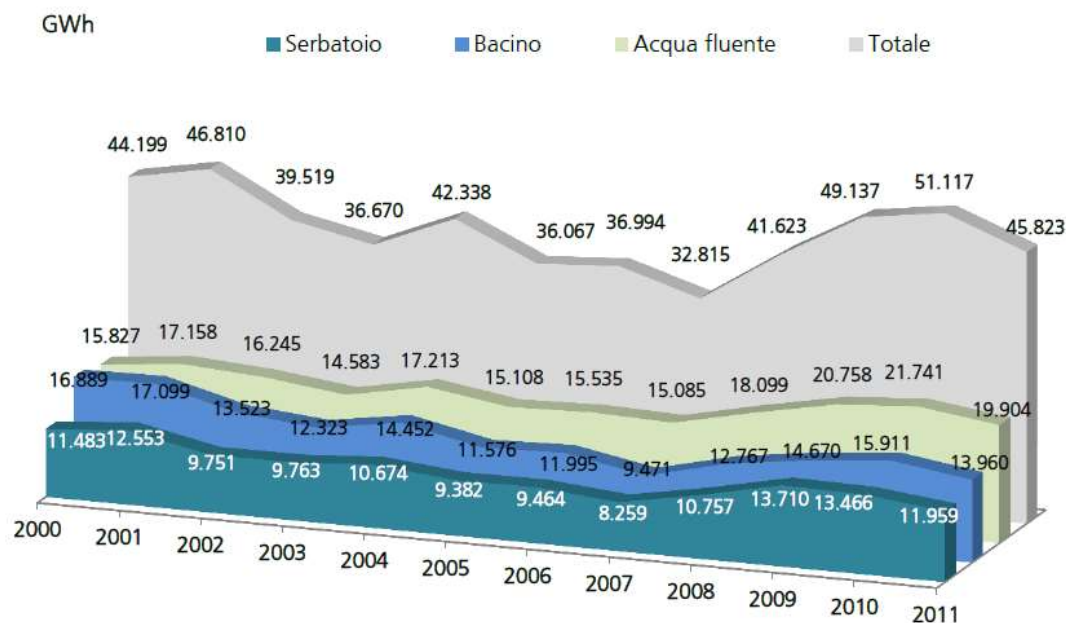
# L'idroelettrico in Italia



Fino alla seconda metà degli anni '60 è stata la prima fonte di produzione dell'energia elettrica, ma da quel momento la produzione è rimasta pressoché costante.



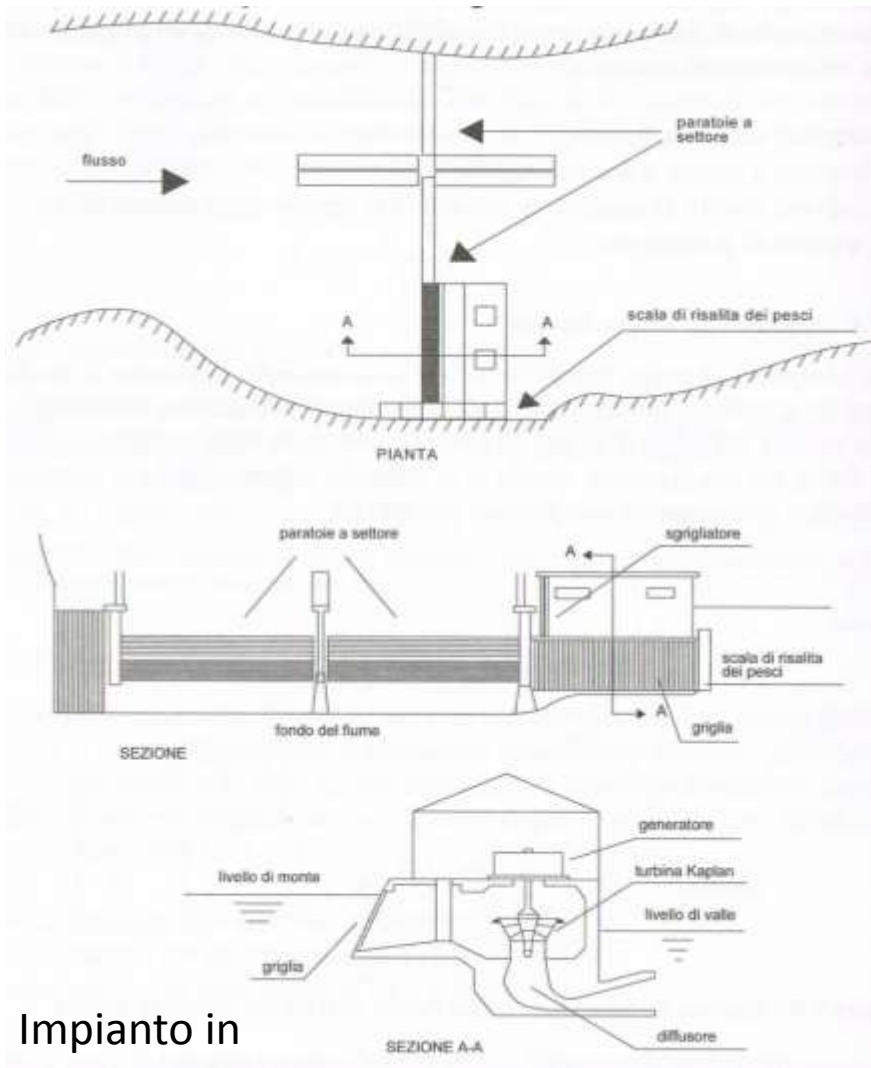
# L'idroelettrico in Italia



Classi di potenza (MW)	2010		2011		2011 / 2010 Variazione %	
	n°	MW	n°	MW	n°	MW
P ≤ 1 MW	1.727	523,5	1.858	567,7	7,6	8,5
1 MW < P ≤ 10 MW	700	2.210,5	743	2.328,3	6,1	5,3
P > 10 MW	302	15.142,2	301	15.196,2	-0,3	0,4
<b>Totale</b>	<b>2.729</b>	<b>17.876,2</b>	<b>2.902</b>	<b>18.092,3</b>	<b>6,3</b>	<b>1,2</b>

Totale impianti installati in Italia per classi di potenza (inclusi gli impianti di pompaggio dei quali viene considerata solo la quota rinnovabile dell'energia prodotta)

# Impianti ad acqua fluente



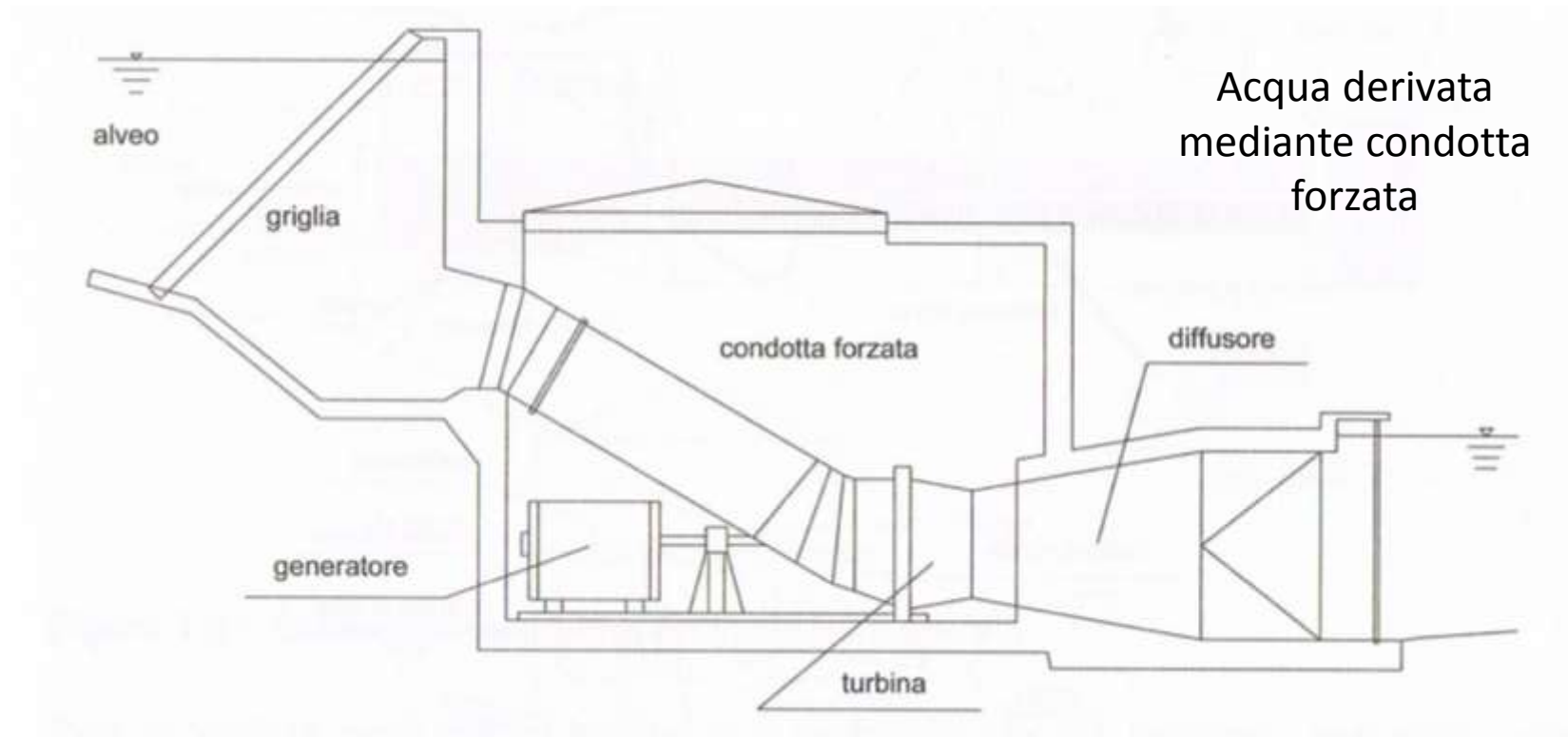
Impianto in alveo con sbarramento

Vengono realizzati lungo il corso di un fiume dal quale, attraverso uno sbarramento provvisto di opere di presa, viene derivata parte della portata.

Questi impianti operano con una portata d'acqua strettamente legata a quella del corso d'acqua e quindi variabile durante l'anno. Possono erogare quindi un servizio "di base" e non "di punta".

Per ragioni economiche l'impianto non viene dimensionato né per la portata massima annua (disponibile solo per pochi giorni) né per la portata minima (si perderebbe troppo potenziale). Il problema di dimensionamento è un problema di ottimizzazione vincolata che trova la soluzione generalmente per portate prossime alla portata media.

# Impianti ad acqua fluente



Tipicamente si tratta di impianti a medio-bassa caduta (15-20 m), ma con portate che possono raggiungere valori molto elevati.

# Impianti ad acqua fluente

---



# Impianti a bacino

---

In questi impianti lo sbarramento viene sostituito da una diga che consente l'accumulo di grandi volumi d'acqua e il successivo prelievo differito nel tempo, anche in accordo con il diagramma di carico della rete elettrica.

Secondo una classificazione normalmente utilizzata si parla di bacino se la durata di invaso (cioè il tempo necessario per fornire all'invaso un volume d'acqua pari alla sua capacità utile) è compresa tra 2 e 400 ore, si parla, invece, di serbatoio quando la durata di invaso è superiore alle 400 ore.

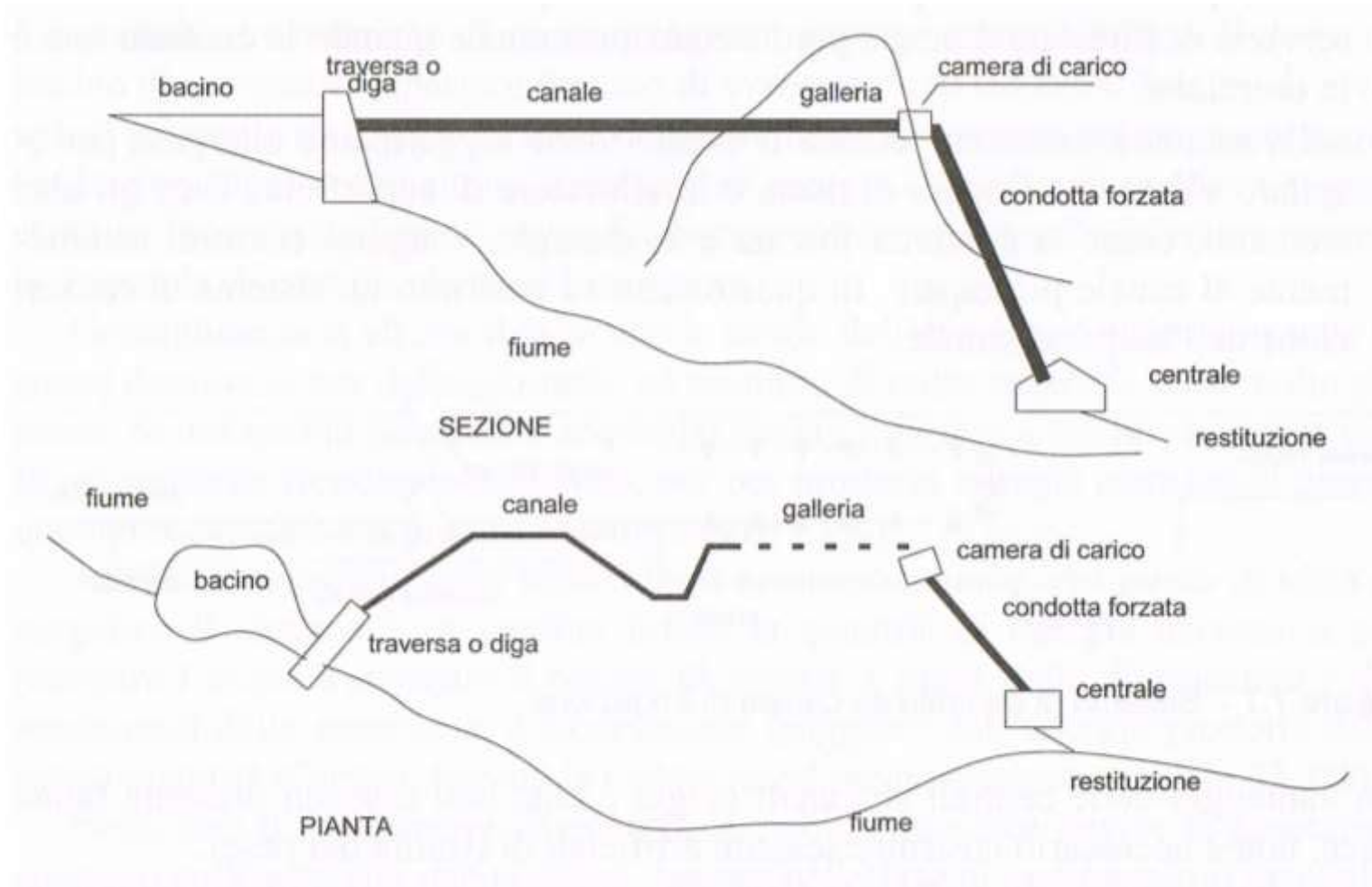
Dimensionando opportunamente il bacino l'impianto idroelettrico può funzionare tutto l'anno a portata costante e quindi in condizioni nominali di progetto.

Questi impianti sono molto flessibili e possono essere messi in funzione nelle ore di punta (più remunerative) dato che il bacino consente uno sfasamento tra la disponibilità di acqua e la produzione elettrica.

Questi impianti che sono generalmente di taglia medio-grande, possono essere costruiti solo se l'orografia del territorio lo consente e a fronte di investimenti molto elevati.

Può succedere che il bacino o il serbatoio sia già stato costruito per altri scopi (controllo delle piene, irrigazione, approvvigionamento acqua potabile, etc.), in questo caso anche piccoli impianti possono essere convenienti.

# Impianti a bacino



# Impianti a bacino

---



# Le turbine

---

Nei moderni impianti idroelettrici la maggior parte delle turbine installate ricade nelle tre tipologie

- turbina Pelton
- turbina Francis
- turbina ad elica (turbina Kaplan)

Le turbine sopra citate hanno caratteristiche costruttive e funzionalità molto diverse tra loro e risultano quindi adatte a condizioni di salto geodetico e portata disponibile differenti.

In linea di massima le turbine Pelton vengono utilizzate per salti geodetici elevati (maggiore di 100 m, fino anche a 1300 m) e portate limitate ( $< 1 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Le turbine ad elica trovano impiego per salti bassi ( $< 10 \text{ m}$ ) ed elevate portate (oltre 5-10  $\text{m}^3/\text{s}$ )

Le turbine Francis sono adatte a situazioni intermedie e riescono a coprire un ampio campo di salti e portate.



# Turbina Pelton

---

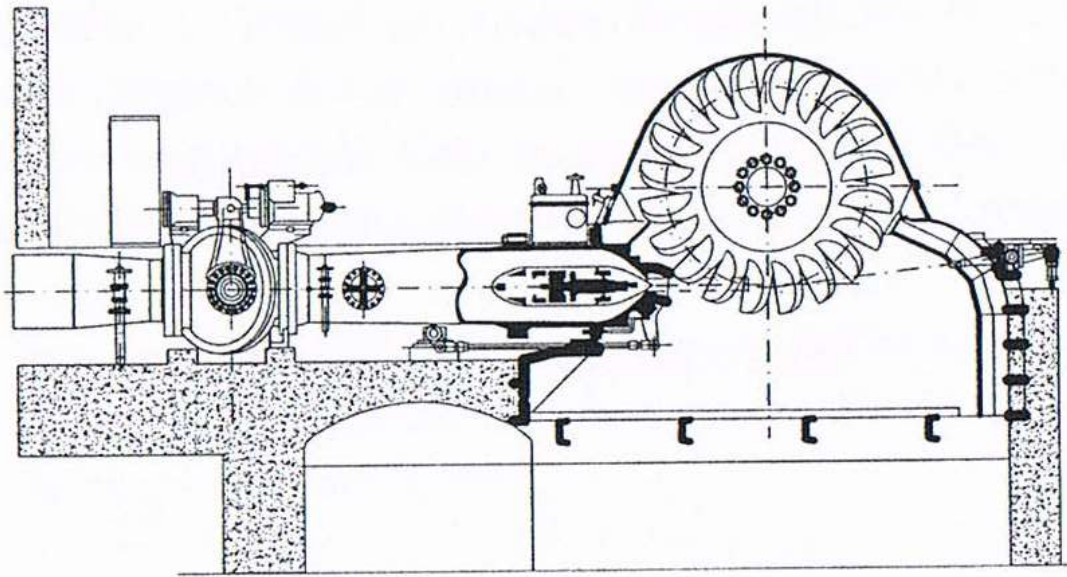


È una turbina ad azione in quanto l'energia potenziale posseduta dall'acqua all'uscita della condotta forzata (disponibile come pressione) viene convertita interamente in energia cinetica mediante un ugello. L'acqua ad alta velocità colpisce le pale della girante che converte l'energia cinetica in energia meccanica.

Le pale hanno la caratteristica forma a doppio cucchiaio. Il getto investe la pala in corrispondenza della zona centrale, si divide in due metà per effetto della presenza del coltello e abbandona ciascuna semipala con un direzione di velocità relativa che è quasi opposta alla direzione di ingresso.

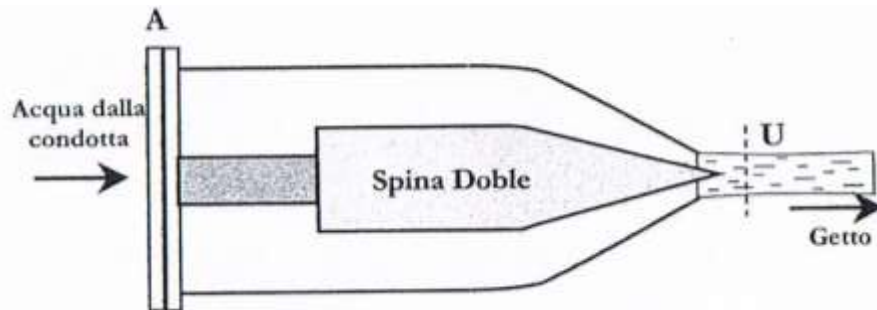
La parte anteriore della pala presenta un apposito intaglio per evitare che il getto incida su ciascuna pala prima che abbia abbandonato completamente la pala precedente.

# Turbina Pelton



Le pale (20-30) sono calettate su una ruota ad asse orizzontale o verticale sulla quale possono operate uno o più getti.

L'intera ruota è chiusa all'interno di una cassa, opera a pressione atmosferica e deve essere installata al di sopra della quota di scarico per permettere all'acqua di abbandonare la turbina.



L'ugello realizza la conversione dell'energia di pressione in energia cinetica con la minima perdita, e regola la sezione di passaggio grazie al movimento longitudinale della spina.

Il rendimento di una Pelton arriva al 90-92 %.

# Turbina Francis

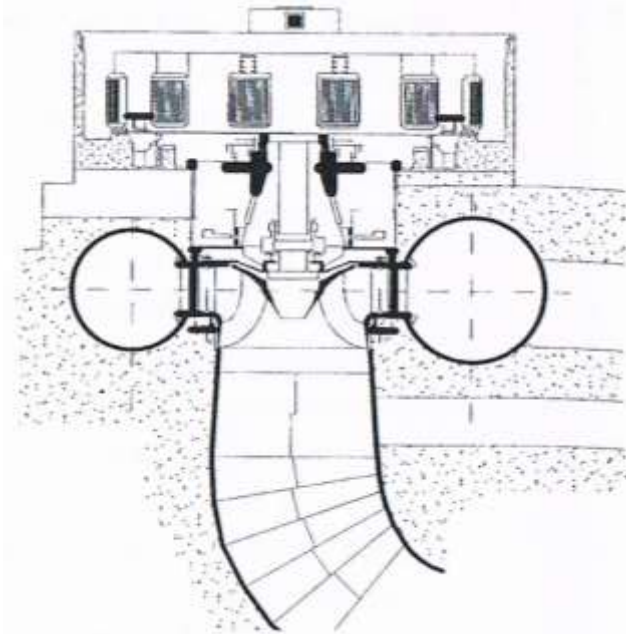
---



Le turbine Francis sono turbine a reazione a flusso radiale con distributore a pale regolabili e girante a pale fisse e vengono molto utilizzate per i medi salti, compresi nell'intervallo 10-350m.

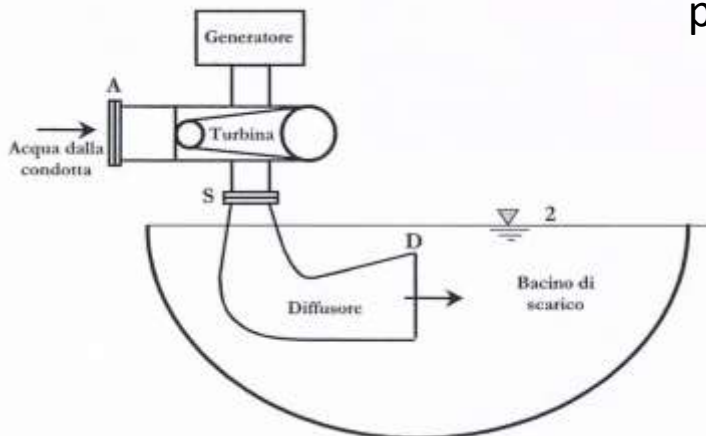
Le turbine Francis avendo la possibilità di funzionamento reversibile possono essere utilizzate in impianti di pompaggio.

# Turbine Francis



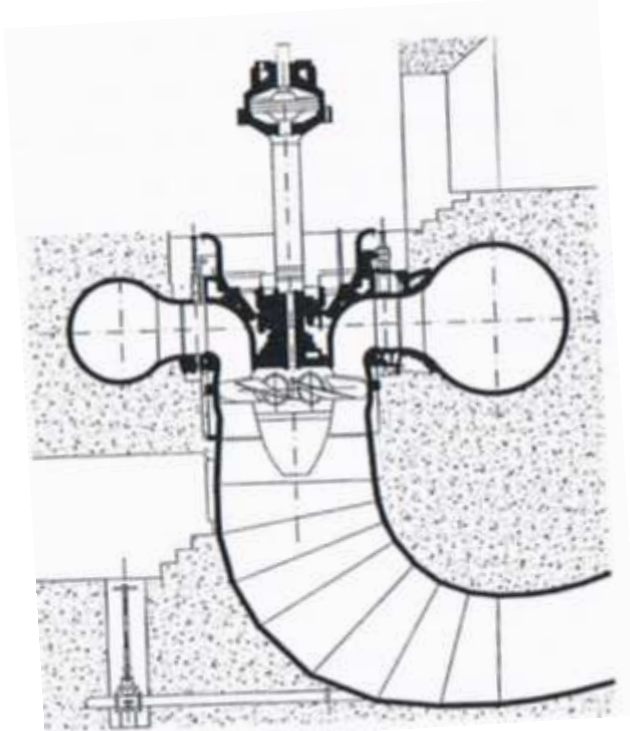
L'acqua in arrivo dalla condotta forzata viene convogliata al distributore mediante una cassa a spirale. Il distributore è provvisto di pale installate all'interno di un condotto circonferenziale rispetto alla girante. Le pale (10-20) sono conformate in modo da convertire parzialmente l'energia di pressione in energia cinetica in accordo con il grado di reazione della turbina. Le pale sono dotate di un sistema di regolazione del calettamento che consente di variare la portata elaborata.

La girante effettua la conversione dell'energia cinetica e dell'energia potenziale in energia meccanica attraverso la palettatura rotorica (10-20 pale).



Al fine di recuperare l'energia cinetica residua e la differenza di quota tra la girante e il pelo libero le Francis (così come le Kaplan) sono provviste di diffusore allo scarico. Condotto divergente che permette alla turbina di espandere fino a pressioni minori di quella atmosferica.

# Turbina Kaplan



Sono macchine a reazione a flusso completamente assiale.

Il flusso viene convogliato mediante un condotto a spirale, attraversa il distributore a pale orientabili, la girante e il diffusore.

La girante è dotata di poche pale, conformate ad elica, e provviste di sistema di regolazione del calettamento.

Il rendimento è alto (90-92 %) e grazie alla regolazione del calettamento si mantiene elevato fino a portate pari al 50 % della portata nominale)

# Moto ondoso

---

# Le caratteristiche del moto ondoso

---

L'energia delle onde marine deriva dal movimento dell'acqua in prossimità della superficie libera del mare che può essere di tipo oscillatorio o circolare.

Le onde si formano per il passaggio del vento sulla superficie degli oceani. Queste onde possono viaggiare per migliaia di chilometri senza dissipare troppa energia.

In prossimità della costa le onde subiscono una riduzione di energia a causa dell'interazione con il fondale. Tale riduzione può essere compensata da effetti di concentrazione ed amplificazione generate da rifrazione e riflessione delle onde stesse a causa dell'interazione con la costa.

# L'energia delle onde

---

In genere il livello di energia delle onde è espresso come potenza per unità di lunghezza (nella direzione della cresta dell'onda o nella direzione della costa a seconda che si parli di applicazioni in mare aperto o costali).

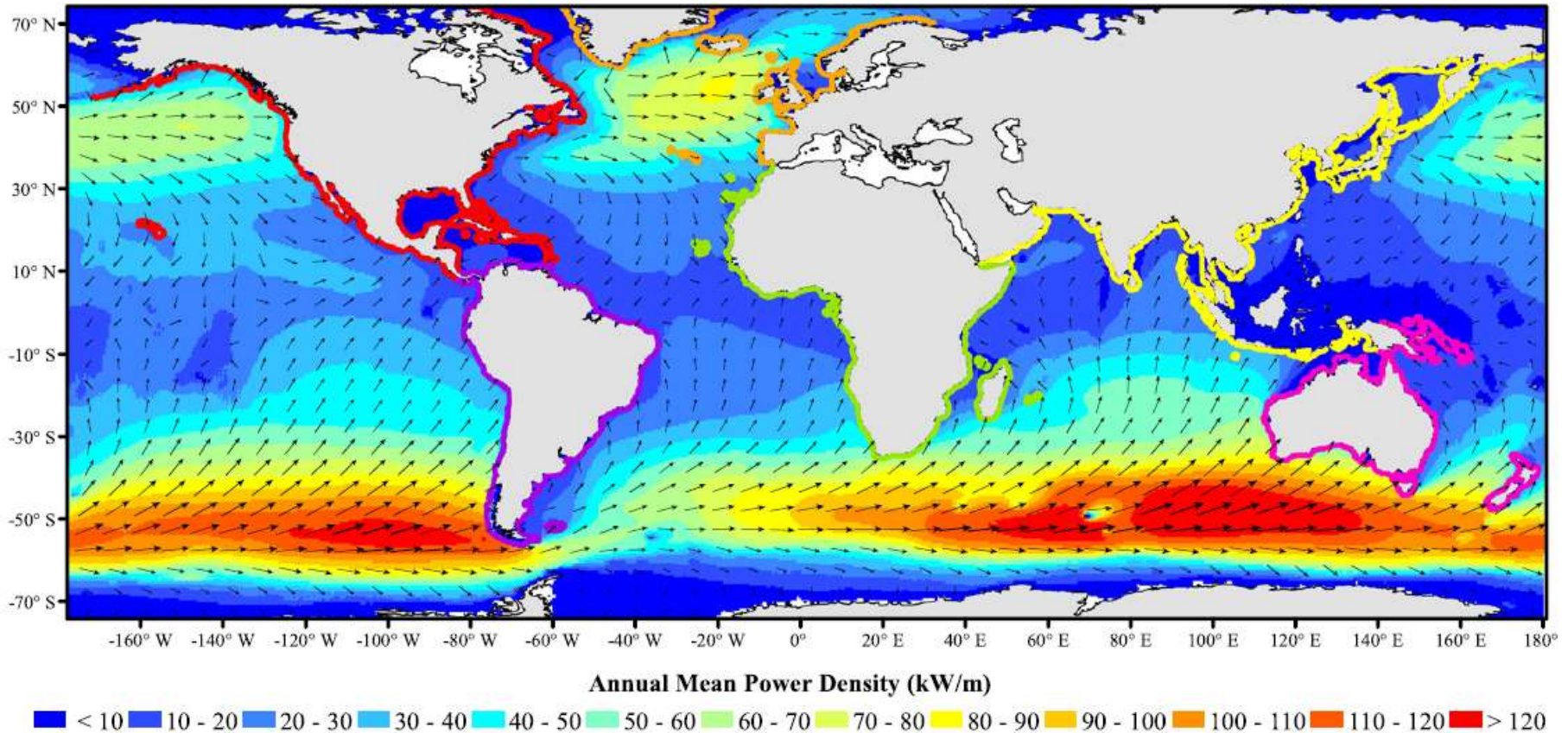
Valori tipici (come media annua) per buone località in mare aperto variano tra 20 kW/m e 70 kW/m e in genere si trovano a latitudini medio/alte.

La variazione stagionale è maggiore in nell'emisfero nord piuttosto che in quello sud, per questo le coste del Sud America, Africa e Australia sono particolarmente attraenti per lo sfruttamento dell'energia delle onde per la generazione elettrica.

Diversi studi sono stati presentati per il censimento dell'energia disponibile. Uno strumento molto importante in Europa è il WERATLAS, nel quale sono censiti 85 punti sull'Atlantico e nel Mediterraneo. Attraverso modelli di interazione vento-onde validati da misurazioni sperimentali il WERATLAS dà indicazioni fondamentali per la progettazione di sistemi per lo sfruttamento delle onde in Europa.

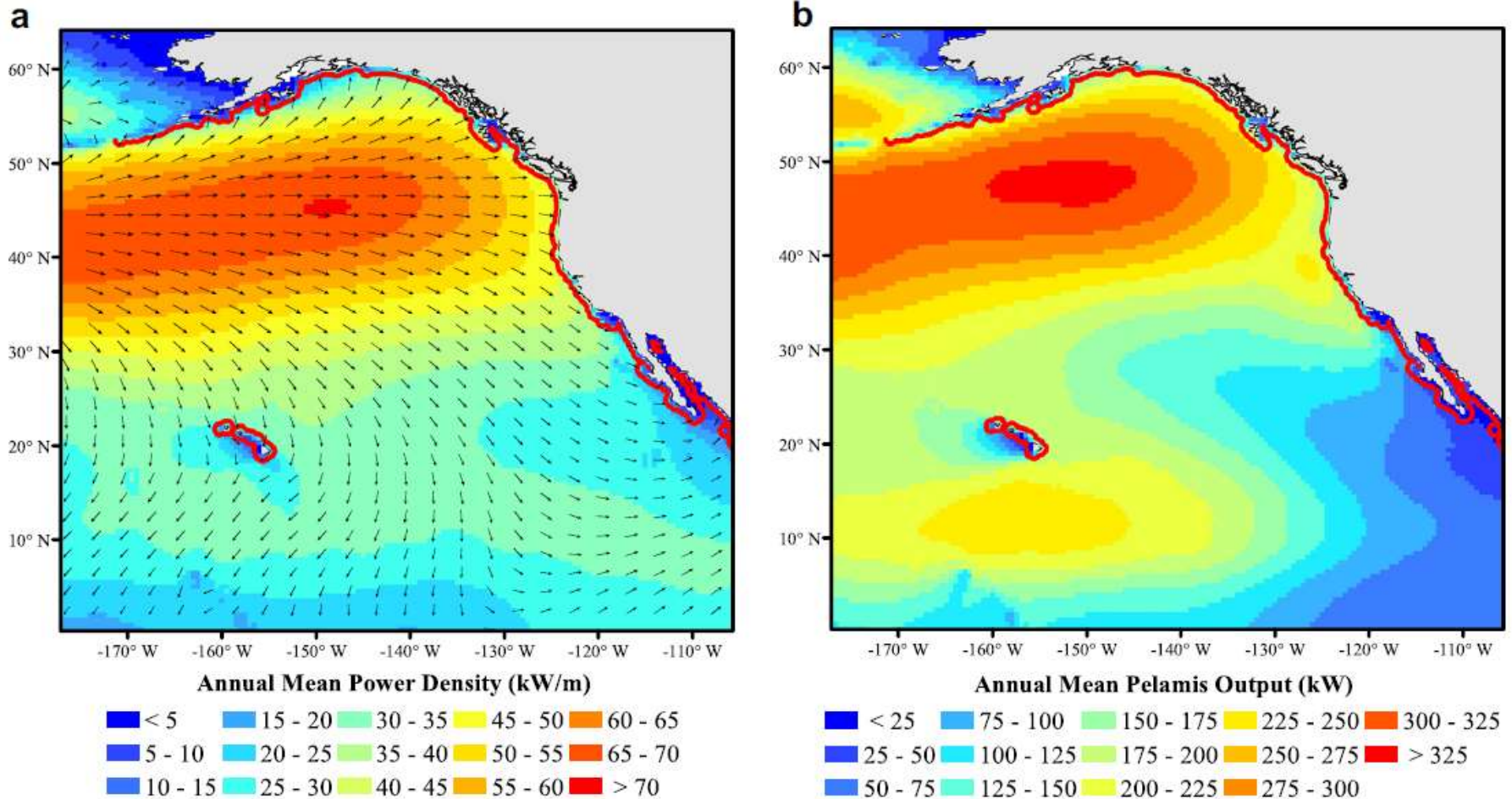


# L'energia delle onde



Stima della densità di potenza media annua

# La produzione di energia



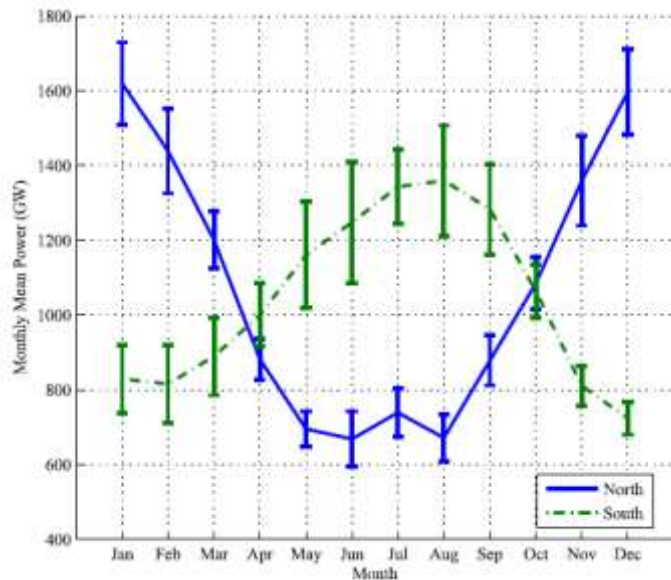
A seconda del dispositivo utilizzato per la conversione dalla densità di potenza si può stimare la potenza erogata e l'energia prodotta.

# La stima di produzione

Si stima che la potenza media delle onde incidenti sulle coste oceaniche sia pari a  
2.11 TW

La potenza producibile è stata valutata in  
96.6 GW

La potenza incidente non  
è costante durante l'anno



Resource and yield estimates for selected countries ( $\pm 95\%$  confidence intervals).

Country	$P$ (GW)	$\Psi$ (GW)	$\eta_{\Psi}$ (%)
Australia	$280 \pm 13$	$8.3 \pm 0.2$	3.0
United States	$223 \pm 12$	$3.59 \pm 0.17$	1.6
Chile	$194 \pm 11$	$4.62 \pm 0.17$	2.4
New Zealand	$89 \pm 16$	$3.51 \pm 0.16$	4.0
Canada	$83 \pm 7$	$5.13 \pm 0.19$	6.2
South Africa	$69 \pm 4$	$2.17 \pm 0.08$	3.1
United Kingdom	$43 \pm 4$	$2.44 \pm 0.14$	5.7
Ireland	$29 \pm 4$	$1.13 \pm 0.09$	3.8
Norway	$29 \pm 4$	$1.67 \pm 0.12$	5.7
Spain	$20 \pm 3$	$0.65 \pm 0.05$	3.3
Portugal	$15 \pm 2$	$0.49 \pm 0.04$	3.2
France	$14 \pm 3$	$0.57 \pm 0.06$	3.9

L'Australia potrebbe coprire il 30 % del suo attuale consumo di energia elettrica (243.96 TWh) con energia elettrica da moto ondoso.

# I dispositivi per moto ondoso

---

Il primo dispositivo per lo sfruttamento dell'energia da moto ondoso fu brevettato in Francia nel 1799 da Girard padre e figlio. L'energia delle onde era convertita in energia meccanica per trascinare pompe, seghe, mulini etc.

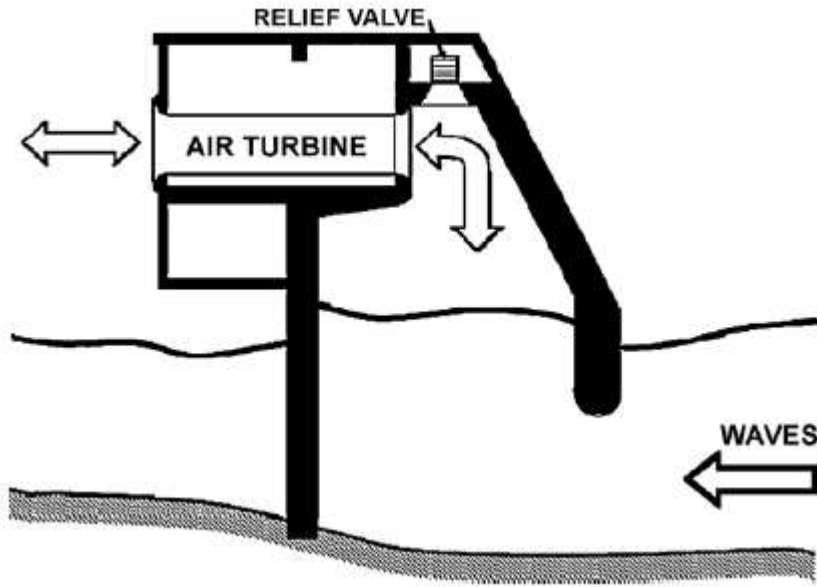
I dispositivi moderni possono essere considerati tutti figli della boa inventata negli anni '40 da Yoshio Masuda. La boa era alimentata da una turbina ad aria secondo il principio della colonna d'acqua oscillante (oscillating water column, OWC).

La crisi petrolifera degli anni '70 ha rinverdito l'interesse nello sfruttamento di questa energia su larga scala. In quegli anni Gran Bretagna e Norvegia hanno fatto partire imponenti programmi di ricerca.

Un'altra spinta alla ricerca in questo campo è stata data dall'Unione Europea che dal 1991 ha inserito tra gli obiettivi dei propri programmi comunitari lo sfruttamento dell'energia delle onde.

Negli ultimi anni anche Stati Uniti e Canada hanno individuato in questa fonte una possibile alternativa per il futuro.

# Captatori OWC a struttura fissa



I captatori OWC a struttura fissa in genere sono appoggiati sul fondo del mare o fissati alle scogliere. I dispositivi sulla linea di costa hanno il vantaggio di una installazione e manutenzione semplice e non richiedono ormeggi e lunghi cavi elettrici di trasmissione.

La scarsa energia delle onde sulla costa può essere mitigata dagli effetti di rifrazione e diffrazione.

Questi sistemi sono formati da una struttura in cemento armato o acciaio parzialmente sommersa aperta sotto la superficie dell'acqua. L'aria rimane intrappolata nel volume raccolto tra la superficie dell'acqua e la struttura.

Il moto oscillatorio della superficie interna dell'acqua prodotto dalle onde incidenti fa sì che l'aria fluisca con moto alternato attraverso una turbina che trascina un generatore elettrico.

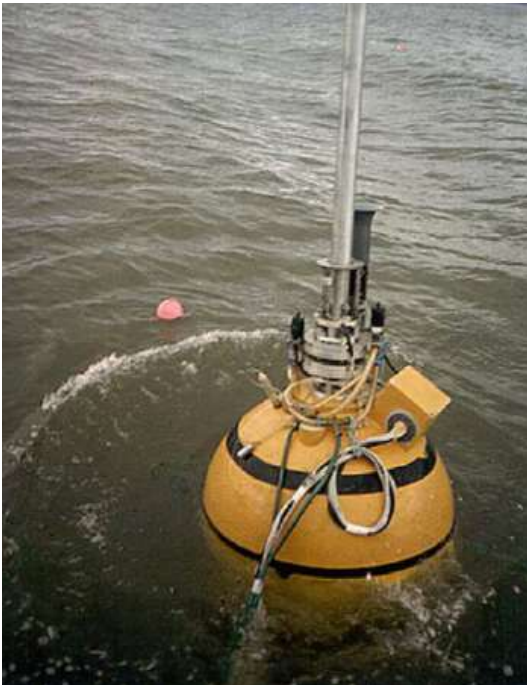
# Captatori a corpi oscillanti

---

## Captatori a corpo singolo

In questi sistemi una boa oscilla per moto sussultorio rispetto ad un sistema di riferimento fisso. Nella maggior parte dei casi questi sono assorbitori puntuali.

Uno dei primi prototipi (Tokyo, 1980) fu il G-1T che consisteva in una boa cuneiforme a base rettangolare il cui moto verticale era guidato da una struttura in metallo fissata ad un frangiflutti. La macchina per la conversione era un pistone idraulico.



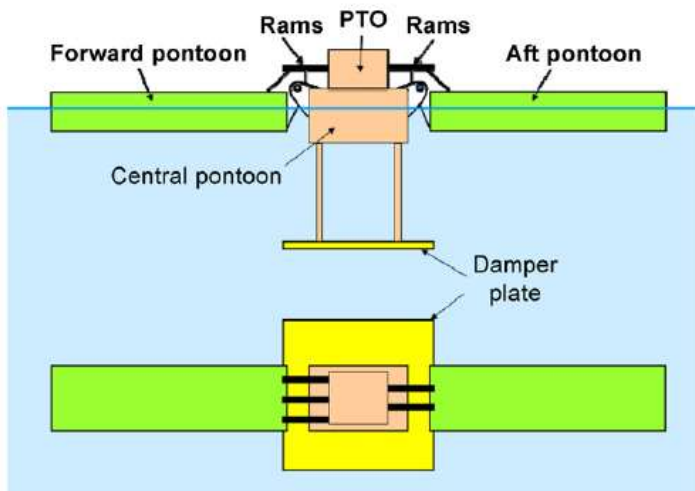
Un altro sistema è la Norwegian Buoy (a lato) consistente in un galleggiante di forma sferica che può oscillare rispetto ad una struttura metallica ancorata. La boa può essere controllata in fase e come macchina per la conversione montava una turbina ad aria.

# Captatori a corpi oscillanti

Un'altra tipologia utilizza una serie di zattere incernierate tra loro che seguono il profilo dell'onda. In ogni cerniera è sistemato un sistema idraulico di conversione.



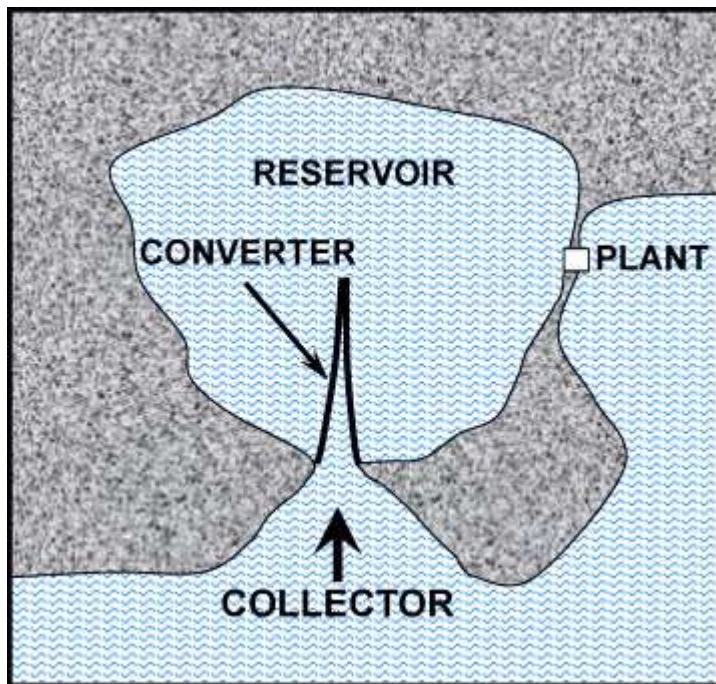
Questo principio è sfruttato nel Pelamis, composto da quattro sezioni cilindriche concatenate nella direzione di propagazione dell'onda. Nei giunti pistoni idraulici pompano olio per alimentare i motori idraulici e i generatori. L'accumulo di energia è fornito da gas in pressione.



Un altro sistema è la McCabe Wave Pump. Due zattere rettangolari di metallo sono collegate ad un galleggiante centrale il cui moto sussultorio alimenta i pistoni idraulici.

# Captatori Overtopping

È un modo di convertire l'energia delle onde che sfrutta un principio completamente diverso rispetto a quelli visti finora. In questa tipologia di impianti si cattura l'acqua che è nei pressi della cresta dell'onda (e che quindi ha elevata energia potenziale) e la si stocca in un serbatoio in quota rispetto al livello dell'acqua. L'energia potenziale stoccata è utilizzata per trascinare delle turbine idrauliche a basso salto.



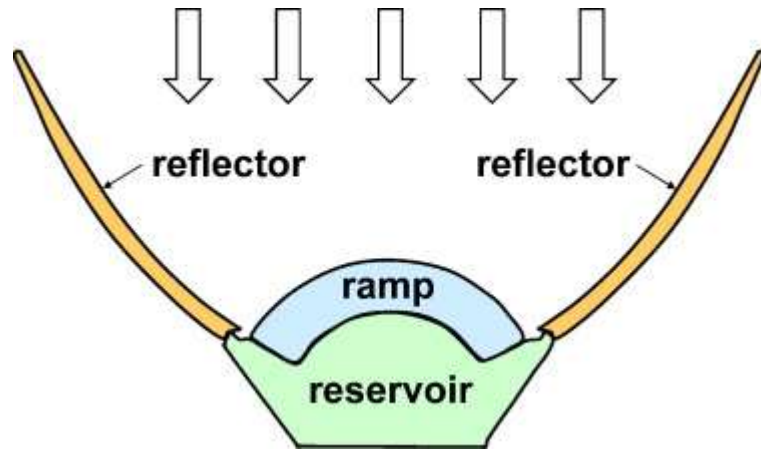
Il sistema Tapchan sviluppato negli anni '80 in Norvegia è un esempio.

Un collettore concentra le onde amplificandone l'ampiezza. Le creste delle onde vengono raccolte nel serbatoio.

L'impianto di conversione consiste in una tradizionale turbina Kaplan.



# Captatori Overtopping



In altri sistemi come il Wave Dragon le onde incidenti devono superare una rampa per essere poi stoccate in un serbatoio.

Il Wave Dragon è una struttura galleggiante nella quale i riflettori concentrano le onde verso una rampa a doppia curvatura, un serbatoio e una serie di turbine idrauliche per salti bassi.



Il Seawave Slot-Cone Generator si basa sul principio dell'overtopping. Attraverso fenditure a diverse quote vengono riempiti dei serbatoi che alimentano turbine idrauliche coassiali.

# Maree

---

# L'energia dalle maree

---

L'energia dalle maree ha il potenziale per giocare un ruolo di rilievo in un futuro di energia sostenibile.

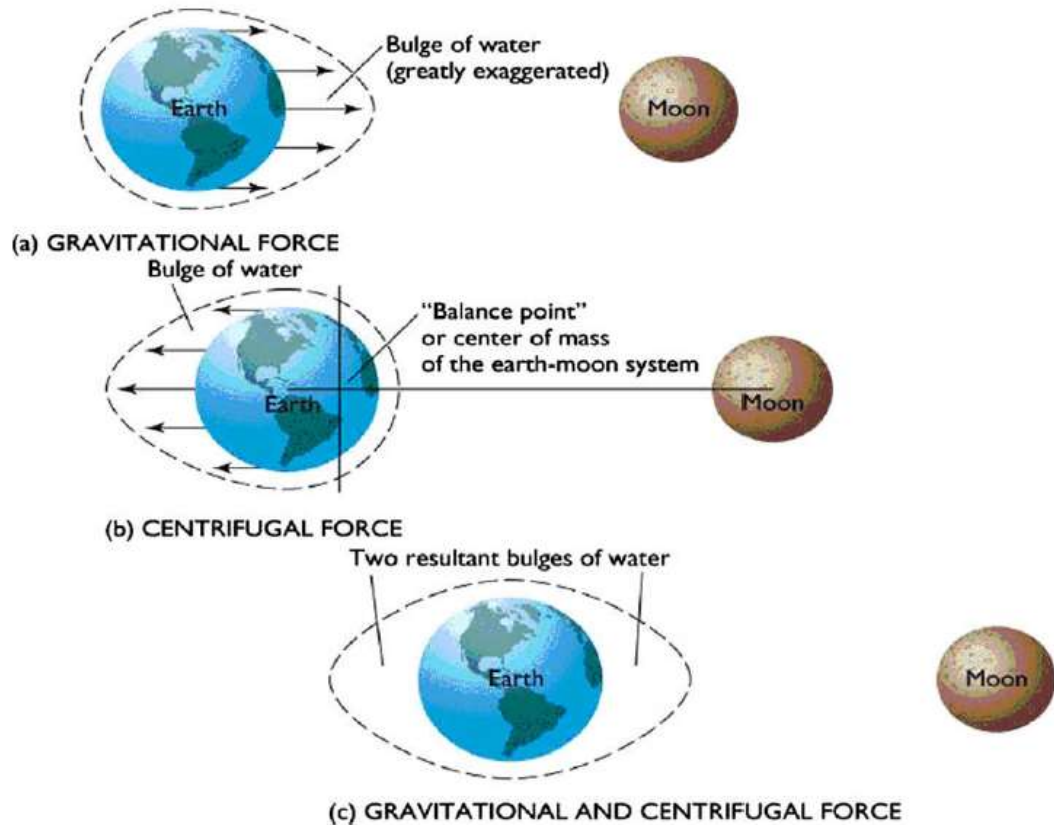
E' una fonte energetica estremamente prevedibile, dipendendo solamente dall'interazione gravitazionale della Terra con Luna e Sole e dalla forza centrifuga dovuta alla rotazione del sistema Terra-Luna.

Il primo esempio di sfruttamento delle maree per produzione di energia è la centrale di La Rance in Francia attiva dal 1967.

Lo sfruttamento dell'energia potenziale delle maree è una tecnologia consolidata che ha applicazioni commerciali, mentre la ricerca si sta concentrando sullo sfruttamento dell'energia cinetica associata allo spostamento dell'acqua.

Questa seconda tecnologia si può stimare che sia 15 anni indietro rispetto alla tecnologia per lo sfruttamento dell'energia eolica rispetto alla quale ha molte similitudini.

# Il principio fisico



Il sole può rafforzare o indebolire l'effetto gravitazionale della Luna a seconda della sua posizione.

Le maree sono il regolare (in cicli di 24 h 50 min) innalzamento e abbassamento della superficie dei mari dovuto all'attrazione gravitazionale della Luna e del Sole e alla forza centrifuga dovuta alla rotazione del sistema Terra-Luna.

Un rigonfiamento è creato dall'interazione gravitazionale, mentre un altro dall'interazione dovuta alla rotazione reciproca. Quando la terra ferma si trova sulla congiungente Terra-Luna (2 volte al giorno) l'acqua tende ad ammassarsi e si ha alta marea, quando la terra ferma è a  $90^\circ$  (due volte al giorno) si ha bassa marea.

# Il principio fisico

---

L'innalzarsi e l'abbassarsi del livello del mare provoca delle correnti di flusso (flow) e riflusso (ebb) nelle zone costiere e nelle zone in cui il flusso deve attraversare canali stretti.

La velocità della corrente in entrambe le direzioni varia da zero fino ad un massimo. La velocità nulla si riferisce al periodo di stagnazione che si frammezza tra un flusso e un riflusso e viceversa.

Si stima che la potenza dissipata a livello globale sulle coste sia pari a 2.5 TW.

Esistono quindi due classi di tecnologie per lo sfruttamento dell'energia delle maree

- i sistemi a sbarramento che sfruttano l'energia potenziale
- le turbine per le correnti di marea che sfruttano l'energia cinetica

# Sistemi a sbarramento

---

I sistemi a sbarramento utilizzano l'energia potenziale delle maree. Lo sbarramento è tipicamente costituito da una diga costruita su di una baia o sull'estuario di un fiume sul quale si verificano escursioni di marea superiori a 5 m.

Il principio di conversione è lo stesso utilizzato per la generazione da fonte idroelettrica, con l'eccezione che il flusso dell'acqua potrebbe essere alternativamente in entrambe le direzioni.

Esistono due tipologie di impianti:

- a singolo bacino
  - generazione in riflusso
  - generazione in flusso
  - generazione bidirezionale
- a doppio bacino

# Sistemi a singolo bacino

---

Una diga separa un bacino dal mare aperto. Si possono individuare tre modalità operative:

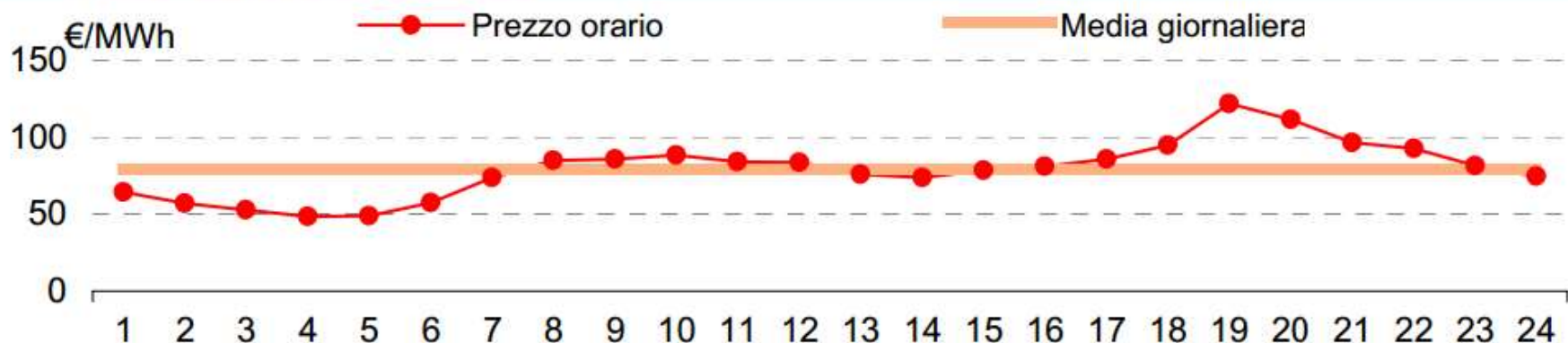
- generazione in riflusso: il bacino è riempito durante la fase di flusso attraverso apposite canalizzazioni che vengono chiuse al raggiungimento dell'alta marea (a canali chiusi ulteriore acqua può essere pompata attraverso la diga). In fase di riflusso, raggiunto un livello del mare sufficientemente basso da creare un salto adeguato sulla macchina idraulica l'acqua viene fatta fluire dal bacino interno all'esterno attraverso la turbina generando energia finché il livello interno non si è abbassato.
- generazione in flusso: le canalizzazioni e le turbine vengono tenute chiuse durante la fase di flusso finché all'esterno non si raggiunge un'altezza tale da garantire produzione di energia. Le turbine sono poi aperte e permettono all'acqua di fluire all'interno del bacino.
- generazione bidirezionale: le canalizzazioni e le turbine sono chiuse finché non ci si avvicina all'alta marea, vengono aperte le turbine e l'acqua fluisce all'interno generando energia. Quando il battente non è più sufficiente si aprono le canalizzazioni per riempire completamente il bacino interno. Si chiudono le canalizzazioni e in bassa marea si riaprono le turbine. Questa modalità permette uno sfruttamento del sistema di generazione per un tempo maggiore durante la giornata.

# Sistemi a doppio bacino

Questi sistemi utilizzano due bacini, il bacino principale è lo stesso dei sistemi a generazione in riflusso a singolo bacino. La differenza sta nel fatto che una parte dell'energia elettrica prodotta durante la fase di riflusso è utilizzata per pompare acqua nel secondo bacino.

L'acqua nel secondo bacino è utilizzata per la generazione nelle ore di picco. E' quindi un sistema analogo agli impianti idroelettrici di pompaggio.

## Prezzo di acquisto





# Lo stato dell'arte

---



La Rance, Francia: è stato per molto tempo l'impianto più grande al mondo con una potenza di 240 MW. Attivo dal 1967 è situato sul fiume Rance in Bretagna. Lo sbarramento è lungo 720 m e racchiude un'area di 22 km<sup>2</sup>. 24 turbine operano con un dislivello di 5 m in generazione bidirezionale e pompaggio.

L'impianto produce circa 480 GWh all'anno.



Annapolis, Canada: costruito tra il 1980 e il 1984 è un progetto pilota sulla baia che registra la più alta marea al mondo (16 m). Ha una potenza di 20 MW e produce 30 GWh all'anno.

# Lo stato dell'arte

---



Kislaya Guba, Russia: progetto pilota di potenza 400 kW in un fiordo della penisola di Kola vicino a Murmansk in Russia.



Sihwa Lake, Corea: inaugurato due anni fa è oggi il più grande impianto con la potenza di 254 MW. Sfrutta uno sbarramento costruito nel 1994 per la mitigazione delle maree e per scopi agricoli. Funziona solo con il flusso di marea.

Jangxia Creek, China: è coeva della centrale di La Rance e ha una potenza di 500 kW.

# Turbine per correnti di marea

---

Le turbine per correnti di marea estraggono l'energia cinetica dall'acqua in movimento per generare energia elettrica. Questa tecnologia è molto simile alla tecnologia eolica.

L'acqua però è circa 800 volte più densa dell'aria e generalmente le velocità sono molto minori. Le turbine per maree sono soggette a forze e momenti maggiori rispetto alle turbine eoliche. Bisogna anche considerare che a differenza delle turbine eoliche le turbine per maree sono prossime alla superficie dell'acqua.

Esistono due tipologie di turbine:

- turbine ad asse orizzontale, le pale ruotano su di un asse parallelo alla direzione del flusso d'acqua;
- turbine ad asse verticale, le pale ruotano su di un asse perpendicolare alla direzione del flusso d'acqua.

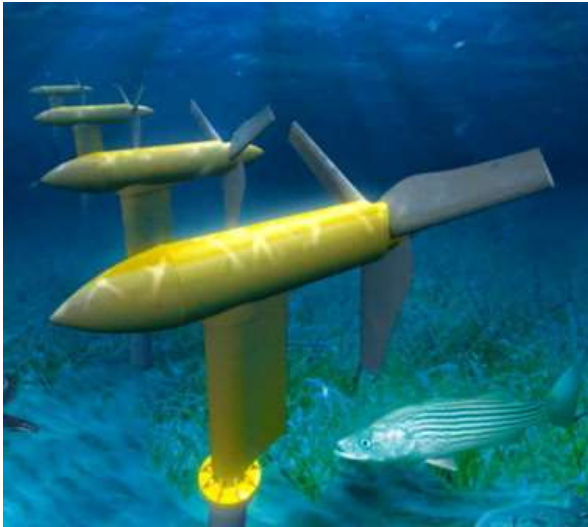
Le turbine sono composte da un rotore (pale e mozzo), un ingranaggio e un generatore. Tutto è montato su un supporto che deve sopportare le gravose condizioni ambientali.

Esistono tre tipi di supporto:

- a gravità, una grossa massa di acciaio o cemento armato alla base della turbina;
- strutture impilate, fissata al fondo del mare con travi di acciaio o cemento armato;
- strutture galleggianti, ormeggiate sul fondo del mare.

# Le turbine

---



Free Flow turbine: tre pale ad asse orizzontale con un diametro di 4.68 m genera 1 MWh al giorno nell'East River di New York.



Gorlov Helical turbine: ha tre twisted-blade montate su asse verticale. Ha mostrato di essere efficiente e con ridotte vibrazioni.

# Solare Fotovoltaico

---

# Il principio di funzionamento

---

La cella fotovoltaica, che è l'elemento base con il quale vengono realizzati gli impianti, converte direttamente la radiazione incidente in energia elettrica.

Il principio fisico è l'effetto fotovoltaico secondo il quale la radiazione che incide su di un **semiconduttore** determina il passaggio di alcuni elettroni dalla banda di valenza a quella di conduzione.

All'interno della cella fotovoltaica si crea una coppia elettrone-lacuna dotati rispettivamente di carica negativa e positiva. Tali cariche instradate opportunamente in un circuito elettrico originano una corrente elettrica nel caso in cui il circuito sia chiuso da un'utenza.

Solo i fotoni con energia sufficiente a permettere il passaggio di banda sono utilizzati. L'energia trasportata da fotoni con energia non sufficiente e la parte di energia non necessaria al salto trasportata dagli altri fotoni è dissipata sotto forma di calore.

# Introduzione

---

L'effetto fotovoltaico è stato scoperto nel 1839 da Becquerel, mentre le prime celle fotovoltaiche sono state realizzate agli inizi del '900.

Le prime celle fotovoltaiche in silicio funzionanti con un rendimento di circa il 5-6 % furono realizzate dalla Bell che nel 1954 alimentò con questa tecnologia una cabina telefonica in Georgia.

Subito dopo il fotovoltaico iniziò il suo sviluppo finalizzato alle applicazioni spaziali che permise di raggiungere efficienze del 6-10 %.

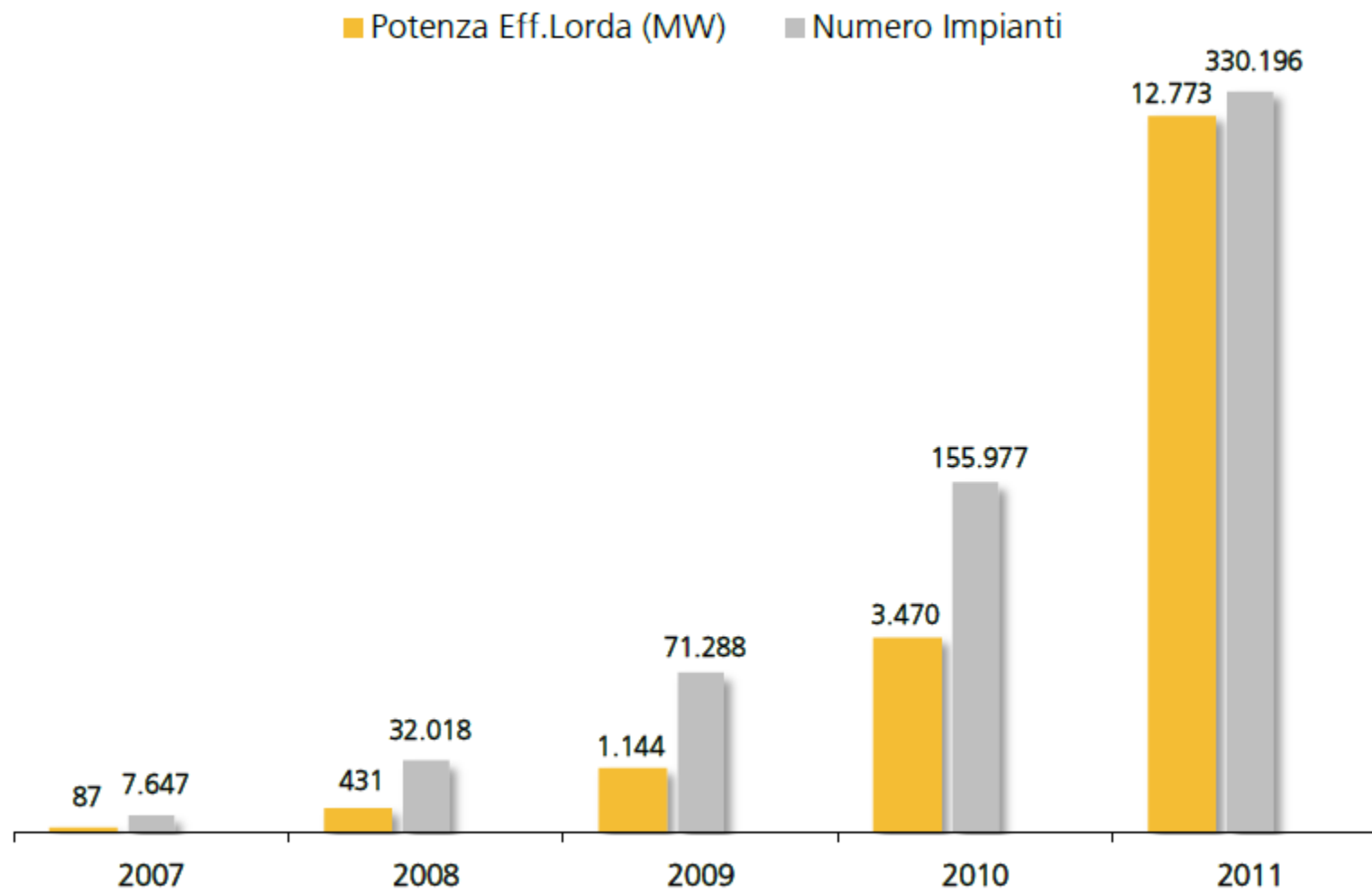
Con la crisi energetica degli anni '70 anche per il fotovoltaico si cercarono applicazioni significative (isole, deserti, boe marine, etc).

Fino a qualche anno fa, l'elevato costo delle celle ne ha limitato fortemente la diffusione e la penetrazione nel mercato energetico.

In questi ultimissimi anni sembra che la convenienza economica sia stata raggiunta.

# Il fotovoltaico in Italia

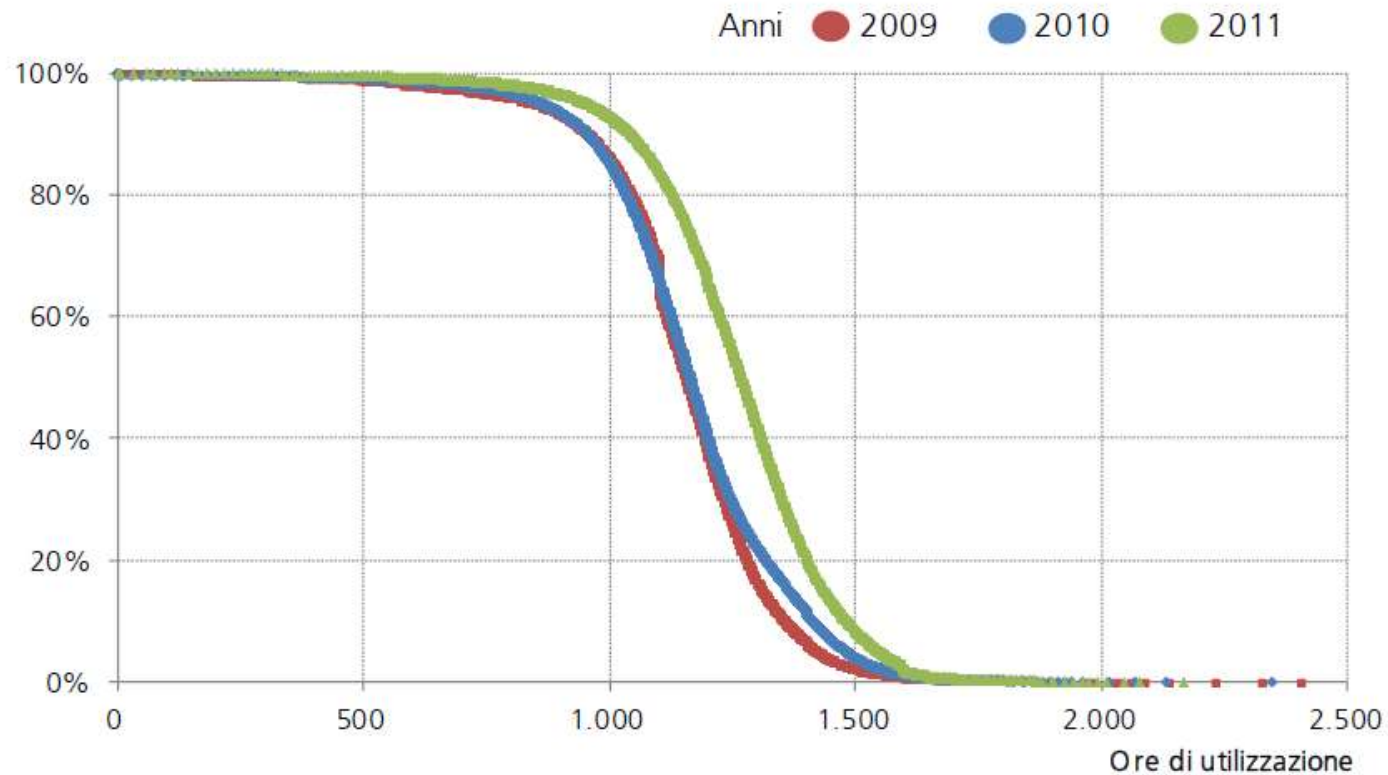
---





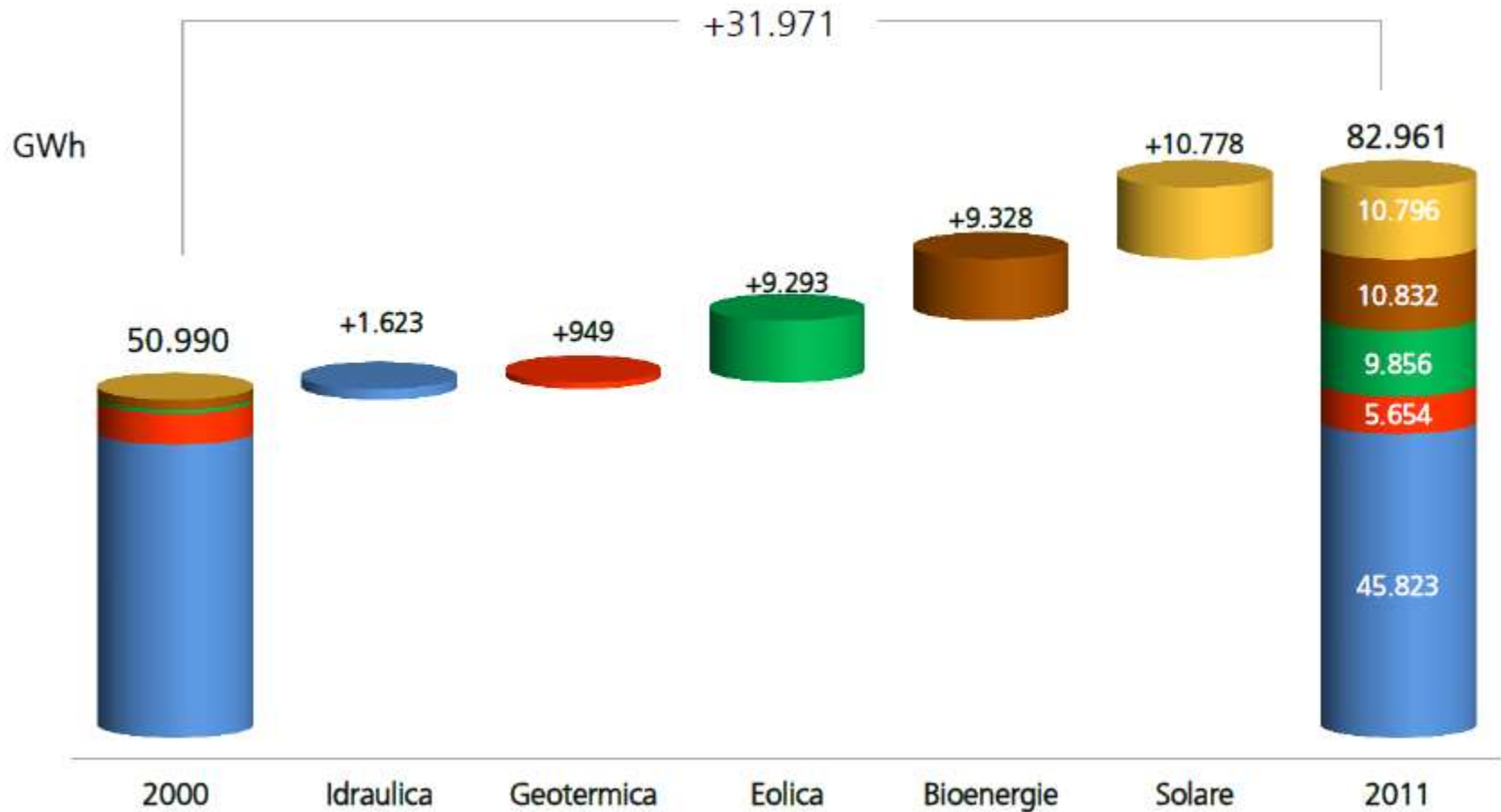
# La produttività 2011

---

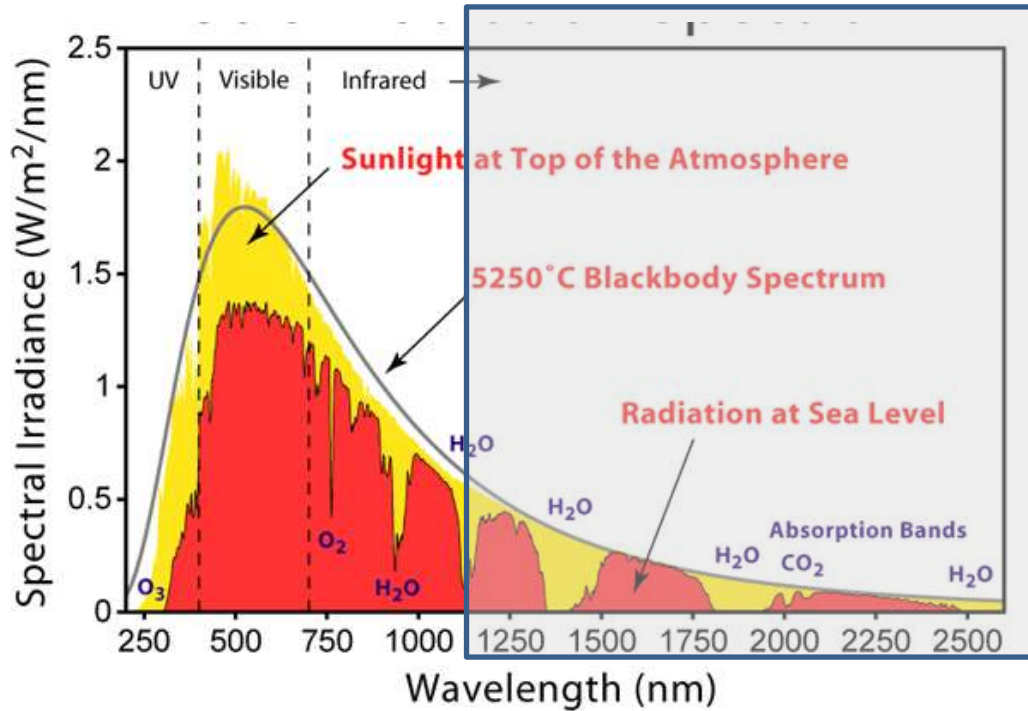


Le ore di utilizzazione sono il rapporto tra l'energia prodotta e la potenza nominale dell'impianto.

# Il peso del solare sulle FER italiane



# Lo spettro



L'energia di ogni fotone è pari a

$$\varepsilon_{\lambda} = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

$h = 6.625 \cdot 10^{-34}$  Js costante di Planck

$c = 3 \cdot 10^8$  m/s velocità della luce

Affinché un elettrone possa “saltare” è necessario che l'energia del fotone sia maggiore dell'energia di gap.

Se l'energia è minore viene dissipata in calore, così come la parte eccedente ( $\varepsilon_{\lambda} - \varepsilon_G$ ) nei fotoni con energia sufficiente.

Poiché il silicio ha  $\varepsilon_G = 1.12 \cdot 10^{-19}$  J la lunghezza d'onda massima è 1.1  $\mu$ m. Il 25 % dello spettro è inutile.

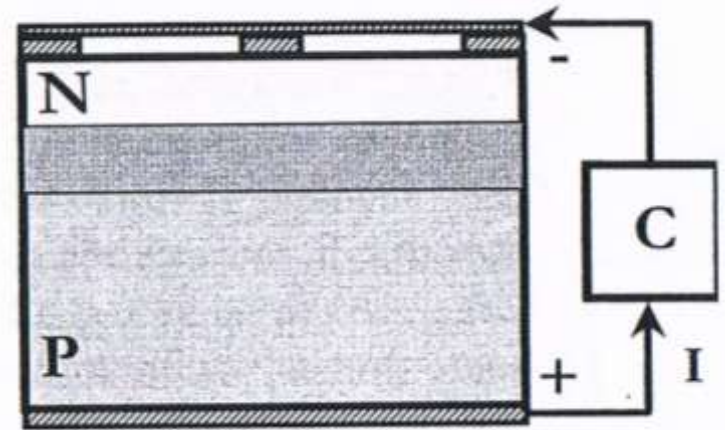
$$\varepsilon_{\lambda} \geq \varepsilon_G$$

$$\lambda \leq h \cdot \frac{c}{\varepsilon_G} = \frac{1.987 \cdot 10^{-25}}{\varepsilon_G}$$

# La giunzione PN

Per instradare la cariche elettriche si realizza una giunzione di tipo PN: due strati di silicio posti in contatto tra loro e drogati con elementi diversi.

Nello strato P si introduce un elemento chimico con un numero di elettroni di valenza minore (boro in quantità dell'ordine di ppm). Nello strato N si introduce un elemento con un numero di elettroni di valenza maggiore (fosforo per esempio).



Una volta messi a contatto i due strati, gli elettroni liberi dello strato N migrano verso lo strato P creando una differenza di potenziale (negativo lo strato P, positivo lo strato N). Le coppie elettrone-lacuna create dall'effetto fotovoltaico si muoveranno all'interno di questa differenza di potenziale (elettroni verso lo strato N, lacune verso lo strato P).

Disponendo un contatto metallico sullo strato N si raccolgono gli elettroni che possono essere fatti passare in un circuito esterno e riportati nello strato P ove neutralizzano le lacune raccolte.

# I materiali

---

**Silicio monocristallino:** la maggior parte delle celle a base di silicio in commercio hanno usato wafer di silicio dello spessore di  $400\ \mu\text{m}$  prodotto mediante il processo Czochralski. Tale processo è lo standard per le applicazioni in microelettronica.



Il silicio contiene impurità quali ossigeno, carbonio e ioni di metalli di transizione.

L'ossigeno forma col boro dei difetti che limitano la qualità del materiale a seguito dell'esposizione alla luce.



L'utilizzo del processo float-zone è preferibile per le applicazioni solari di alta efficienza perché ha minori perdite dovute alla ricombinazione.

# La concentrazione

## Il primo concentratore a facce piane



Specchi piani  
ogni specchio è posizionato individualmente

Tracking

Concentrare la radiazione solare in modo da ridurre la superficie di materiale semiconduttore.

# Solare Termodinamico

---

# Il principio di funzionamento

---

Il solare termodinamico si basa fundamentalmente sulla captazione della radiazione solare e l'utilizzo dell'energia della radiazione all'interno di un ciclo termodinamico (Stirling, Brayton, Rankine).

A questo fine si utilizzano i collettori solari.

Esistono due tipologie di collettori solari:

- collettori stazionari senza concentrazione solare: la stessa area è usata per intercettare ed assorbire la radiazione solare;
- collettori solari ad inseguimento e con concentrazione: si utilizzano elementi ottici che seguono la traiettoria del sole durante la giornata per focalizzare una grande quantità di radiazione solare su una piccola area ricevente.

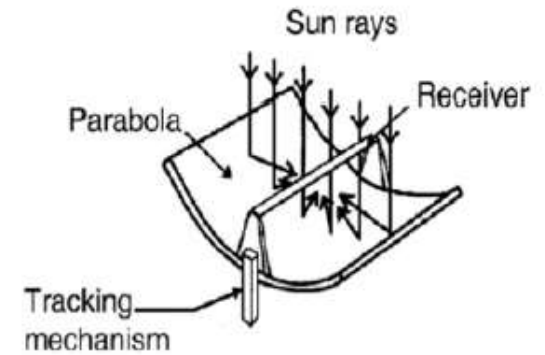
La concentrazione della radiazione solare si esprime in soli. Un sole corrisponde a 1000 W/m<sup>2</sup> cioè alla misura della radiazione media incidente sulla superficie terrestre.

I collettori a concentrazione hanno numerosi vantaggi rispetto agli altri e sono associati a temperature operative del fluido ricevente molto alte e alte efficienze dei sistemi di conversione.

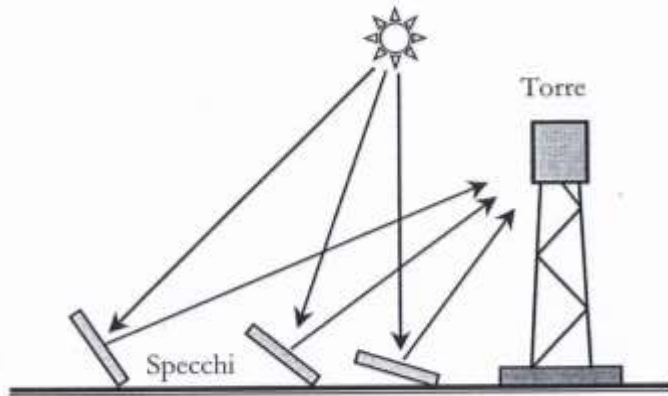


# Collettori parabolici lineari

I collettori parabolici lineari sono la tecnologia di concentrazione solare più matura. Questa tecnologia è utilizzata in molti impianti CSP di larga scala. Il Solar Electric Generating Systems (SEGS) è un insieme di sistemi a collettori parabolici lineare situato in California per una potenza totale di 354 MW.



# Sistemi a torre centrale



I sistemi a torre centrale o a eliostati sono la tecnologia di concentrazione ad essere entrata in commercio più recentemente.

Questa logica molto costosa è stata applicata però a pochi sistemi.

I dimostrativi da 10 MW Solar One (1981) e Solar Two (1995) sono stati costruiti nel Mojave Desert in California.



# Sistemi parabolic dish

---



I collettori parabolici a disco sono collettori a punto focale. Possono ottenere altissimi rapporti di concentrazione, fino a 1000 soli, e temperature che eccedono i 1500 °C. Ciò consente un accoppiamento efficiente con cicli termodinamici.

Il collettore tipico è un grande disco a parabola montato su un sistema di inseguimento a due assi che mantengono la convergenza dei raggi solari sul fuoco, nel quale è montato il ricevitore.

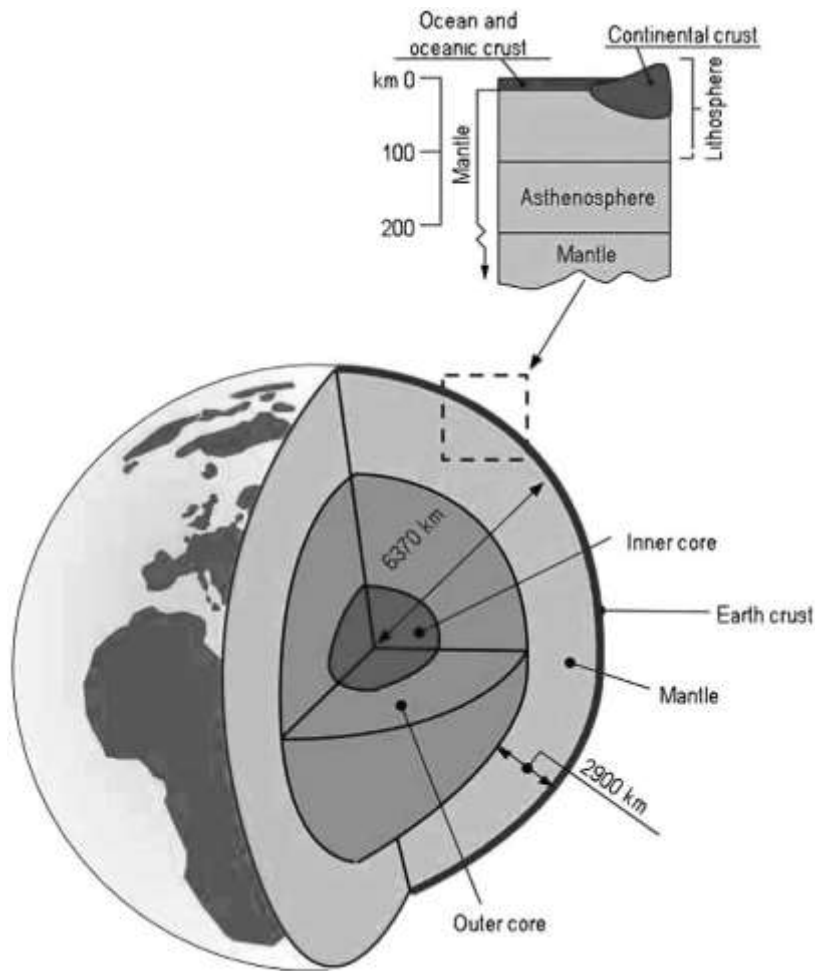
Uno schema, il meno utilizzato, consiste nell'utilizzo di un fluido vettore che porta l'energia dai ricevitori di più parabole verso la centrale di generazione elettrica. Questo è meno conveniente a causa del limite dato dalla temperatura massima del fluido vettore e dalle perdite dovute al trasporto dell'energia.

Un secondo schema, più utilizzato, prevede l'installazione del sistema di conversione direttamente nel fuoco di ogni parabola. Il motore più utilizzato è lo Stirling, ma anche turbine a gas possono essere installate. Deve essere previsto anche un sistema per lo scarico del calore e un sistema di controllo per permettere alla macchina di funzionare anche nel caso in cui l'irraggiamento vari.

# Geotermia

---

# La Terra



La Terra è formata da tre zone concentriche: crosta, mantello e nucleo.

La crosta ha uno spessore di 7 km sul fondo degli oceani e 20-65 km sotto i continenti (il raggio della Terra è 6370 km), ed è tecnicamente perforabile per profondità attorno ai 10 km.

Il mantello si estende dalla crosta per 2900 km.

Il nucleo ha un raggio di 3470 km, la temperatura raggiunge i 4000 °C e la pressione è 360000 MPa.

# Il flusso termico terrestre

---



A causa della persistenza del calore primordiale (cioè quello generatosi durante la formazione del pianeta) e di quello generato dal decadimento di isotopi radioattivi si determina un flusso termico uscente dalla superficie terrestre.

Il primo a misurare un gradiente rispetto alla profondità della Terra fu Robert Boyle, mentre la prima stima del flusso termico fu fatta da Lord Kelvin nel 1882 (quando ancora si chiamava William Thomson nella sua tesi di dottorato riesaminò le misurazioni di Boyle).

Il valore medio del flusso termico terrestre nella crosta continentale è  $57 \text{ mW/m}^2$ , mentre nella crosta oceanica raggiunge i  $99 \text{ mW/m}^2$ . Il valore medio sulla intera superficie terrestre è pari a  $82 \text{ mW/m}^2$ , per un totale di  $4 \cdot 10^{13} \text{ W}$  (l'energia emessa in un anno è alcune volte maggiore del fabbisogno mondiale annuo di energia).

# Storia

---

L'uso dell'energia geotermica, quando in casi particolari si concentra e si accumula, per fare bagni, lavare e cucinare si data alla preistoria.

La costruzione di impianti termali è dell'ottavo secolo avanti Cristo in Giappone. Successivamente anche i romani costruirono terme in tutto l'impero.

L'utilizzo per riscaldamento degli ambienti viene molto dopo, nel XIV secolo a Chaudes Aigues in Francia. Il primo impianto di teleriscaldamento geotermico è datato 1930 in Islanda.

Lo sfruttamento elettrico è invece nato in Italia con un prototipo del principe P.G. Conti del 1904 e poi con un impianto da 250 kW installato nel 1913 per la produzione commerciale a Larderello in Toscana.

# I sistemi idrotermali

---

L'insieme della fonte di calore, dell'acquifero, dell'area di ricarica e dei passaggi che connettono la superficie all'acquifero costituiscono il sistema idrotermale.

L'esistenza di un sistema idrotermale non è sufficiente a garantire lo sfruttamento della sua energia a livelli industriali: solo una parte della roccia può essere permeabile e quindi costituire un acquifero e quindi solo questa parte può essere sfruttata. Tale porzione è detta sito geotermico.

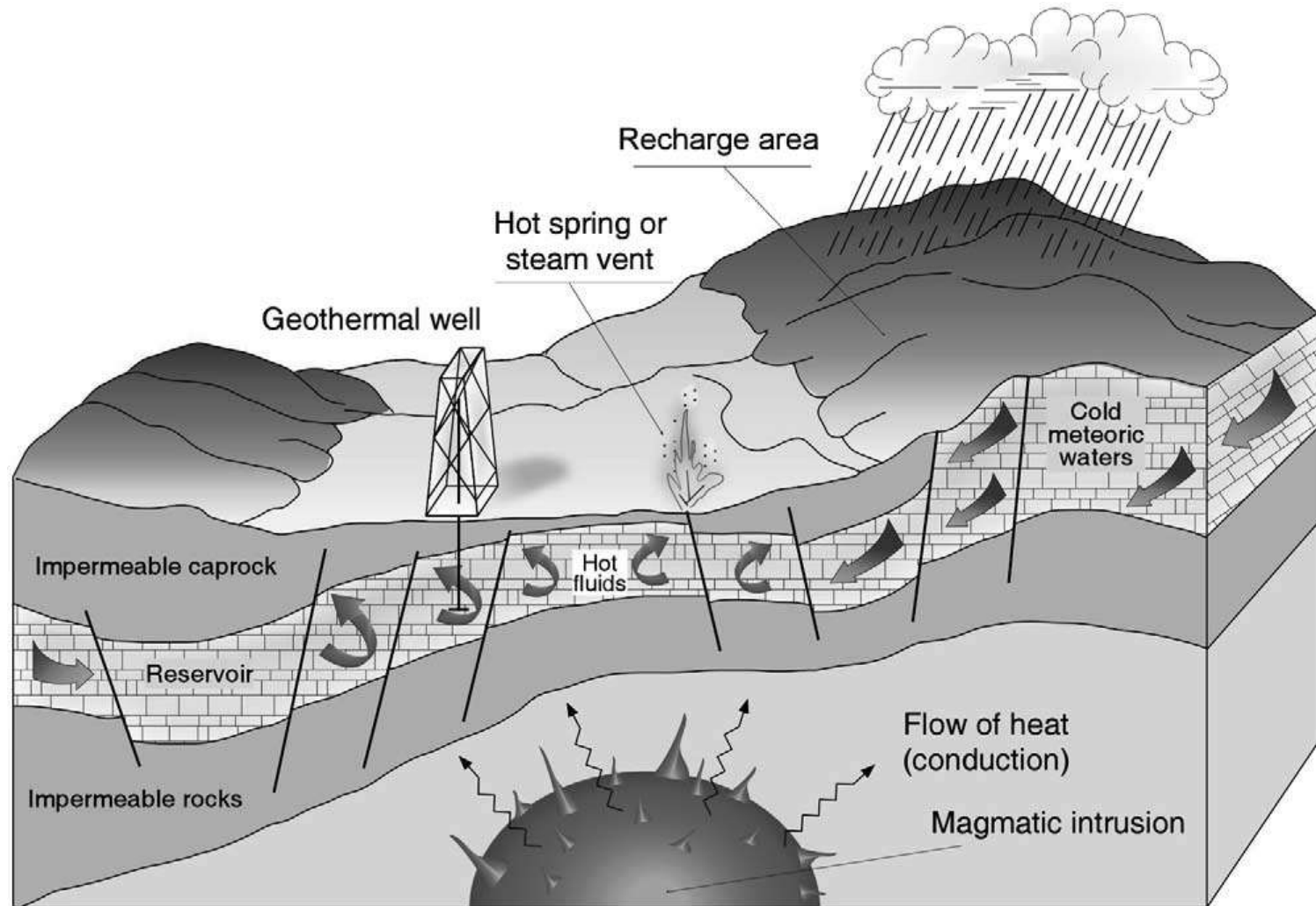
Esistono quattro tipi di sistemi geotermici: idrotermali, rocce calde secche (hot dry rock), geopressurizzati e magmatici. Attualmente solo i sistemi idrotermali sono sfruttati. Gli altri potranno esserlo in futuro con lo sviluppo tecnologico.

I sistemi idrotermali sono classificati in due gruppi:

- ad acqua dominante;
- a vapore dominante.

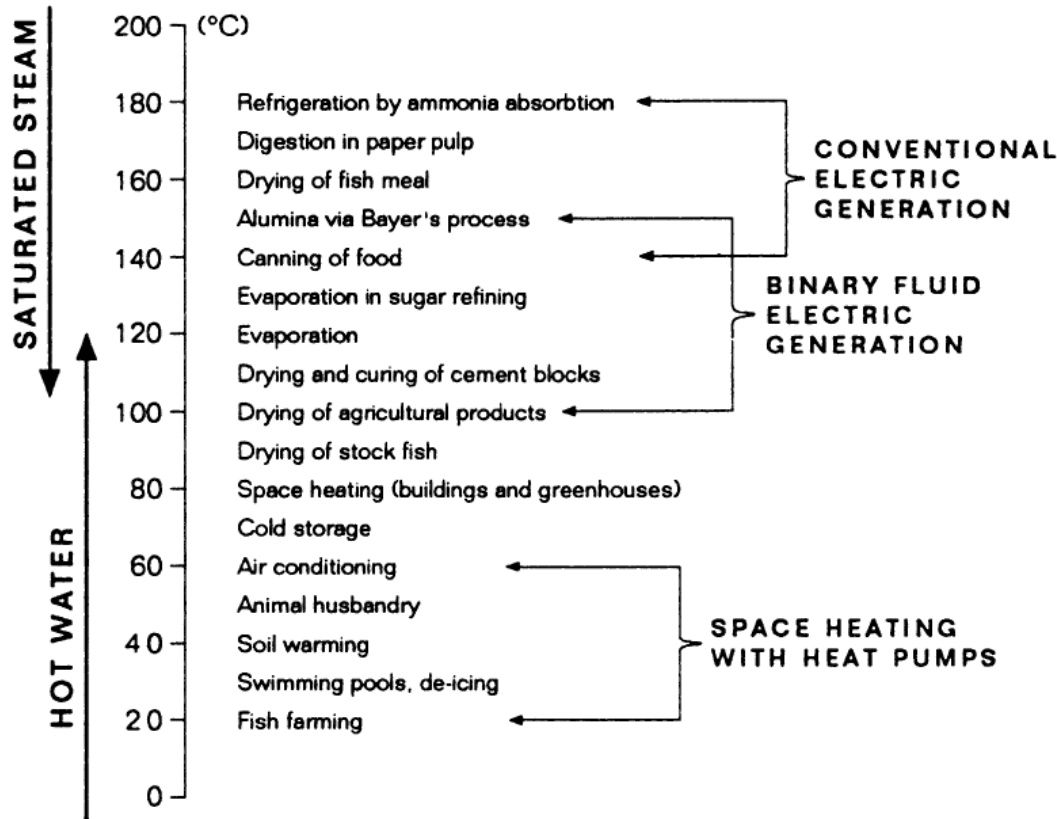


# Un sistema idrotermale



# L'utilizzo dell'energia geotermica

The Lindal Diagram  
(Modified)



Si riconoscono storicamente due tipologie di utilizzo della fonte geotermica: la generazione elettrica e l'utilizzo diretto.

La generazione elettrica è convenzionalmente limitata a fonti con temperatura superiore a 150 °C, ma temperature inferiori possono essere comunque sfruttate in cicli binari (i cicli a fluido organico).

Per il riscaldamento di ambienti la temperatura ottimale è di 80 °C, ma mediante l'utilizzo di grandi radiatori (esempio i radiatori a pavimento) o pompe di calore viene consentito anche l'utilizzo di fonti geotermiche a temperature di poco superiori alla temperatura ambiente.

# La generazione elettrica

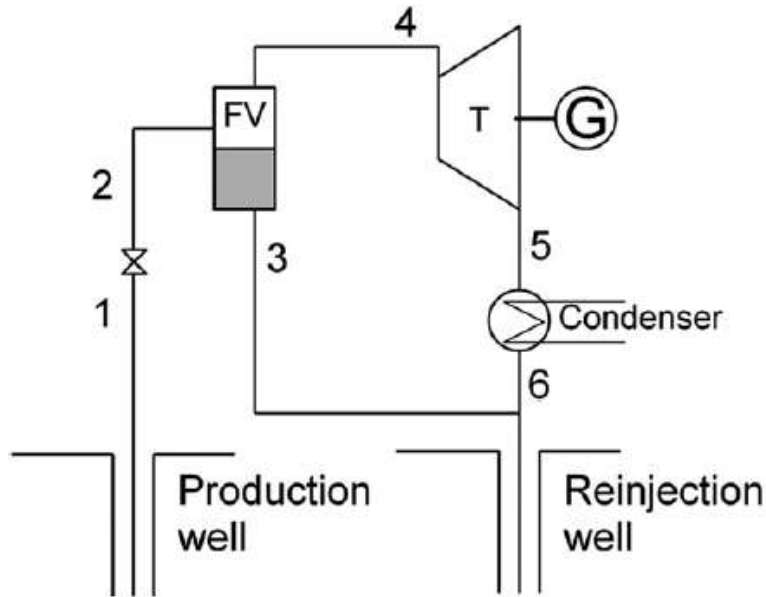
---

Attualmente sono utilizzate tre tecnologie per la produzione elettrica da fonte geotermica. La scelta della tecnologia è direttamente correlata con lo stato in cui sgorga il fluido dal pozzo e con la sua temperatura.

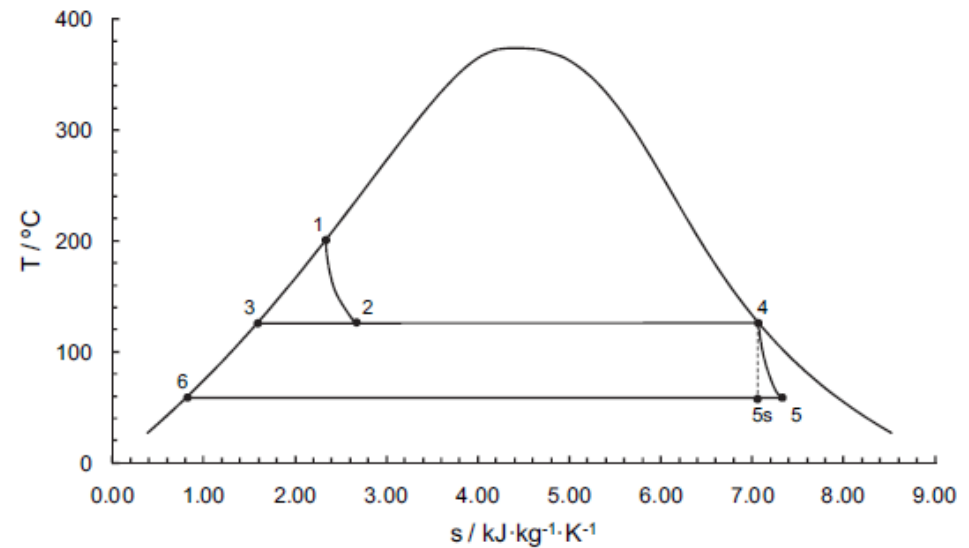
Le tecnologie sono

- impianti a vapore secco: necessitano di serbatoi idrotermali a vapore dominante ad alta temperatura. Il vapore dal pozzo passa direttamente attraverso la turbina;
- impianti a vapore di flash: dai serbatoi ad acqua dominante (più comuni di quelli a vapore dominante) il fluido che sgorga dai pozzi viene separato nelle due fasi e il vapore è mandato alle turbine. La fase liquida può andare ad un'ulteriore separazione flash a minore pressione per ottenere altro vapore;
- impianti binari: quando la temperatura dell'acqua nel bacino è inferiore a 150 °C si utilizzano i cicli binari. Il fluido di lavoro non è il fluido geotermico, ma un fluido organico in ciclo chiuso che riceve calore dal fluido geotermico in uno scambiatore di calore ed evapora, espande in turbina, condensa e viene ripompato.

# Generazione elettrica



Single flash

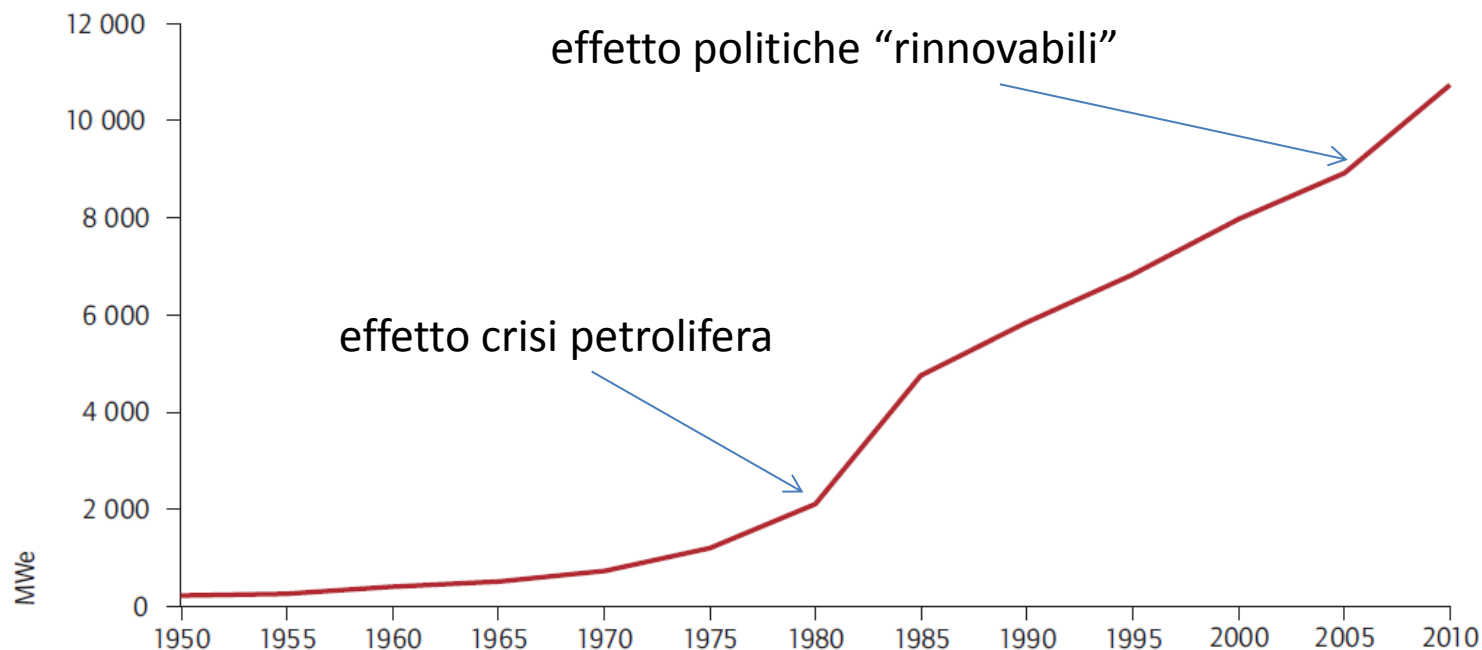


La pressione al separatore è il parametro critico nell'ottimizzazione di un sistema single flash. Il titolo del vapore ottenuto nel processo di flashing e il lavoro specifico alla turbina dipendono dalla pressione al separatore: il titolo (e quindi la quantità di vapore mandato alla turbina) aumenta, ma il lavoro specifico diminuisce al diminuire della pressione.

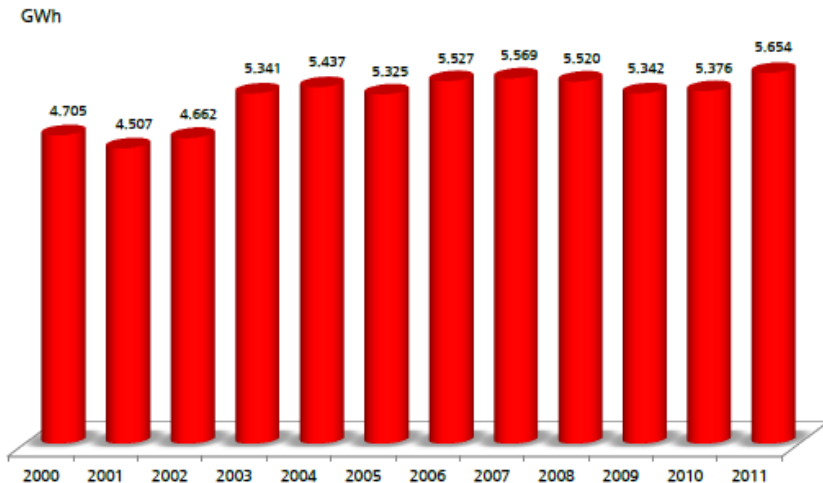
# Il geotermoelettrico nel mondo

Nel 2010 la potenza elettrica installata (in almeno 24 paesi) era di 10.7 GW per una produzione di circa 67.2 TWh. Al 2015 si stima di arrivare ad un incremento di 8 GW.

La produzione da fonte geotermica rappresenta una grossa quota in Islanda (25 %), El Salvador (22 %), Kenia e Filippine (17 %) e Costa Rica (13 %). Il maggior produttore di elettricità da fonte geotermica è gli Stati Uniti con 16.6 TWh prodotti da 3.1 GW installati.



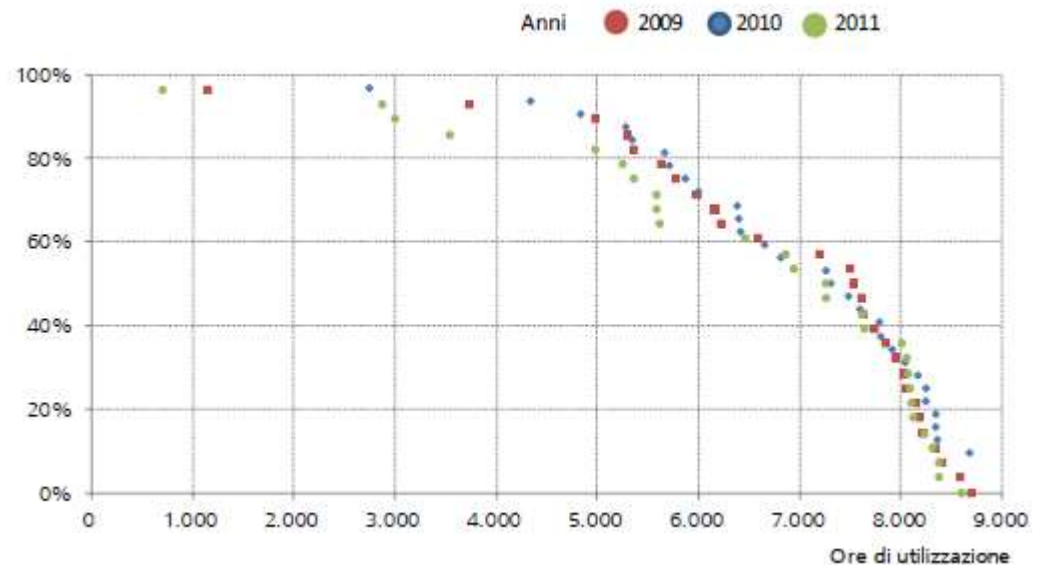
# Generazione elettrica in Italia



Nell'arco temporale compreso tra il 2000 e il 2011, la produzione lorda è aumentata con un tasso medio annuo pari al 1.7 % contro la loro potenza che è aumentata mediamente del 1.9 %. Nel 2011 la produzione da impianti geotermoelettrici è pari a 5 654 GWh in aumento rispetto all'anno precedente del 5 %.

Nel 2011 il 50 % degli impianti ha prodotto per circa 7.300 così come era accaduto nel 2010 e nel 2009.

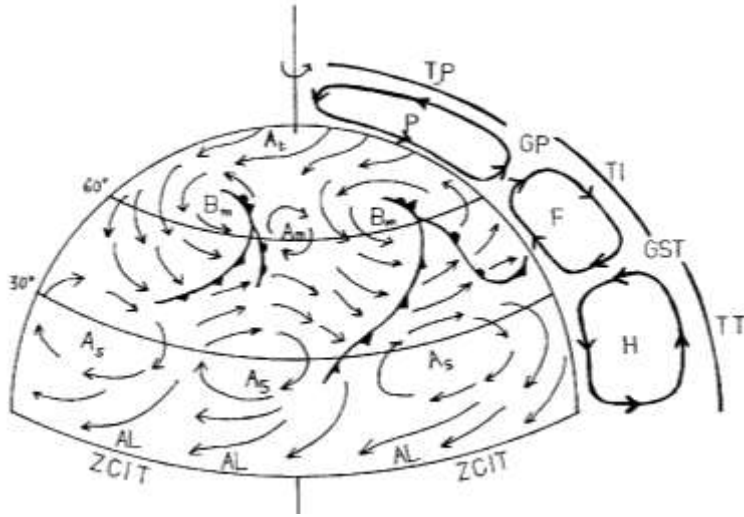
Nel confronto con le altre fonti rinnovabili, le prestazioni degli impianti geotermoelettrici sono le migliori.



# Eolico

---

# Il vento



L'energia del vento deriva direttamente dall'energia solare in quanto i moti convettivi dell'atmosfera sono dovuti ai gradienti di temperatura provocati dal riscaldamento non uniforme del globo terrestre.

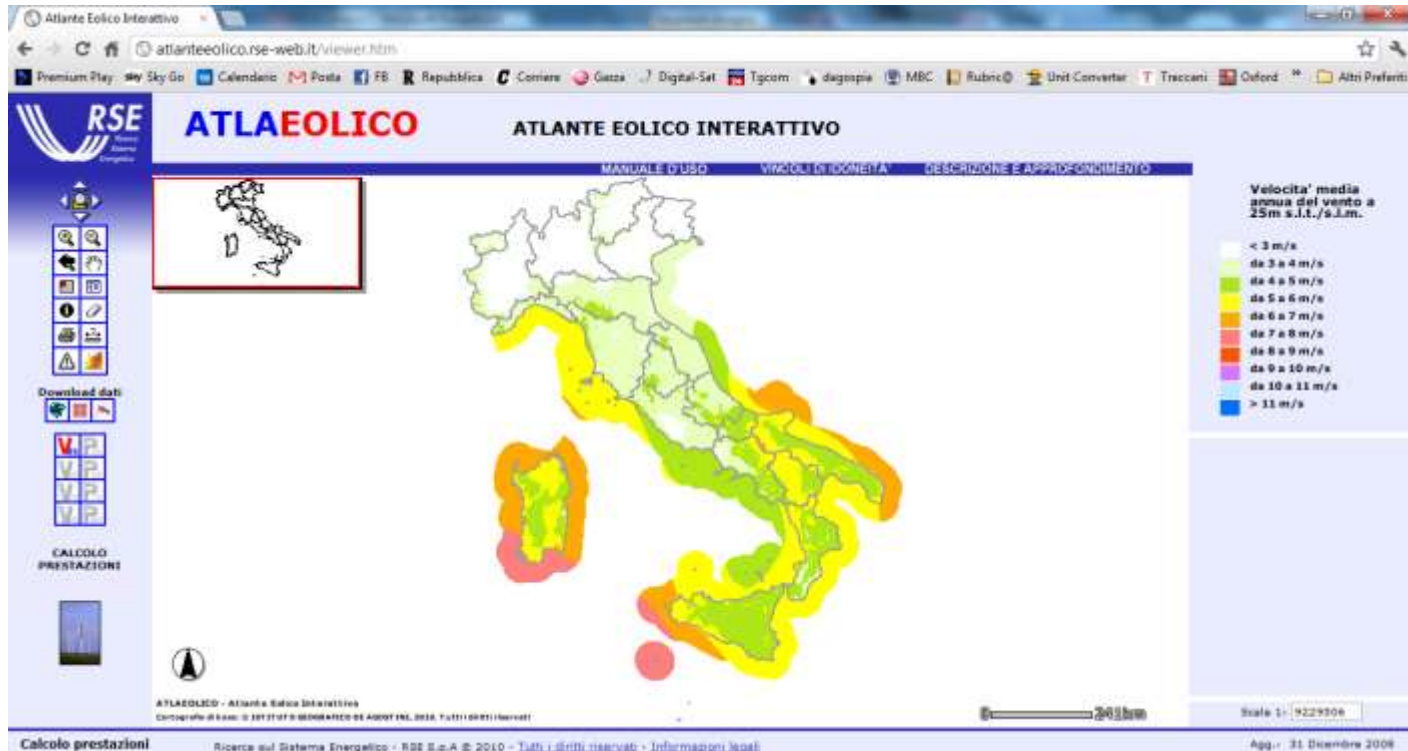
Nelle zone equatoriali l'intenso irraggiamento solare provoca un forte riscaldamento del suolo e quindi dell'aria sovrastante che tende a salire verso l'alto richiamando aria più fresca dalle zone circostanti. L'aria calda si raffredda al contatto con gli strati d'aria superiori e ricade attorno al 30esimo parallelo. Si forma la cella di Hadley (H). Analogo comportamento si ha per la cella di Ferrel (F) tra il 30esimo e il 60esimo parallelo e la cella Polare (P) tra il 60esimo e il polo.

A questi moti convettivi si sovrappongono poi i moti dovuti alle forze di Coriolis in direzione tangenziale. Si hanno quindi venti in direzione est nelle medie latitudini e in direzione ovest agli estremi.



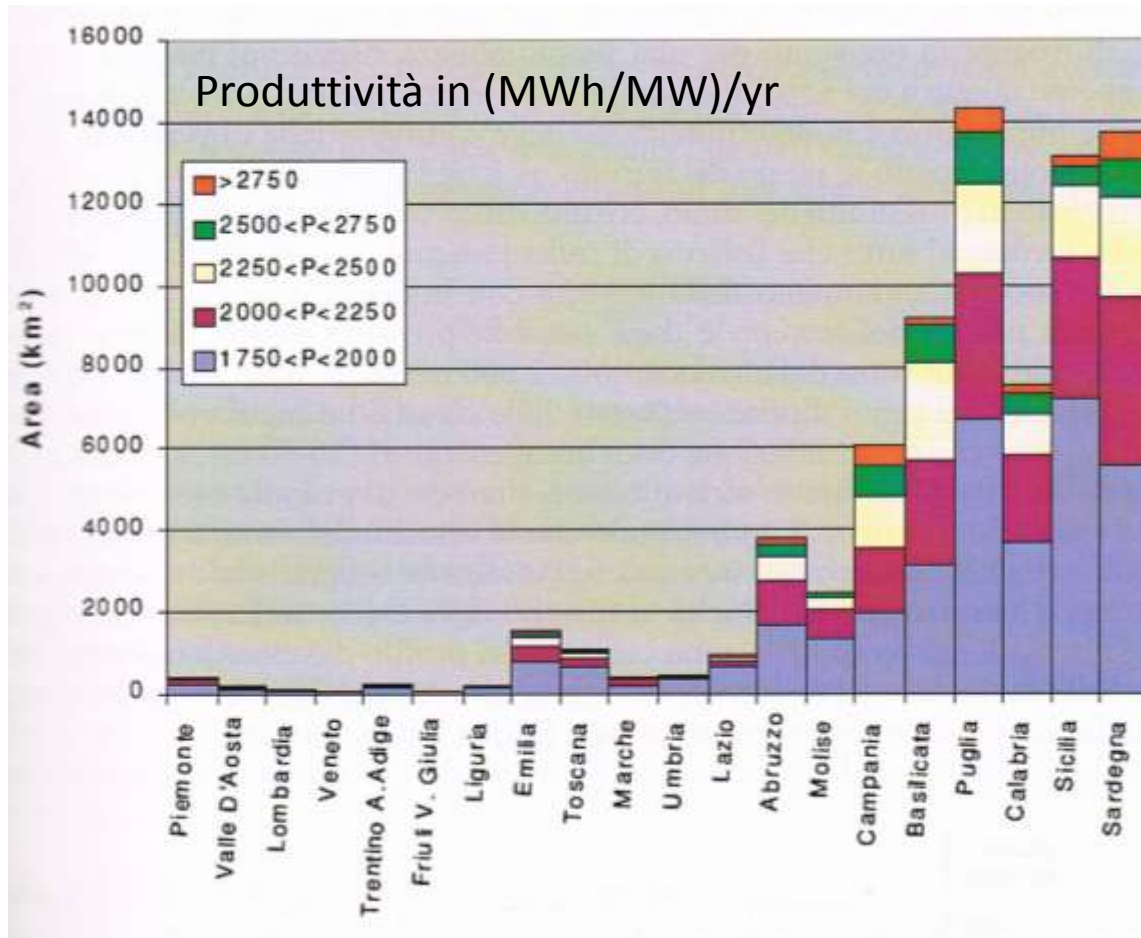
# L'atlante eolico CESI

Tutto ciò ha una validità su scala globale, ma su scala locale vanno considerate le caratteristiche della zona (presenza di mari, oceani o terre emerse e loro orografia).



Per la quantificazione indicativa delle prestazioni di impianti eolici sono stati predisposti diversi strumenti. Un esempio è l'atlante eolico del CESI (ora RSE) disponibile al sito <http://atlanteeolico.rse-web.it/viewer.htm>

# Potenzialità



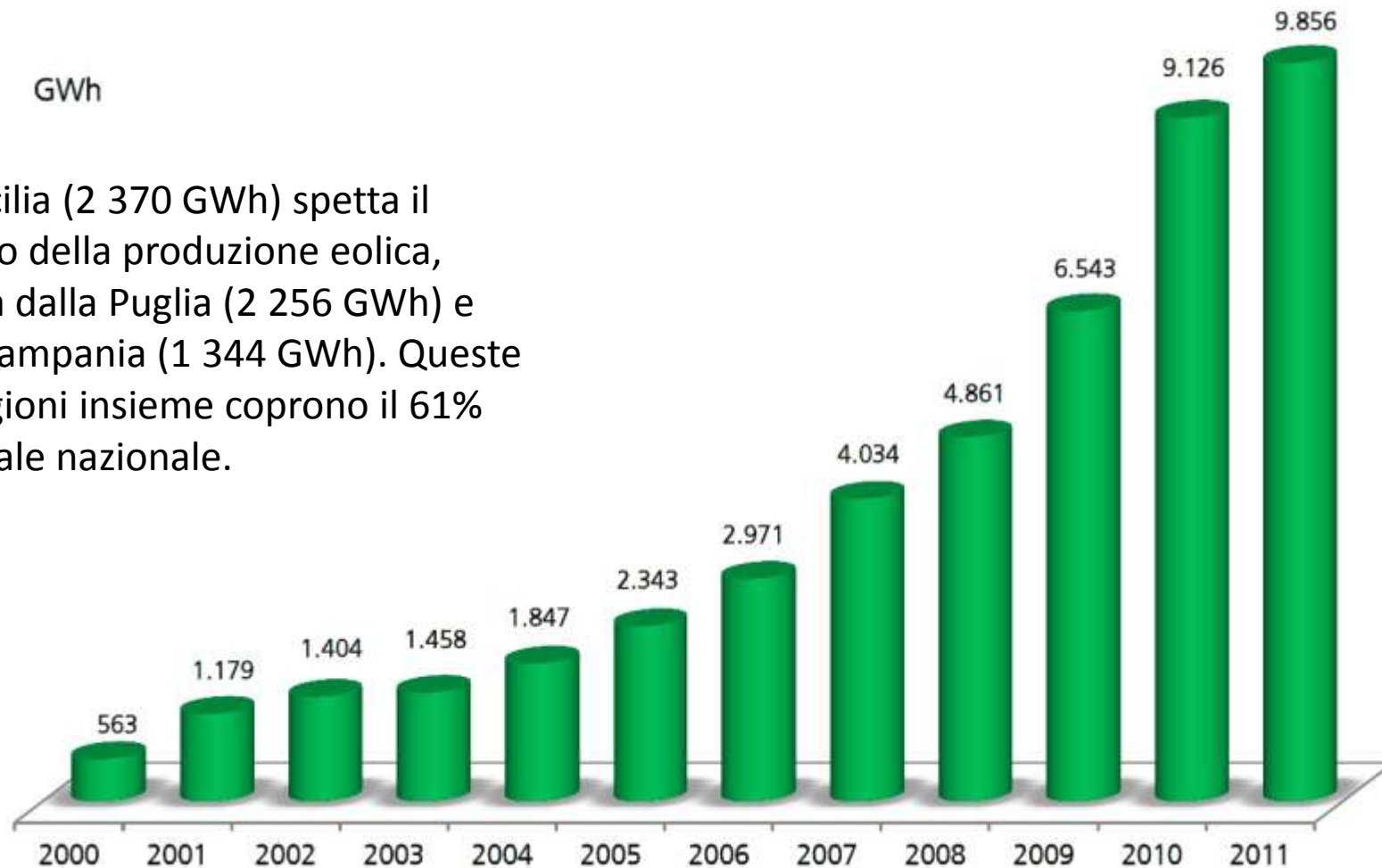
Per una superficie di 41000 km<sup>2</sup> è stata stimata una produttività superiore a 2000 (MWh/MW)/yr. Ipotizzando che solo il 10 % possa essere utilizzato a fini eolici si desume un potenziale impiantistico di 41 GW con una produttività di 82 TWh/yr.

# La produzione in Italia

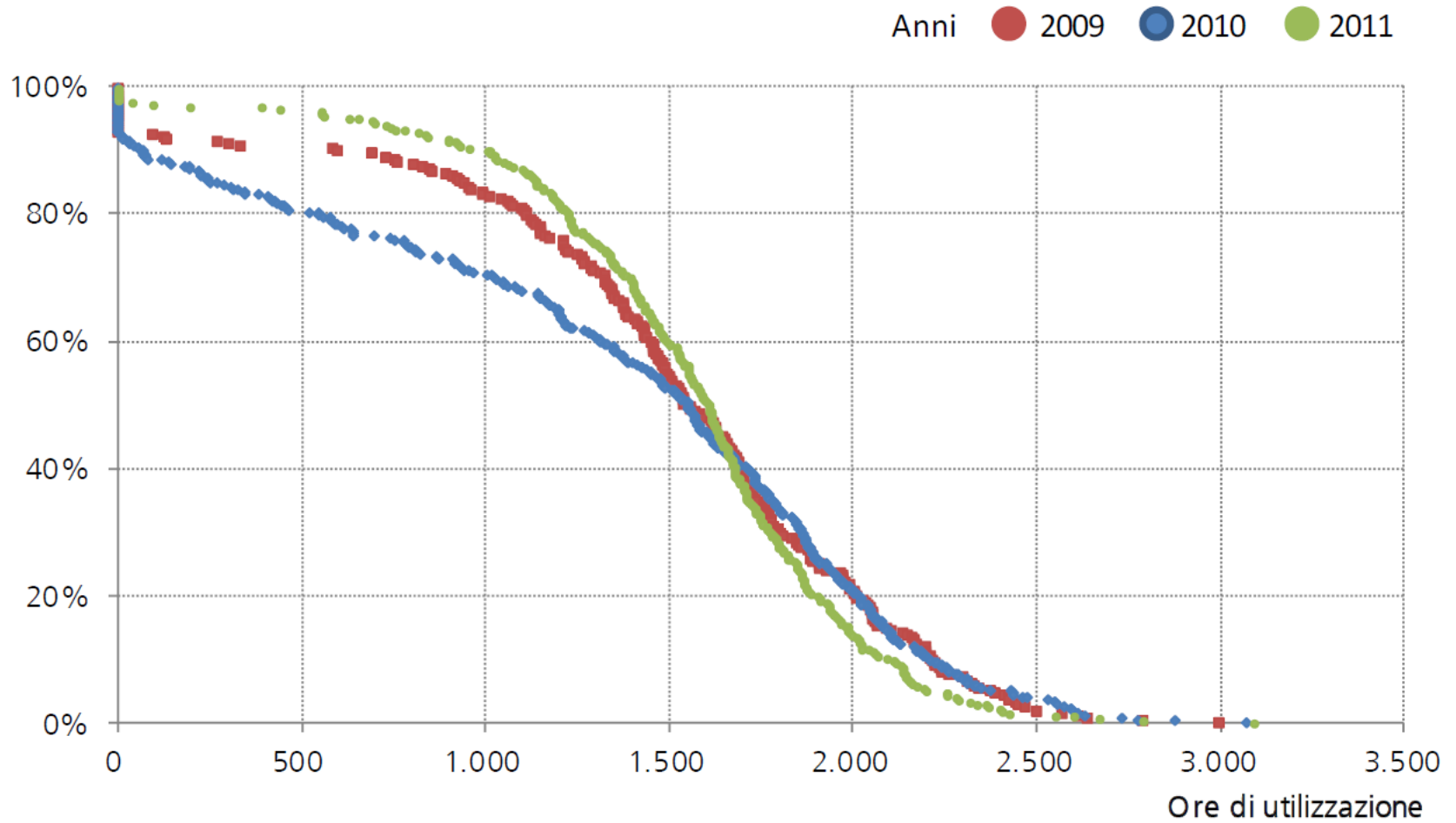
---

GWh

Alla Sicilia (2 370 GWh) spetta il primato della produzione eolica, seguita dalla Puglia (2 256 GWh) e dalla Campania (1 344 GWh). Queste tre Regioni insieme coprono il 61% del totale nazionale.



# Ore di utilizzazione



# La storia

---

L'utilizzo del vento come fonte energetica per la macinazione dei cereali e per il pompaggio di acqua è databile a 3000 anni fa, mentre da ancor più tempo il vento è una fonte energetica per il trasporto.

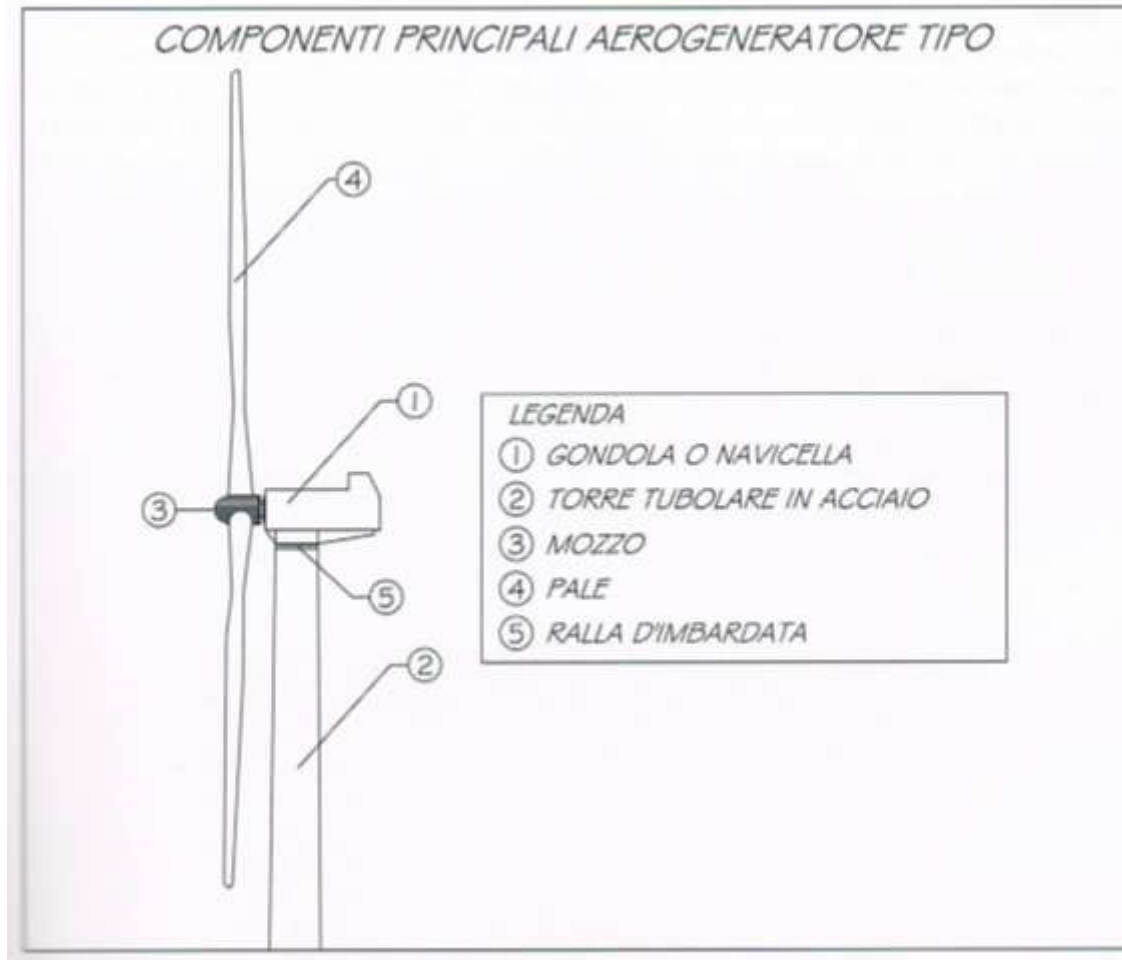
Il primo sistema di conversione dell'energia del vento in energia elettrica è databile alla fine del diciannovesimo secolo con il generatore da 12 kW DC costruito da Brush negli USA. Per la maggior parte del ventesimo secolo questi sistemi sono stati per lo più utilizzati per la ricarica di batterie in luoghi isolati. La turbina da 1250 kW di Smith-Putnam costruita negli USA nel 1941 (rotore in acciaio di 53 m di diametro) è rimasta per 40 anni la più grande turbina esistente.

Grande spinta allo sviluppo di questi sistemi è stata data dalla crisi petrolifera degli anni '70 con la partenza di diversi progetti di ricerca governativi in USA, Germania, Gran Bretagna e Svezia: per più di un decennio si provarono diverse architetture (asse verticale od orizzontale) e diversi numeri di pale (uno, due o tre).

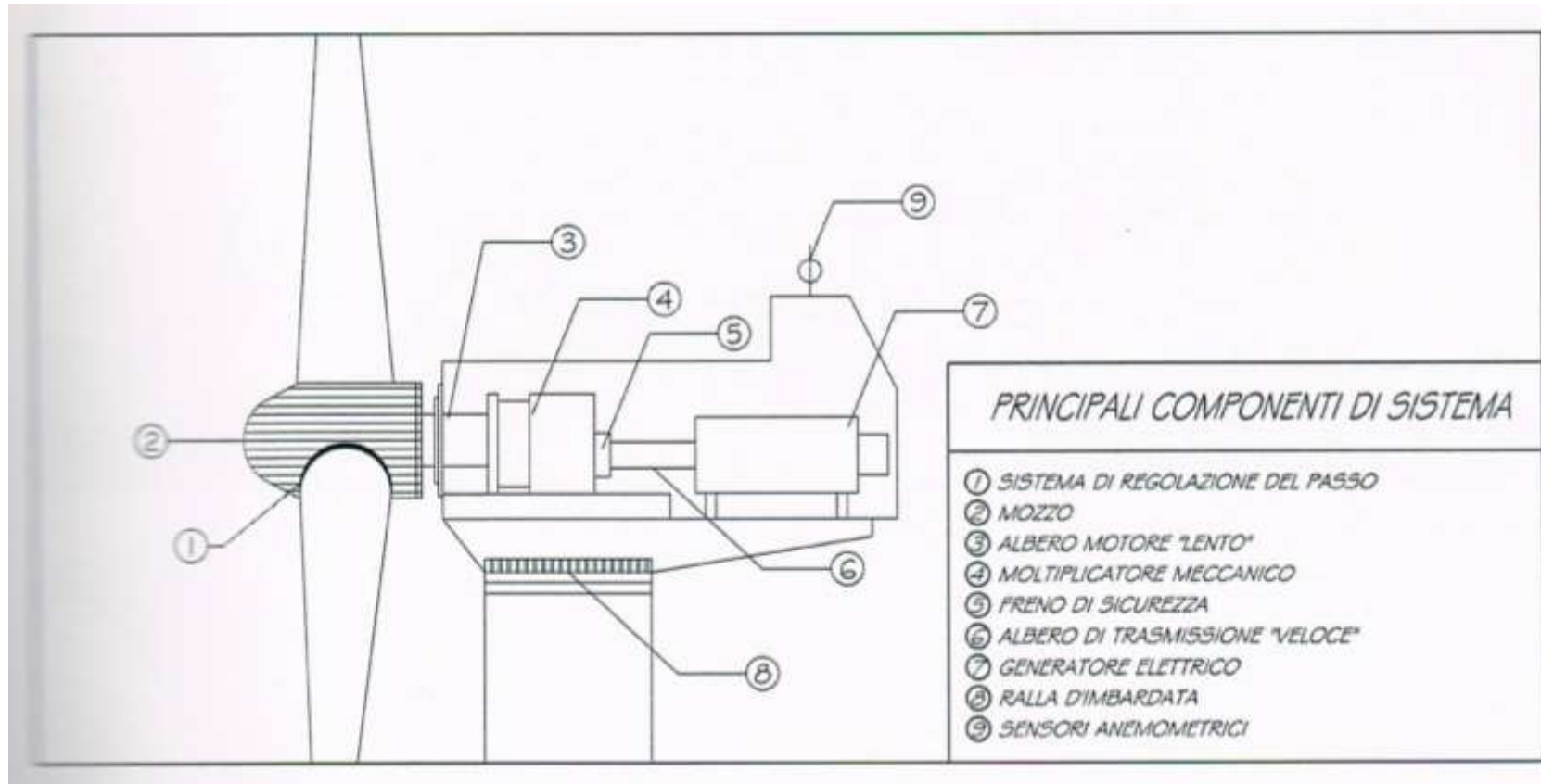
Emerse la cosiddetta turbina eolica "alla danese": asse orizzontale, tre pale, velocità di rotazione fissa regolata per stallo.

# L'aerogeneratore

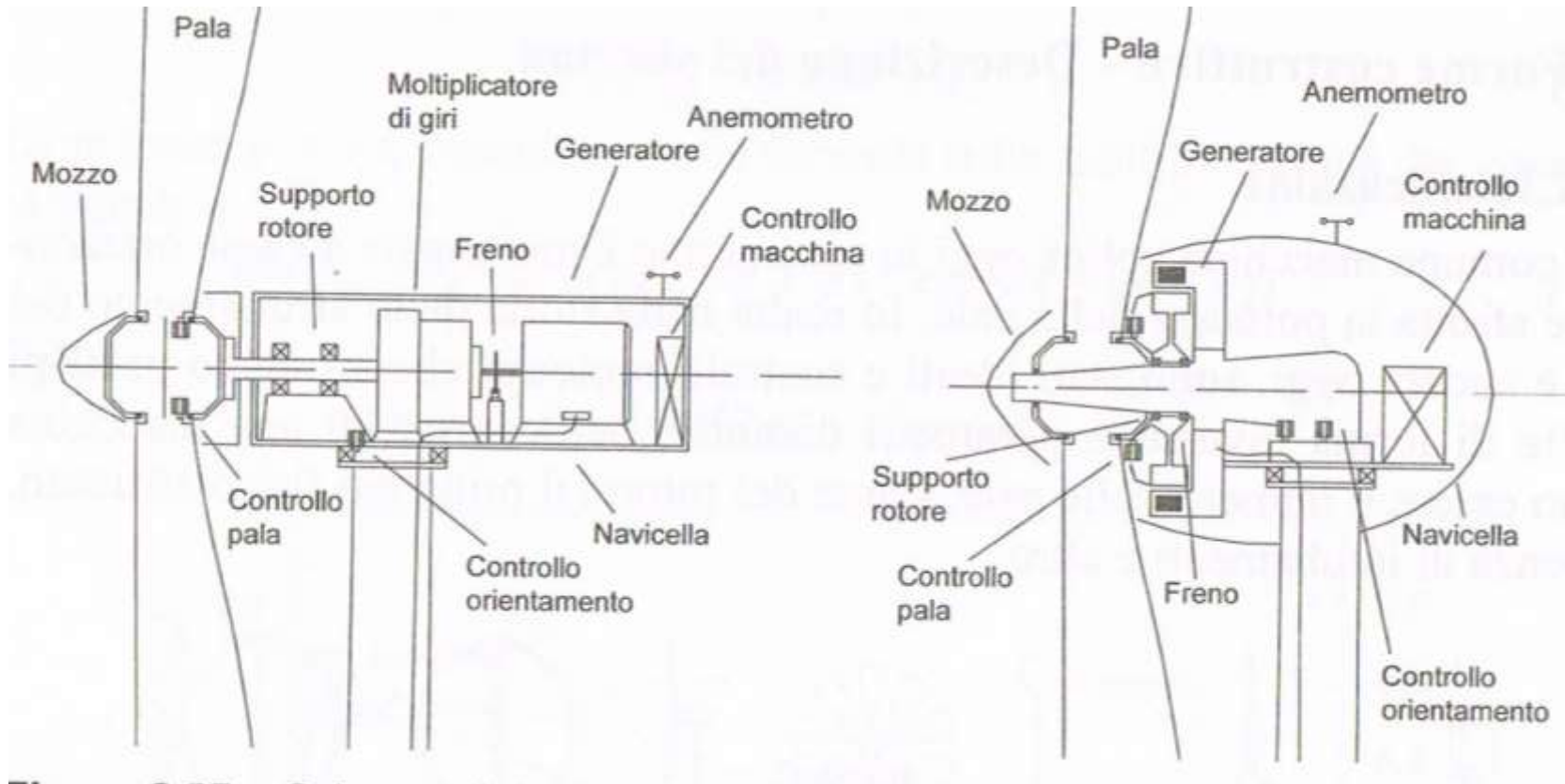
---



# L'aerogeneratore



# L'aerogeneratore

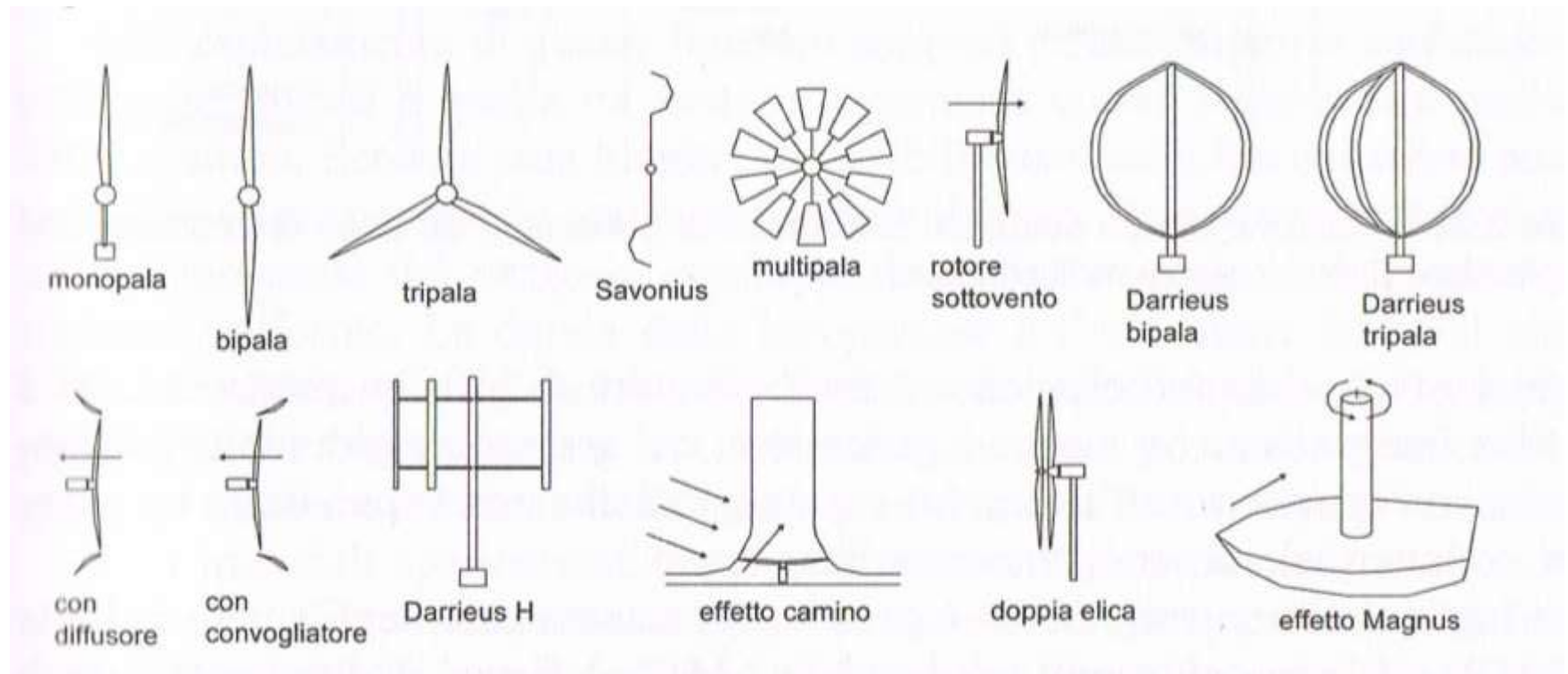


Con moltiplicatore di giri

Con accoppiamento diretto



# I rotori



# Bioenergie

---

# Biomasse

---

- La **biomassa** è una fonte rinnovabile (fonte energetica non fossile) da cui si possono ricavare combustibili da utilizzare in sistemi energetici (**biocombustibili**) o nel trasporto (**biocarburanti**)
- In campo energetico, le biomasse sono tutte le sostanze organiche, di origine biogenica da cui sia possibile ricavare energia
- Per legge è la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani.

# Perché le Biomasse?

---

- Produzione di energia da fonte energetica rinnovabile;
- A differenza delle fonti rinnovabili sole e vento la cogenerazione da biomasse è una tecnologia programmabile e non rappresenta quindi un fattore di criticità per la rete di trasmissione e distribuzione
- Riduzione delle emissioni influenti sull'effetto serra;
- Maggiore attrattività del territorio per l'insediamento di attività produttive e sostegno delle stesse;
- Possibilità di utilizzare una quota parte dell'energia termica prodotta in ambito locale, con sensibile riduzione dei costi energetici ed aumento dei vantaggi ambientali;
- Riduzione della dipendenza dalla rete elettrica esterna e maggiore sicurezza della fornitura;
- Ricadute occupazionali dirette ed indirette (sorveglianza, pulizia, manutenzione ordinaria, raccolta e trasporto della biomassa, ecc)

# Quanta biomassa per l'energia?

---

Il potenziale delle diverse fonti di biomasse, espresso in energia primaria disponibile in Italia, è stimabile in 24-28 Mtep/anno, così ripartito:

## 1. Coprodotti, sottoprodotti, residui e scarti

- *Agricoltura e agroindustria* 5 Mtep
- *Foreste e industria del legno* 4.3 Mtep
- *Verde pubblico urbano* 0.3 Mtep
- *Zootecnia* 10-12 Mtep

2. Legna da ardere 2 Mtep

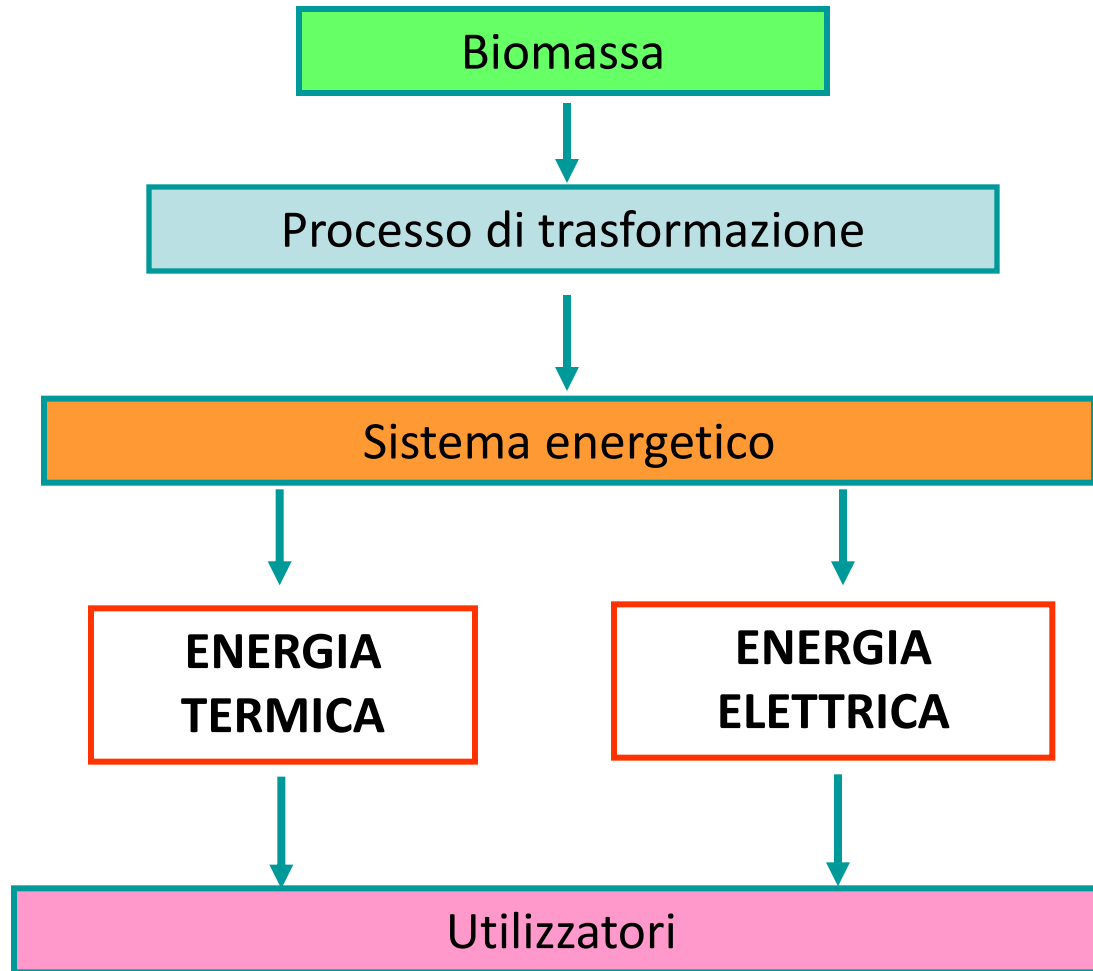
3. Colture dedicate (potenziali) 3-5 Mtep

**Totale risorse potenziali 24-28 Mtep**

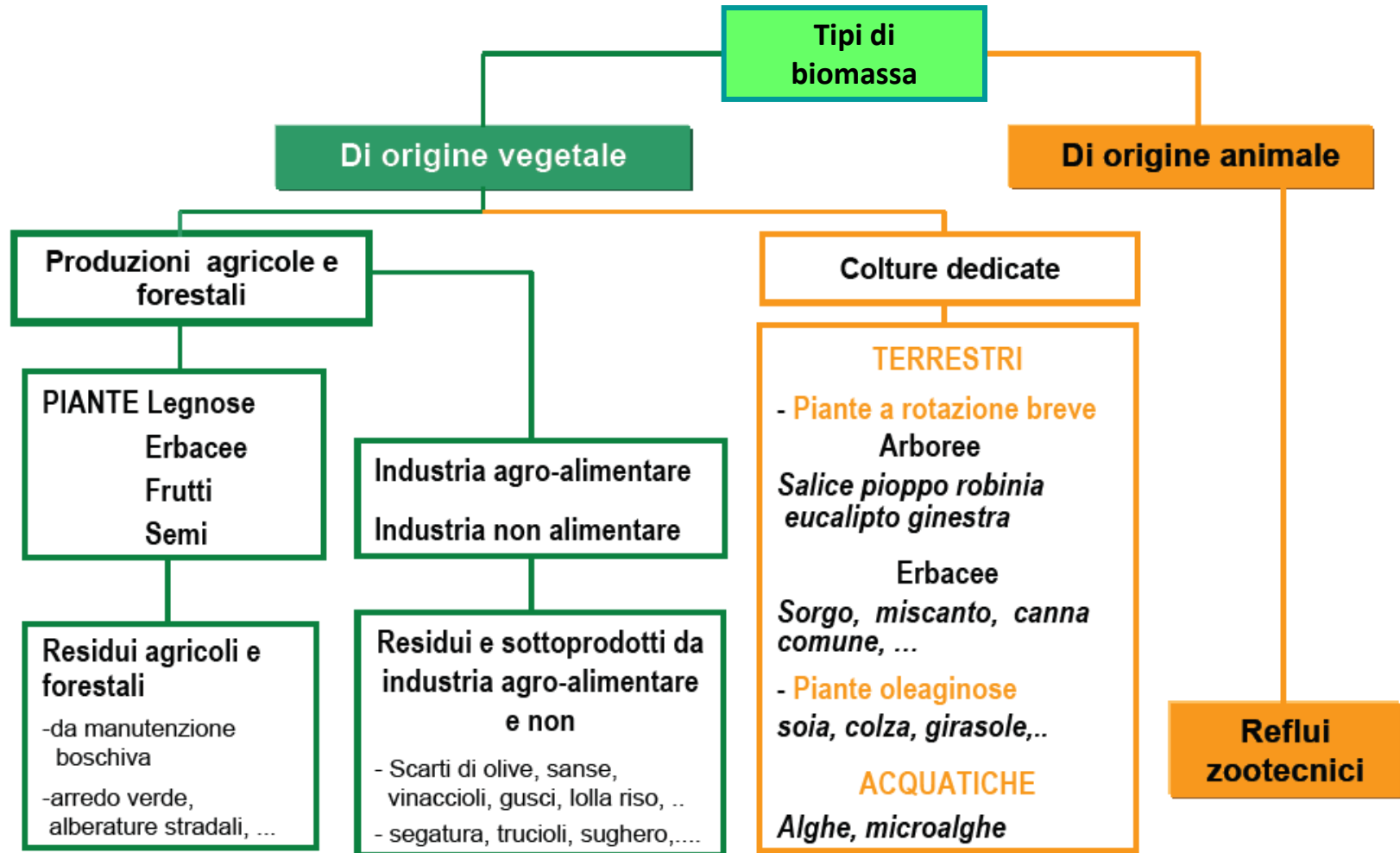
**(≈ 300 000 GWh)**

# La filiera biomassa-energia

---

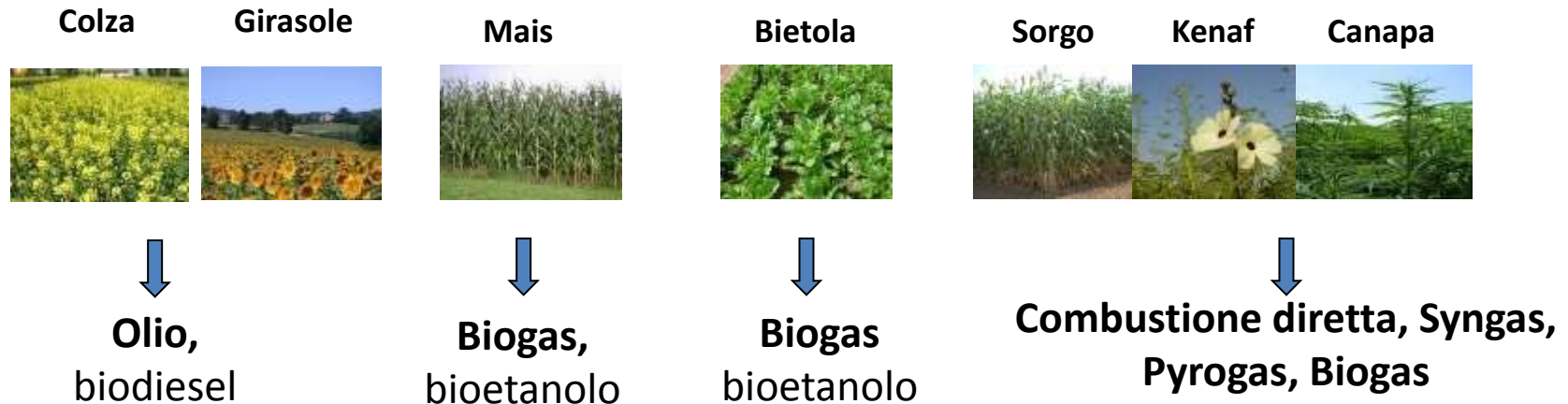


# Tipi di biomassa

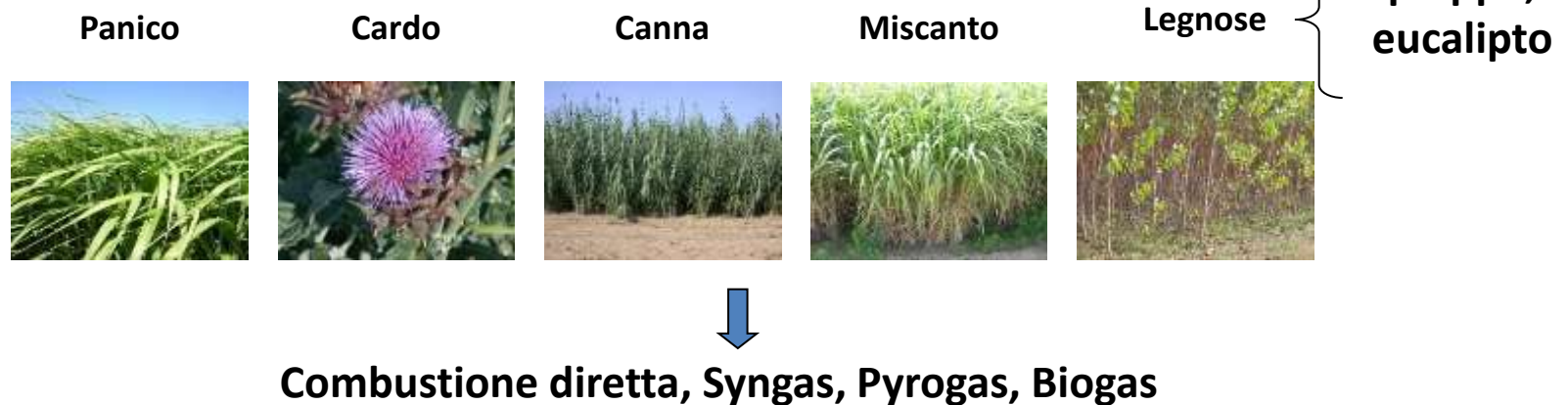


# Colture dedicate

## Annuali



## Poliennali





# Residui

---

I **residui colturali** possono essere paglia, stocchi, residui di potature, semi, erba, etc.



I **residui dell'allevamento** sono costituiti da liquami bovini e suini, letame bovino, etc.



I **residui agroindustriali** possono essere invece la sansa di oliva, la lolla del riso, il pannello proteico dei semi oleosi, etc.



Sansa d'olive



Pannello di girasole

# Processi di trasformazione

Processi di trasformazione	C / N	Umidità	Processo di conversione	Prodotto principale
<b>Biochimico</b>	< 30	> 30 %	Fermentazione <b>Digestione anaerobica</b>	Bioetanolo <b>Biogas</b> Biometano
<b>Termochimico</b>	> 30	< 30 %	<b>Combustione</b> <b>Gassificazione</b> <b>Pirolisi</b>	<b>Energia termica</b> <b>Gas di sintesi</b> <b>Gas di pirolisi, olio</b>
<b>Meccanico</b>	-	-	<b>Estrazione di oli</b>	<b>Olio vegetale</b> Biodiesel

# Digestione anaerobica

---

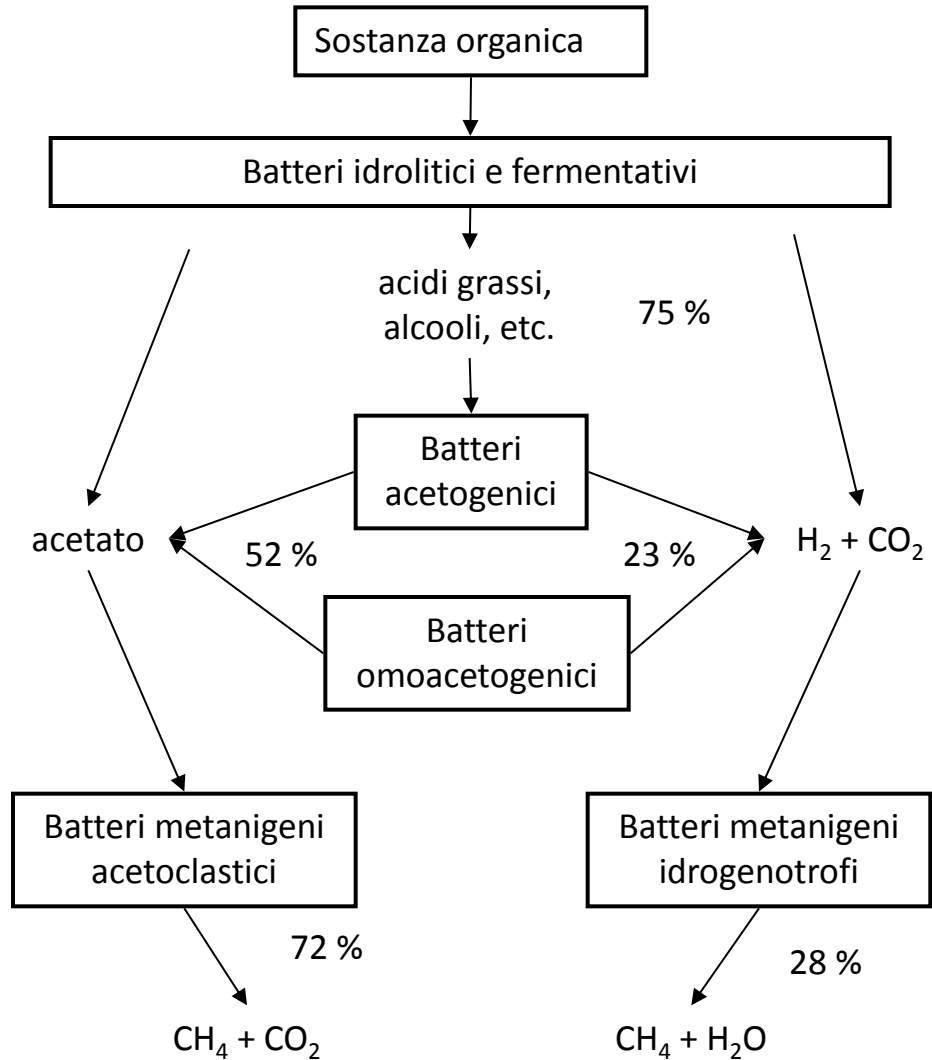
E' un processo che avviene in **assenza di ossigeno** e che consiste nella demolizione, ad opera di micro-organismi, di sostanze organiche complesse contenute nei vegetali e nei sottoprodotti di origine animale, e nella produzione di **biogas costituito abitualmente per il 50-70% circa da metano** e per la restante parte da  $\text{CO}_2$ .



Come sottoprodotti si ottengono anche:

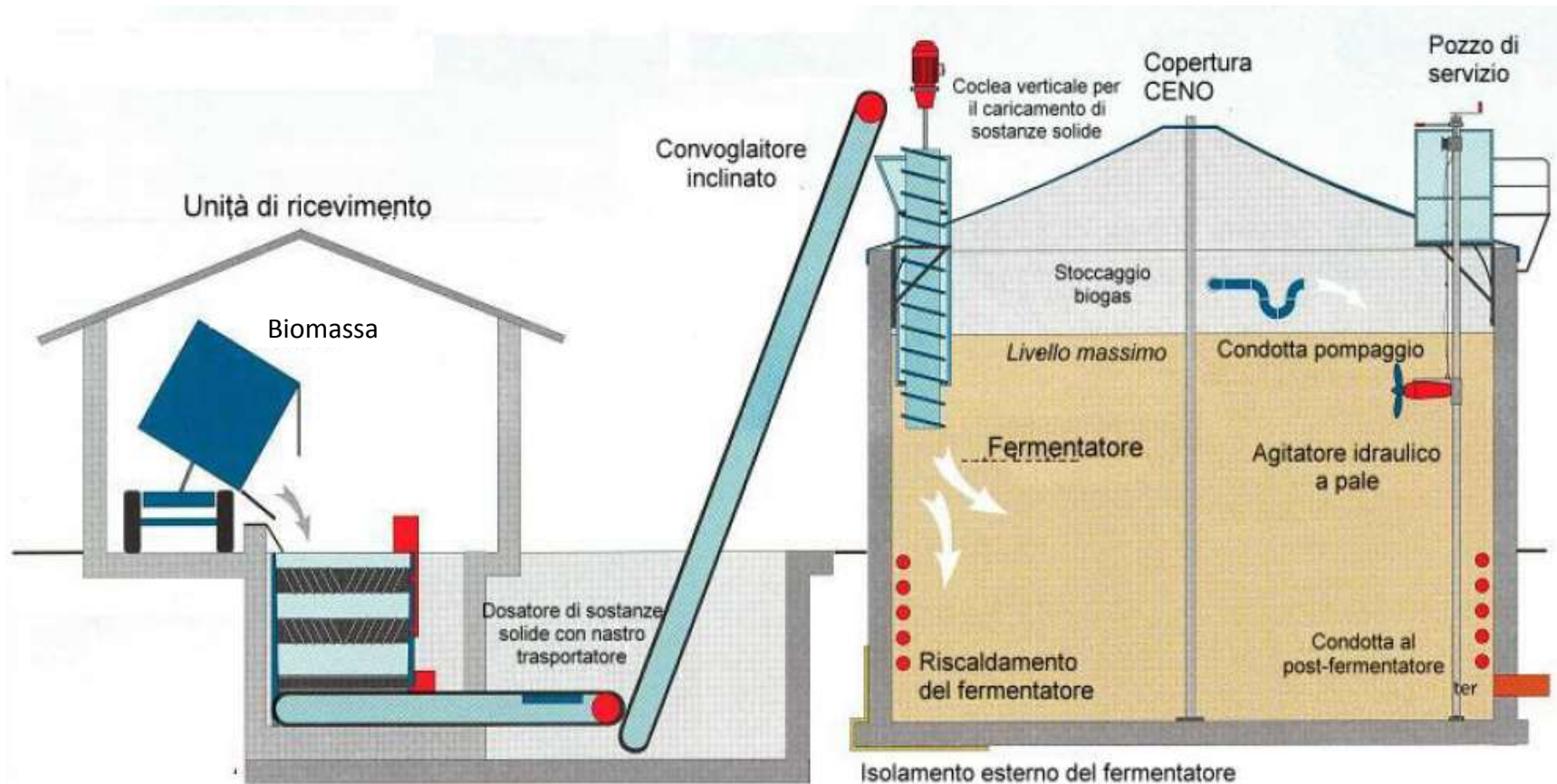
- Residui solidi: utilizzati come fertilizzanti (fosforo, potassio, azoto)
- Liquido chiarificato: fertirrigazione

# Il processo



# Il digestore

## Il reattore completamente miscelato (CSTR)



# Il digestore

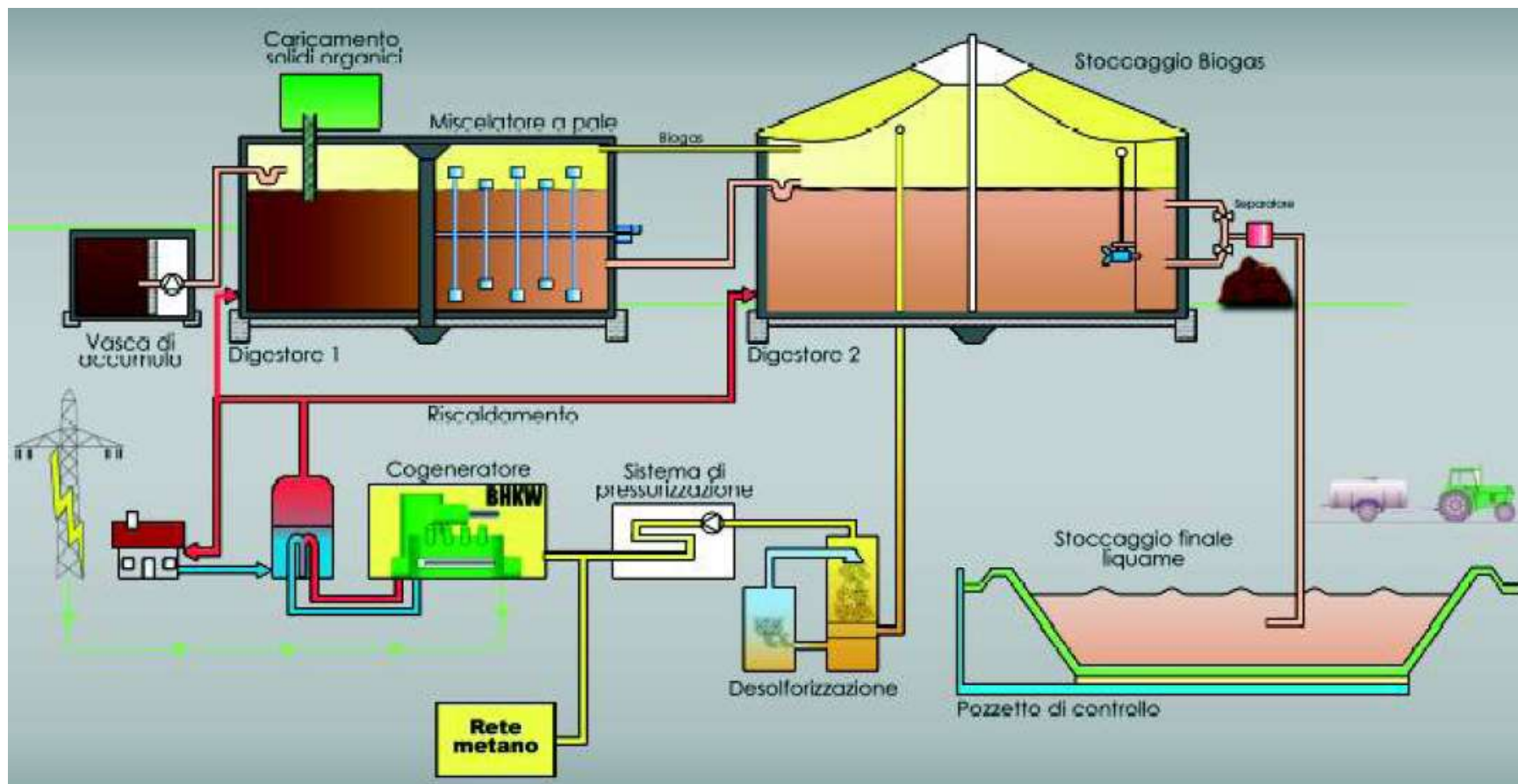


# I sistemi di miscelamento

---



# L'impianto per la digestione



Fonte: M.Soldano, "Biogas: situazione e prospettive", Atti "Corso sulle filiere agroenergetiche", Filiera Biogas, Piacenza, 20 marzo 2009



# Il trattamento del biogas

---

Esempio di sezione di trattamento del biogas per un impianto della potenza di 1 MW.



# Il motore



Il sistema energetico generalmente è un motore endotermico alternativo della potenza elettrica di 1 MW



Il fabbisogno di combustibile è equivalente a quello di circa 100 caldaie domestiche

La stessa erogata da 20 utilitarie circa



# L'uso agronomico del digestato

---

Del digestato, cioè di quello che rimane dal processo di digestione anaerobica di biomasse, può essere fatto un uso agronomico.

Sottoponendo il digestato a separazione solido/liquido si possono ottenere due frazioni:

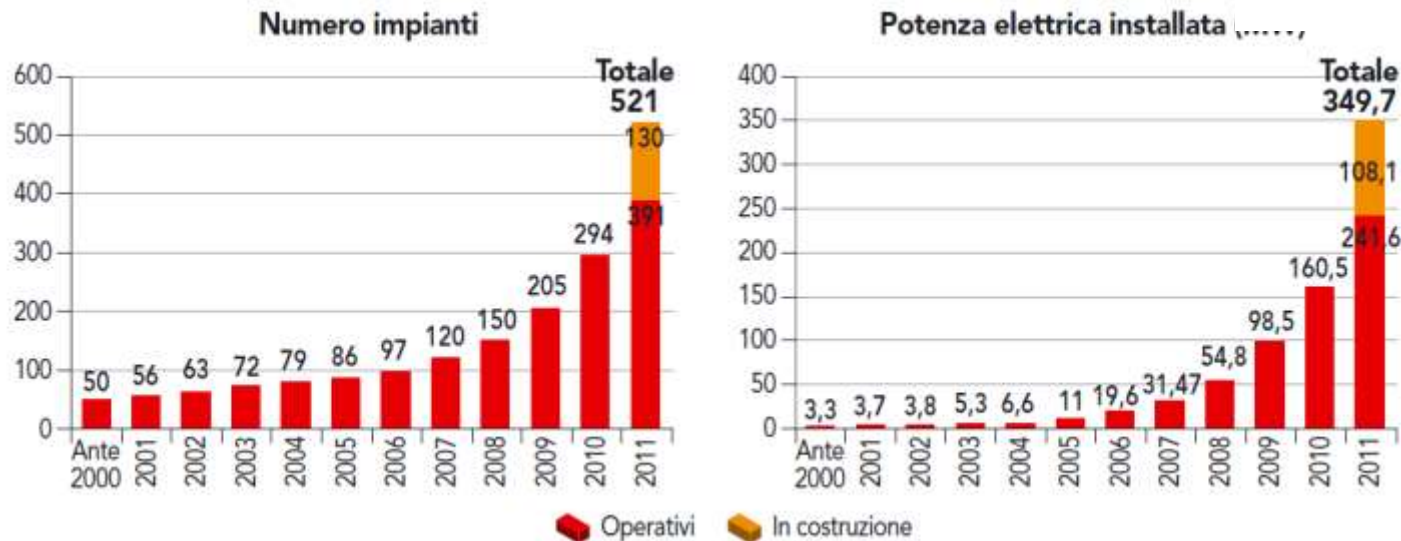
- chiarificata: fertilizzante a buona disponibilità di azoto. Contiene un'elevata percentuale di azoto ammoniacale sull'azoto totale, rapporto N/P non sbilanciato verso il fosforo.
- solida: buone proprietà ammendanti. Concentra in se la sostanza organica del digestato e contiene un'elevata percentuale di azoto organico sull'azoto totale.

Lo spargimento del digestato è vincolato dal dosaggio massimo di azoto per unità di superficie definito dalla Direttiva Nitrati in 170 kg/ha per i suoli classificati "vulnerabili ai nitrati" e 340 kg/ha per gli altri suoli.

# La diffusione in Italia

Nel 2011 il CRPA ha identificato 521 impianti, di cui 130 sono in costruzione.

- Circa il 58% opera in co-digestione di effluenti zootecnici con colture energetiche (mais, sorgo...) e residui dell'agroindustria;
- Quasi tutti gli impianti sono localizzati nelle regioni del nord Italia



# Processi termochimici

---

Sono processi basati sull'azione del calore che consente le reazioni chimiche necessarie a trasformare la biomassa in combustibile.

Utilizza i prodotti ed 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 processi di conversione termochimica sono:

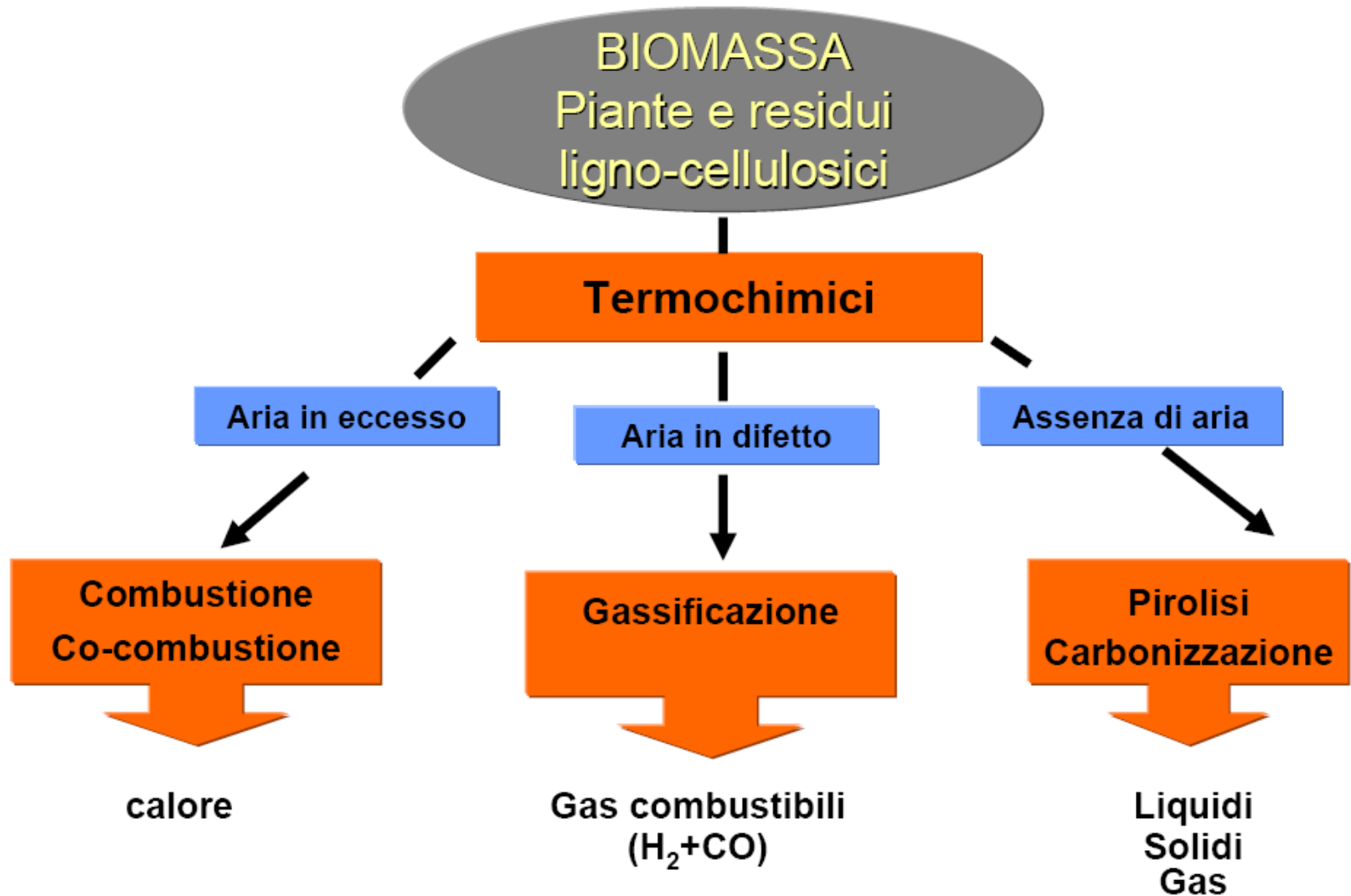
**legna e tutti i suoi derivati** (segatura, trucioli, ecc...);

**sottoprodotti colturali di tipo lignocellulosico** (paglia di cereali, residui di potatura della vite e dei fruttiferi, ecc...);

**scarti di lavorazione** (lolla, pula, gusci, noccioli, ecc.).

# Processi termochimici

---



# Combustione diretta

---

- Tecnologia matura, consolidata ed affidabile
- Avviene in **stufe/caldaie** che possono essere di varia potenzialità - da pochi kW a decine di MW



	Taglia	Potenza	Utilizzo tipico
CALDAIE	Piccola	15-100 kWth	Riscaldamento domestico
	Media	0.2-30 MWth	Civile di tipo collettivo /industriale
	Media	0.2-10 MWth	Teleriscaldamento uso civile
	Grande	10-50 MWth	EE , calore, Cogenerazione

I combustibili utilizzati sono:

Legno

Residui e prodotti agricoli

Residui agroalimentari

# Potere calorifico

COMBUSTIBILE	P.C.I. (kcal/kg - kcal/m <sup>3</sup> )
LEGNA DA ARDERE	2.500 - 4.500
TORBA	3.000 - 4.500
CARBONE DI LEGNA	7.500
LIGNITE	4.000 - 6.200
ANTRACITE	8.000 - 8.500
COKE	7.000
OLIO COMBUSTIBILE	9.800
COMBUSTIBILE PER AEREI	10.400
GASOLIO	10.200
BENZINA PER AUTO	10.500
PETROLIO GREZZO	10.000
GAS DI PETROLIO LIQUEFATTI	11.000
GAS NATURALE	8.300

10 ÷ 19 MJ/kg

3 ÷ 5 kWh/kg

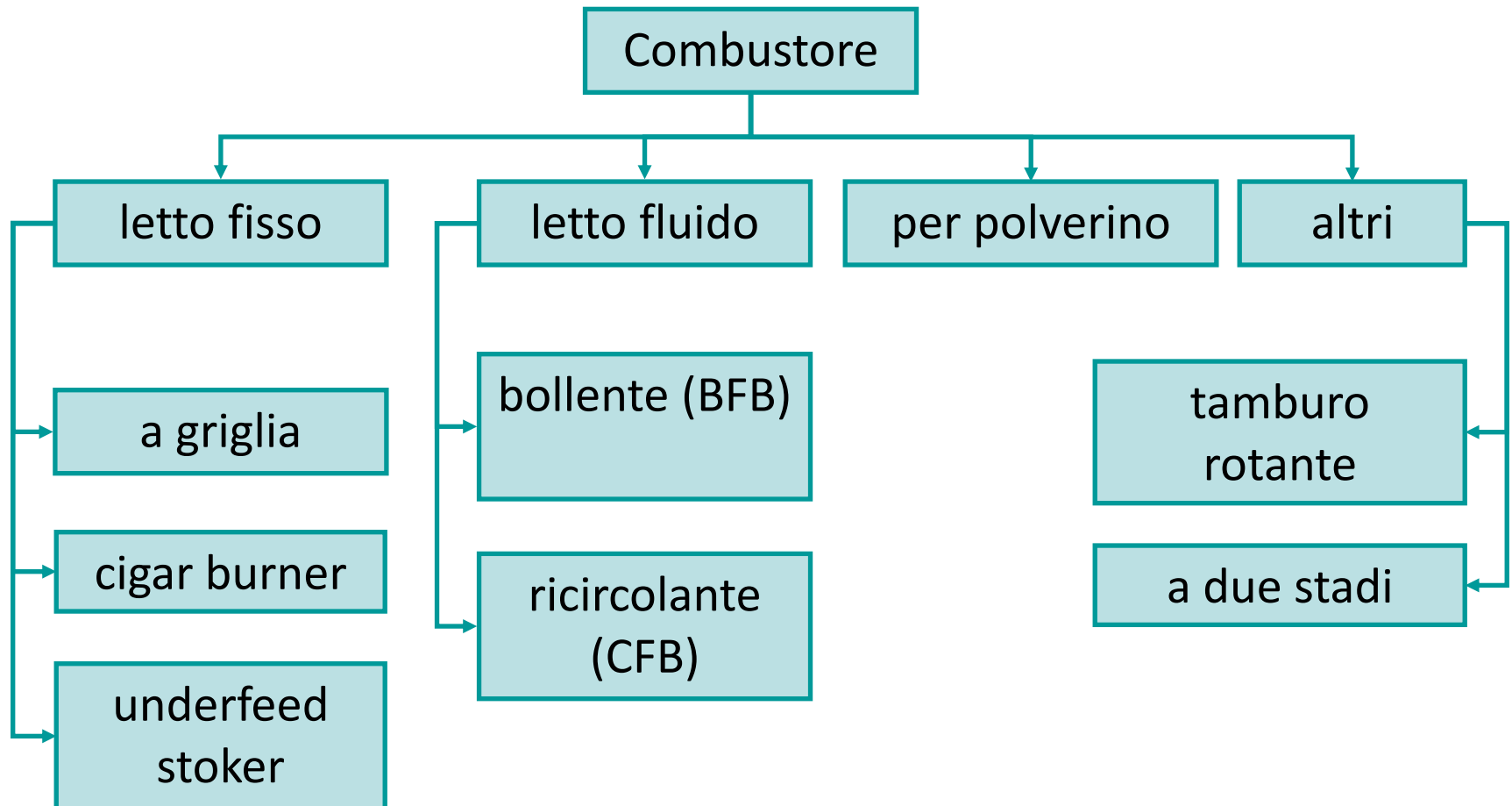
Grande variabilità per la presenza di ceneri e per l'umidità

Fonte: Itabia, 2009, "I traguardi della bioenergia in italia - Rapporto 2008"



# Le tecnologie per la combustione

Esistono molti tipi di bruciatori per biomasse solide ottimizzati per la tipologia della biomassa bruciata



# I metodi meccanici

---

Permette di ricavare un combustibile attraverso operazioni puramente meccaniche (spremitura) o combinati meccanici-chimici

**colture oleaginose dedicate** (colza, girasole, soia)

**oli fritti e grassi animali di scarto**



**Girasole**

**Soia**



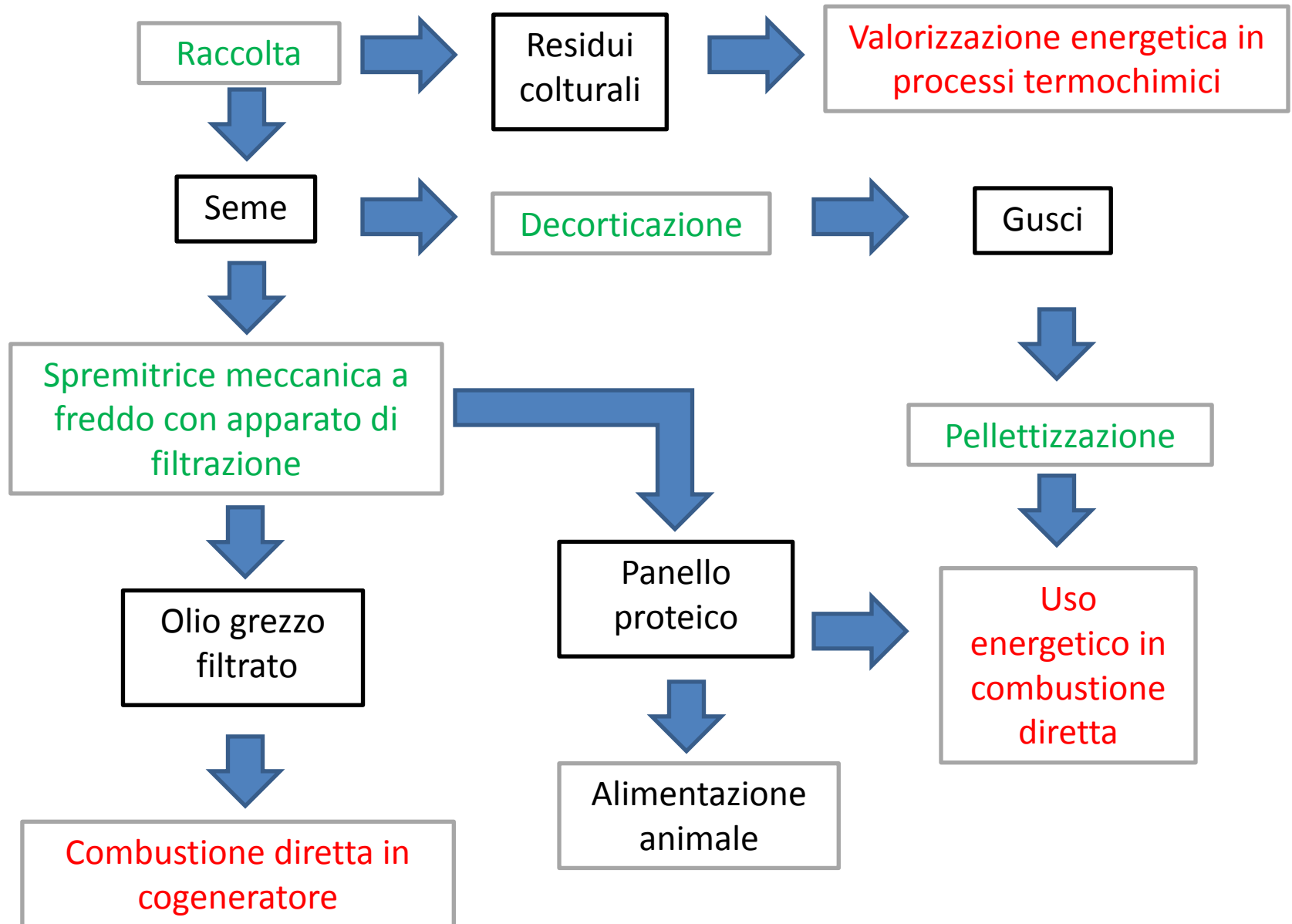
**Colza**



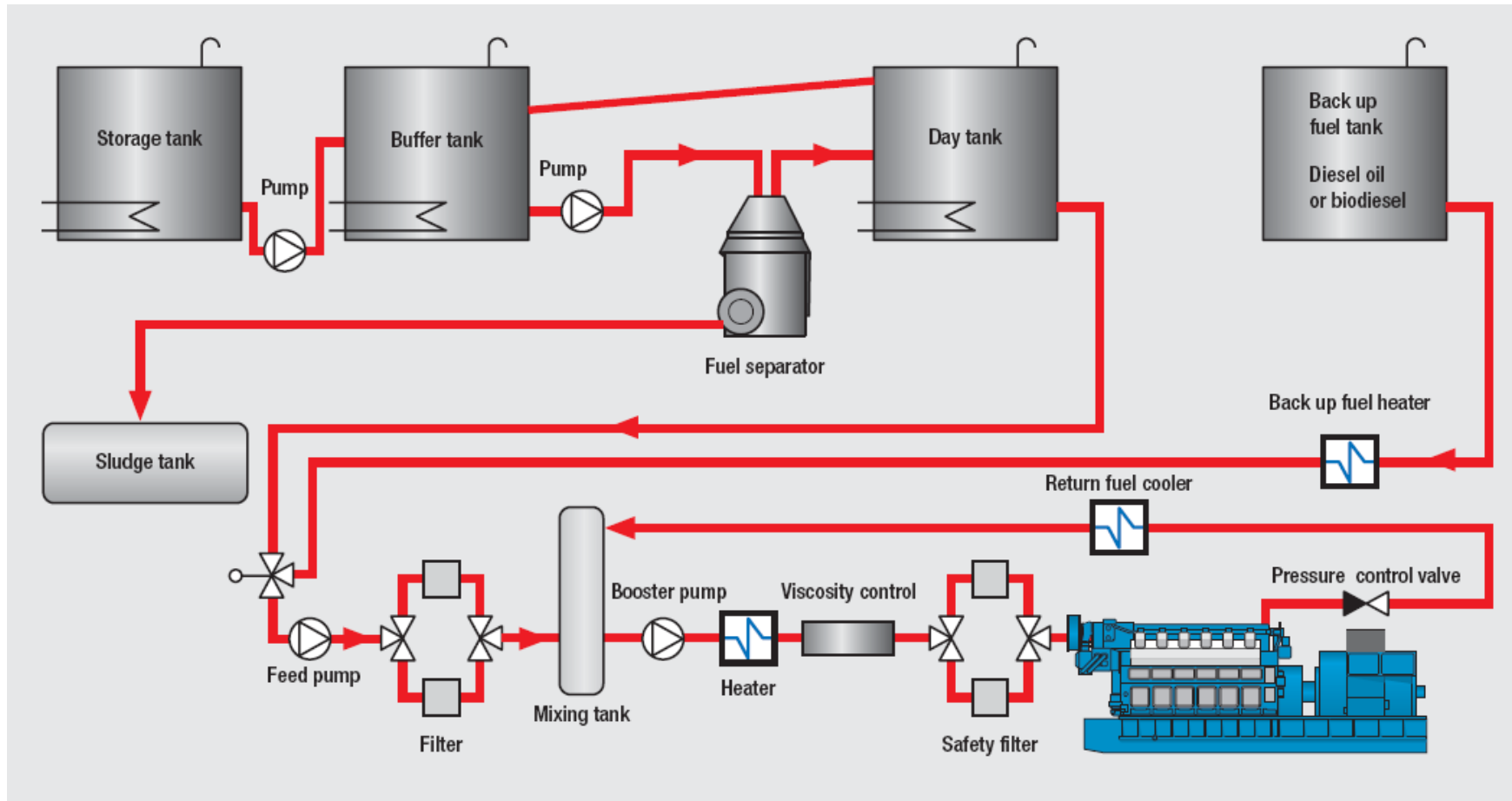
**Palma**



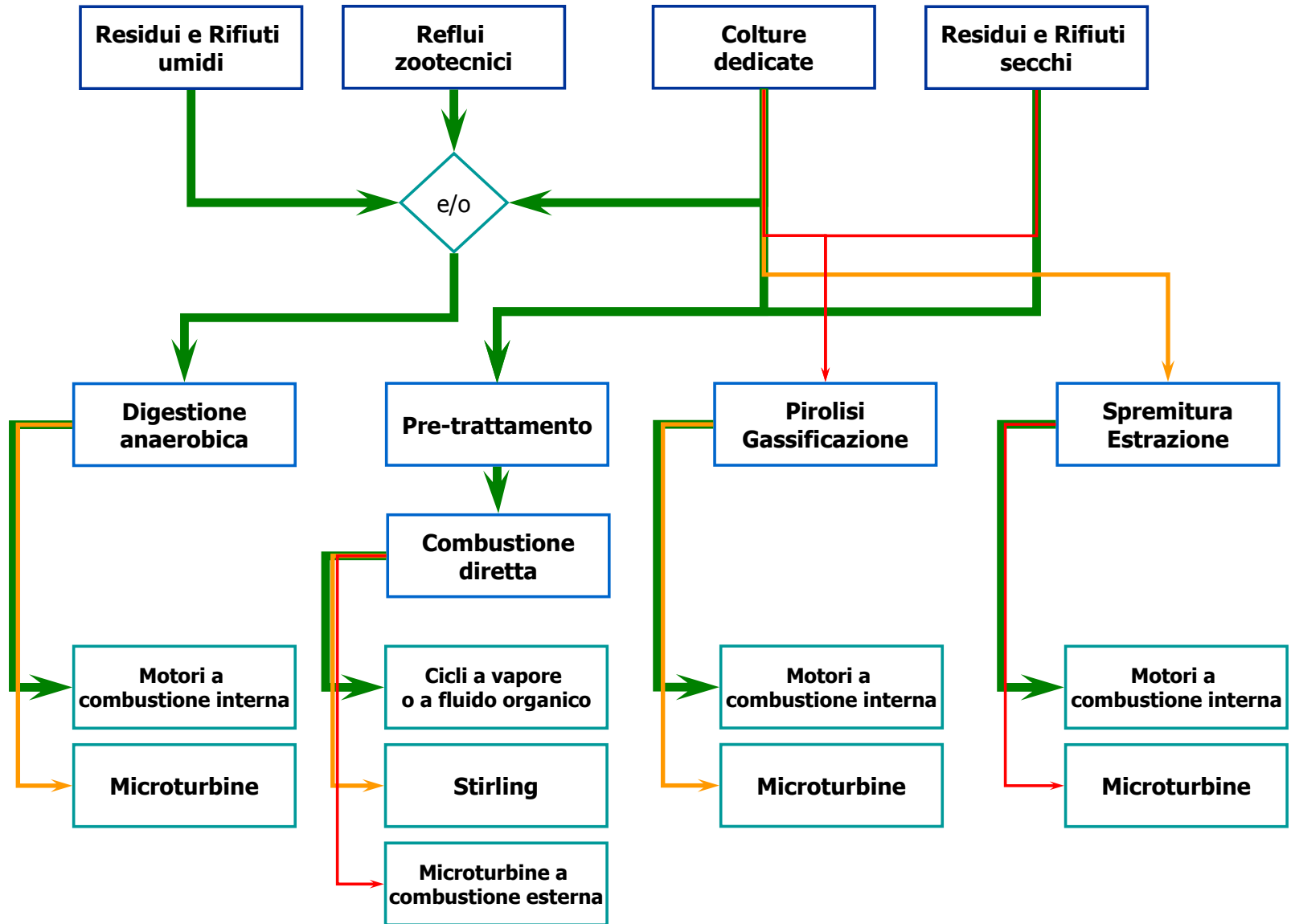
# I prodotti della filiera



# L'impianto ad olio vegetale



# La filiera



# Domande?

---

Mirko Morini, Ph.D.

email: [mirko.morini@unife.it](mailto:mirko.morini@unife.it)

telefono: +39 0532 974966

