

# **FONTI ENERGETICHE RINNOVABILI E NON RINNOVABILI**

Francesco Mancini  
**Università La Sapienza di Roma**  
[francesco.mancini@uniroma1.it](mailto:francesco.mancini@uniroma1.it)  
[www.ingenergia.it](http://www.ingenergia.it)

# Fonti energetiche primarie e secondarie

- Una fonte di energia viene definita *primaria* quando è presente in natura e non deriva dalla trasformazione di nessun'altra forma di energia
- Fonti primarie: sia combustibili direttamente utilizzabili (petrolio grezzo, gas naturale, carbone), sia energia nucleare, sia fonti rinnovabili
- Una fonte di energia è detta *secondaria*, quando può essere utilizzata solo a valle di una trasformazione (come la benzina, in seguito a raffinazione chimica, o l'energia elettrica o l'idrogeno)
- Si definisce *fattore di conversione in energia primaria*, per un dato vettore energetico, il rapporto adimensionale che indica la quantità di energia primaria impiegata per produrre un'unità di energia secondaria
- Questo fattore può riferirsi all'energia primaria non rinnovabile, all'energia primaria rinnovabile o all'energia primaria totale come somma delle precedenti.
- Di particolare interesse è il fattore di conversione in energia primaria dell'energia elettrica, che tiene conto del rendimento medio del sistema di generazione e delle perdite medie di trasmissione del sistema elettrico nazionale. Tale valore è attualmente pari a 2,174

# Fonti energetiche non rinnovabili

- **Fonti non rinnovabili:** fonti di energia che tendono ad esaurirsi sulla scala dei tempi umani, in quanto la loro formazione richiede tempi molto lunghi
- Sono non rinnovabili la maggior parte delle fonti normalmente utilizzate per la produzione di energia elettrica, per la produzione di combustibili per i mezzi di trasporto, per il riscaldamento e per la refrigerazione degli ambienti
  - fonti fossili come il carbone, il petrolio e il gas naturale
  - energia nucleare (i minerali contenenti uranio, plutonio e torio non sono inesauribili)
- Sono largamente impiegate per la facilità di impiego (dal punto di vista tecnologico) e per l'elevato contenuto energetico per unità di massa
- All'impiego di queste risorse energetiche si accompagna la produzione di inquinanti di vario tipo (anidride solforosa, polveri, ossidi di azoto, anidride carbonica, ecc.), nonché di scorie radioattive

# Fonti energetiche rinnovabili

- **Fonti rinnovabili:** le forme di energia prodotte da risorse naturali che per loro caratteristica intrinseca si rigenerano almeno alla stessa velocità con cui vengono consumate; non sono esauribili in tempi geologici e quindi il loro utilizzo non ne pregiudica la disponibilità per le generazioni future
- Molte fonti rinnovabili hanno la peculiarità di essere anche pulite ovvero di non immettere nell'atmosfera sostanze nocive o climalteranti
- Alcune fonti rinnovabili possono diventare esauribili, quando se ne faccia un utilizzo esagerato; ad esempio, il legno è una risorsa rinnovabile quando la quantità di alberi tagliati è inferiore alla quantità degli alberi che nascono

# Fonti energetiche rinnovabili

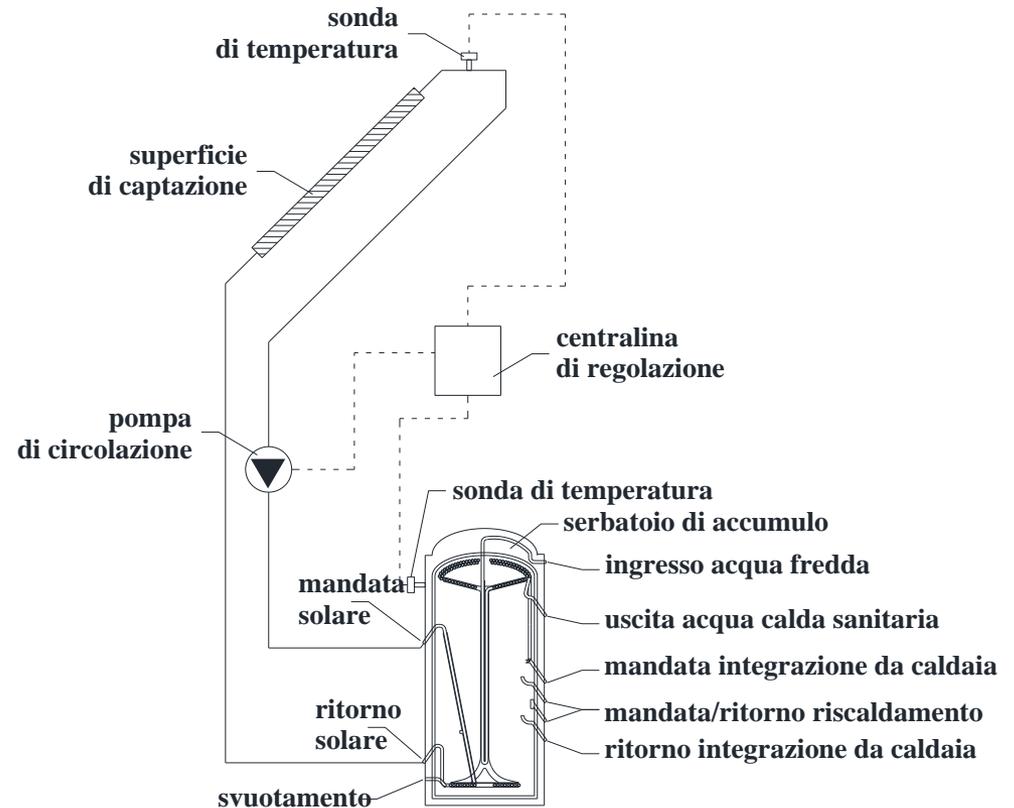
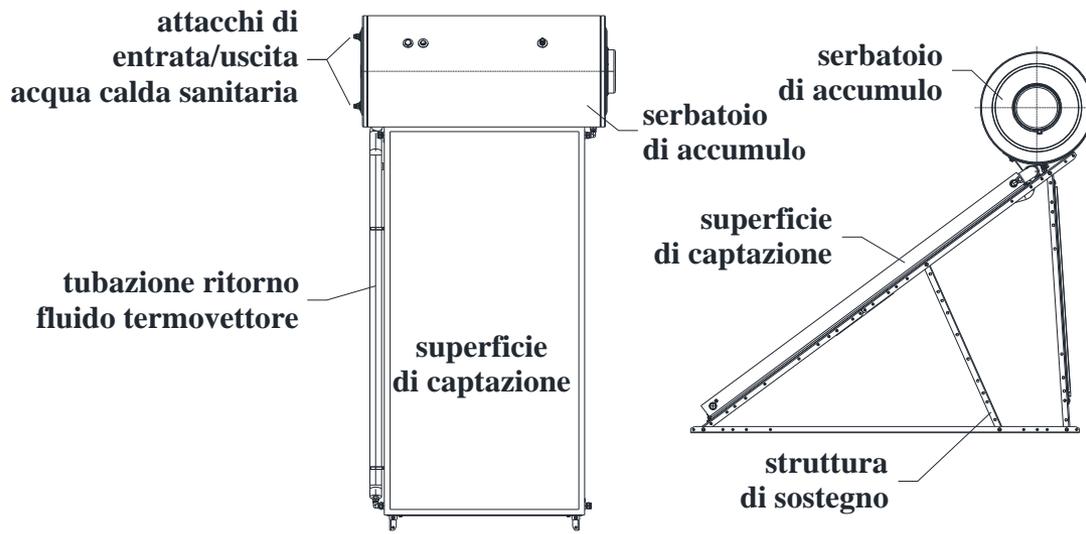
Il D.Lgs. 28/2011 definisce *energia da fonti rinnovabili l'energia proveniente da fonti rinnovabili non fossili, vale a dire energia solare, eolica, aerotermica, geotermica, idrotermica e oceanica, idraulica, energia da biomassa, energia da gas di discarica, da gas residuati dai processi di depurazione e biogas.*

- l'energia aerotermica è l'energia accumulata nell'aria ambiente sotto forma di calore;
- l'energia geotermica è l'energia immagazzinata sotto forma di calore nella crosta terrestre;
- l'energia idrotermica è l'energia immagazzinata nelle acque superficiali sotto forma di calore;
- la biomassa è la frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, gli sfalci e le potature provenienti dal verde pubblico e privato, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani;
- i bioliquidi sono combustibili liquidi prodotti dalla biomassa e utilizzati per scopi energetici diversi dal trasporto, compresi la produzione di elettricità, il riscaldamento ed il raffreddamento;
- i biocarburanti sono carburanti liquidi o gassosi per i trasporti ricavati dalla biomassa.

# Solare termico

- Un impianto solare termico è un sistema che trasforma l'energia solare in energia termica, ossia in calore
- L'energia termica può essere utilizzata:
  - per la produzione di acqua calda ad uso sanitario
  - per il riscaldamento degli ambienti
  - per il riscaldamento delle piscine
  - per usi diversi di tipo industriale o agricolo
  - per la climatizzazione estiva
- Un impianto solare termico si compone di:
  - un sistema di captazione dell'energia (i pannelli solari termici)
  - un sistema di accumulo
  - eventualmente una pompa di circolazione e un sistema di regolazione
  - può essere necessario un sistema di integrazione della produzione di energia termica da parte di una fonte sicura
- Tipologie di pannelli solari termici :
  - i pannelli piani vetrati
  - i pannelli sottovuoto

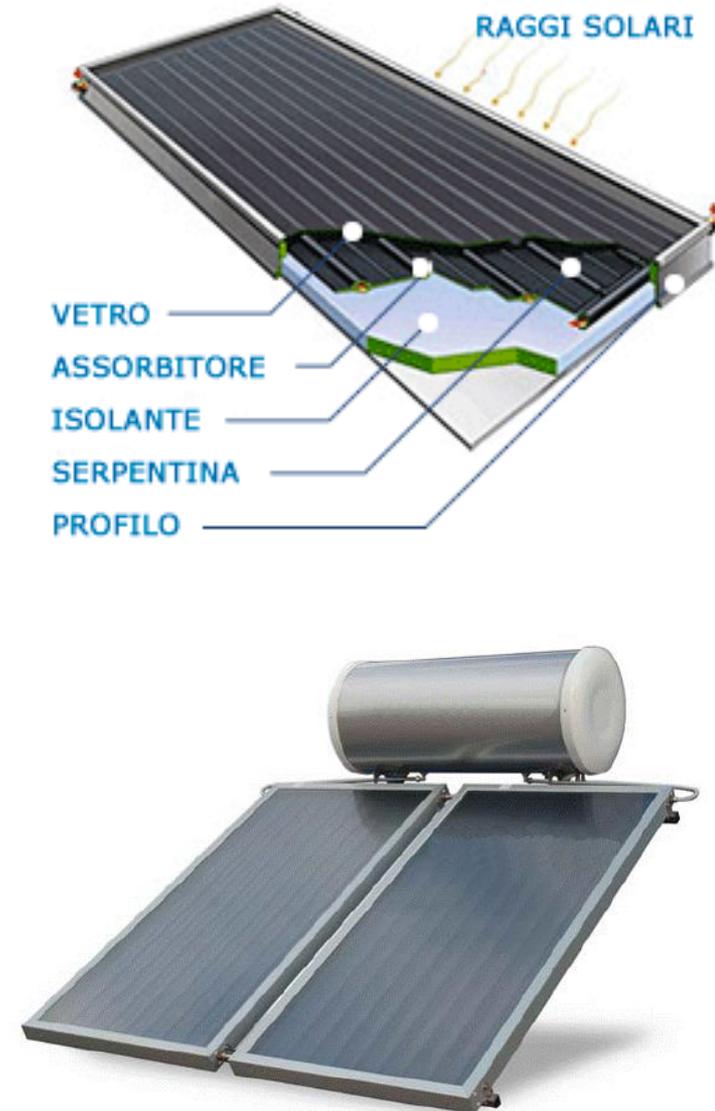
# Solare termico



- Gli impianti solari termici possono essere a circolazione naturale o a circolazione forzata.

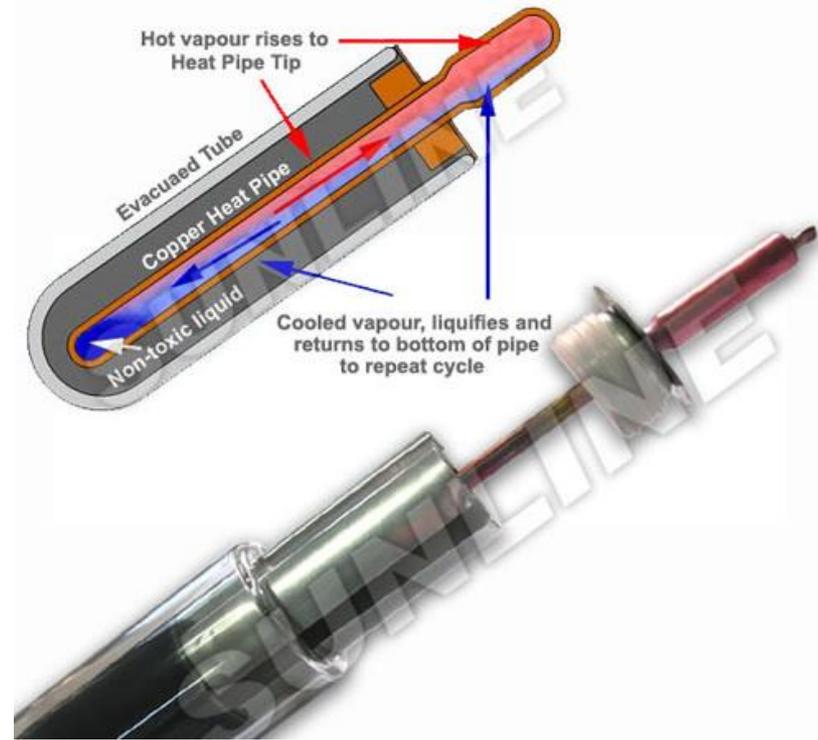
# Pannelli piani vetrati

- Costituiti da una piastra metallica posta all'interno di un involucro isolato termicamente, ricoperto anteriormente da una superficie vetrata (comportamento selettivo).
- La radiazione solare che attraversa la superficie vetrata è assorbita dalla piastra metallica che riscalda il liquido termovettore che circola all'interno del pannello.
- Buon rapporto costi/benefici e buon rendimento termico in applicazioni in cui le temperature richieste non sono molto elevate, ad esempio per la produzione di acqua calda sanitaria, per il riscaldamento degli ambienti con elementi radianti a pavimento o per il riscaldamento delle piscine.
- Possono produrre acqua calda fino a 90-95°C. La loro resa diminuisce però in modo sensibile oltre i 65-70°C.

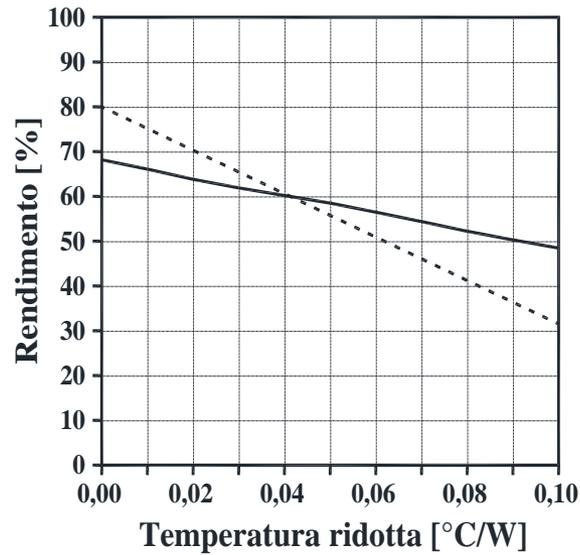


# Pannelli sottovuoto

- Costituiti da condotti di vetro posti sottovuoto, al cui interno sono posizionate le tubazioni che, assorbendo la radiazione solare, riscaldano il liquido in circolazione.
- Elevato rendimento grazie alle basse dispersioni di energia
- Più complessi e costosi rispetto ai pannelli piani
- Utilizzati in località caratterizzate da bassa insolazione oppure per applicazioni in cui si richiedano temperature più elevate.
- Possono produrre acqua calda fino a 110-115°C: queste temperature consentono un'ampia gamma di utilizzazioni, in campo industriale, agricolo e alimentare.
- L'energia termica a temperature elevate può essere impiegata per il funzionamento di gruppi frigoriferi ad assorbimento



# Solare termico



— pannello sottovuoto  
 - - - - pannello piano

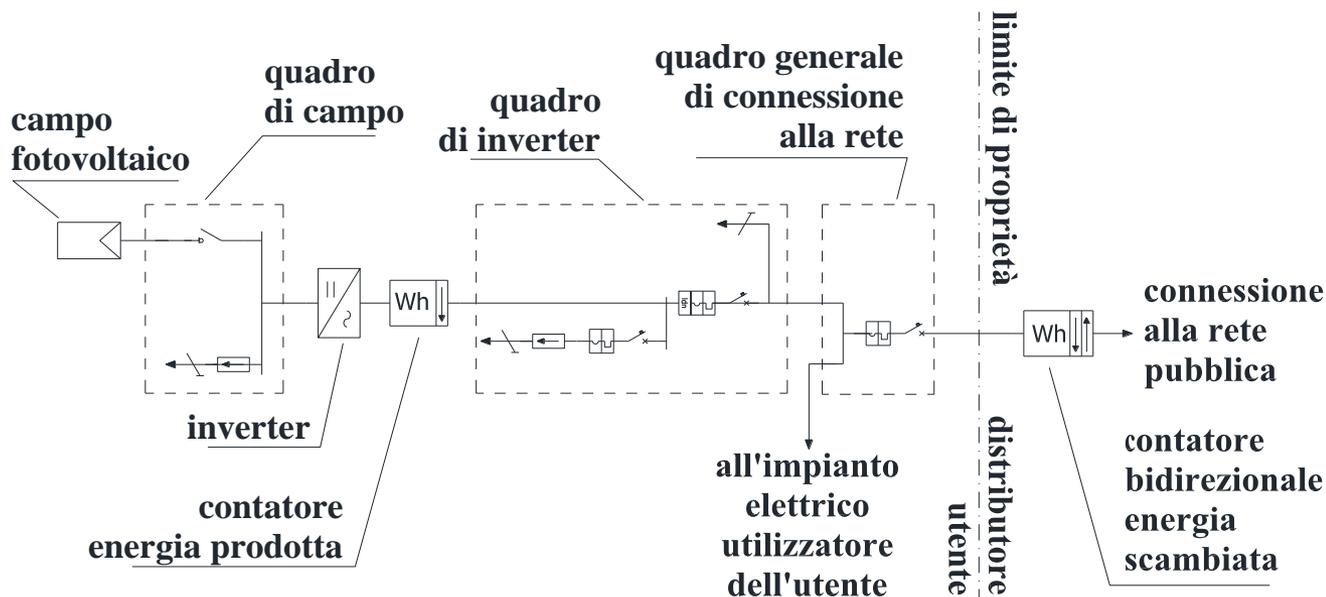
Temperatura ridotta è il rapporto tra la differenza di temperatura (tra il fluido termovettore circolante nel pannello e l'ambiente) e la radiazione solare.

Energia termica giornaliera in kWh/m<sup>2</sup> con acqua calda a 45°C. Valore medio annuo.

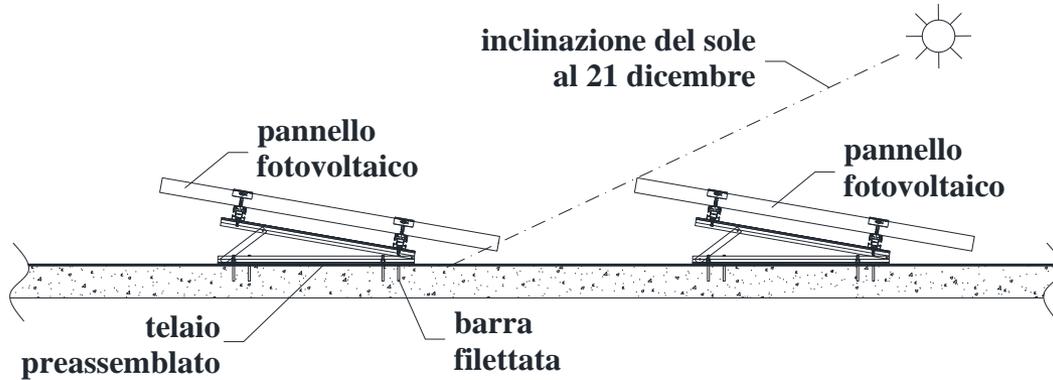
Province	collettore piano	collettore sotto vuoto
Alessandria, Aosta, Arezzo, Asti, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Como, Cuneo, Gorizia, Lecco, Lodi, Mantova, Milano, Novara, Padova, Pavia, Pistoia, Pordenone, Prato, Torino, Trieste, Udine, Varese, Verbania, Vercelli, Verona, Vicenza	1,47	1,76
Ancona, Aquila, Ascoli, Bologna, Brescia, Cremona, Ferrara, Firenze, Forlì, Genova, Isernia, La Spezia, Lucca, Massa C., Modena, Parma, Perugia, Pesaro, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rieti, Rimini, Rovigo, Salerno, Savona, Siena, Sondrio, Teramo, Terni, Trento, Treviso, Venezia, Viterbo	1,57	1,88
Avellino, Benevento, Cagliari, Campobasso, Chieti, Foggia, Frosinone, Grosseto, Imperia, Livorno, Macerata, Matera, Pescara, Pisa, Potenza, Roma	1,74	2,09
Bari, Brindisi, Caserta, Catanzaro, Crotone, Latina, Lecce, Messina, Napoli, Nuoro, Oristano, Reggio Calabria, Sassari, Taranto, Vibo Valenzia	1,95	2,34
Agrigento, Caltanissetta, Catania, Cosenza, Enna, Palermo, Ragusa, Siracusa, Trapani	2,16	2,60

# Impianto solare fotovoltaico

- Sistema che trasforma l'energia solare in energia elettrica
- Può essere autonomo o connesso alla rete pubblica; nel primo caso, l'energia elettrica prodotta deve essere accumulata e può essere utilizzata per qualsiasi uso all'interno dell'edificio; nel secondo caso, non sussiste la necessità dell'accumulo e l'energia prodotta può essere utilizzata all'interno dell'edificio o anche immessa in rete
- Costituito da più moduli collegati in serie o in parallelo in funzione della tensione che si vuole ottenere
- L'energia elettrica prodotta è in corrente continua e, pertanto, è necessario un convertitore (inverter) da corrente continua a corrente alternata; l'inverter può essere centralizzato o dedicato al singolo modulo



# Solare fotovoltaico



- silicio monocristallino 16-21%;
- silicio policristallino 15-16%;
- silicio amorfo 6-8%.

- La superficie occupata dall'impianto è poco maggiore rispetto a quella occupata dai soli moduli fotovoltaici, che richiedono, per la tecnologia silicio policristallino e silicio monocristallino, circa 8-10 m<sup>2</sup>/kW e per il silicio amorfo circa 20 m<sup>2</sup>/kW
- Le superfici d'ingombro devono essere intese come nette, escludendo ombreggiamenti di ogni tipo sia da oggetti esterni sia da altri moduli dello stesso impianto; in aggiunta, dovranno essere considerati eventuali spazi da lasciare liberi per la manutenzione.



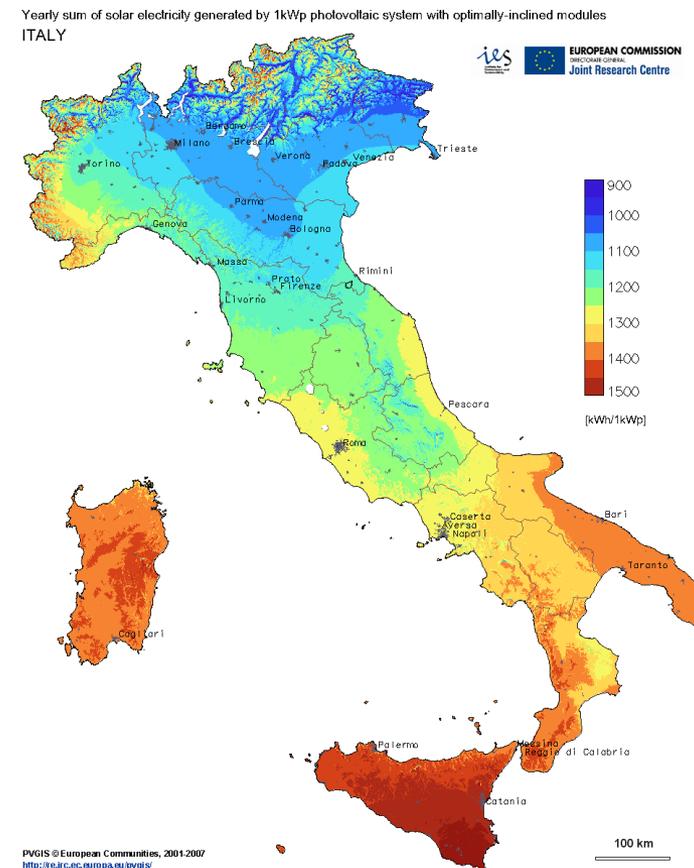
# Solare fotovoltaico

La potenza nominale di un impianto fotovoltaico è calcolata sulla base di una radiazione incidente pari a 1000 W/m<sup>2</sup>.

$$E = P \cdot h_{eq}$$

Ore equivalenti di funzionamento un impianto fotovoltaico

Province	$h_{eq}$
Alessandria, Aosta, Arezzo, Asti, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Como, Cuneo, Gorizia, Lecco, Lodi, Mantova, Milano, Novara, Padova, Pavia, Pistoia, Pordenone, Prato, Torino, Trieste, Udine, Varese, Verbania, Vercelli, Verona, Vicenza	1282
Ancona, Aquila, Ascoli, Bologna, Brescia, Cremona, Ferrara, Firenze, Forlì, Genova, Isernia, La Spezia, Lucca, Massa C., Modena, Parma, Perugia, Pesaro, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rieti, Rimini, Rovigo, Salerno, Savona, Siena, Sondrio, Teramo, Terni, Trento, Treviso, Venezia, Viterbo	1424
Avellino, Benevento, Cagliari, Campobasso, Chieti, Foggia, Frosinone, Grosseto, Imperia, Livorno, Macerata, Matera, Pescara, Pisa, Potenza, Roma	1567
Bari, Brindisi, Caserta, Catanzaro, Crotone, Latina, Lecce, Messina, Napoli, Nuoro, Oristano, Reggio Calabria, Sassari, Taranto, Vibo Valenzia	1709
Agrigento, Caltanissetta, Catania, Cosenza, Enna, Palermo, Ragusa, Siracusa, Trapani	1852



# Pompe di calore

Bilancio di energia

$$Q_2 = Q_1 - E$$

$$COP = \frac{Q_1}{E}$$

Bilancio in termini di energia primaria

$$Q_{2,RINN} = Q_1 - E \cdot f_{ELE,PRIM}$$

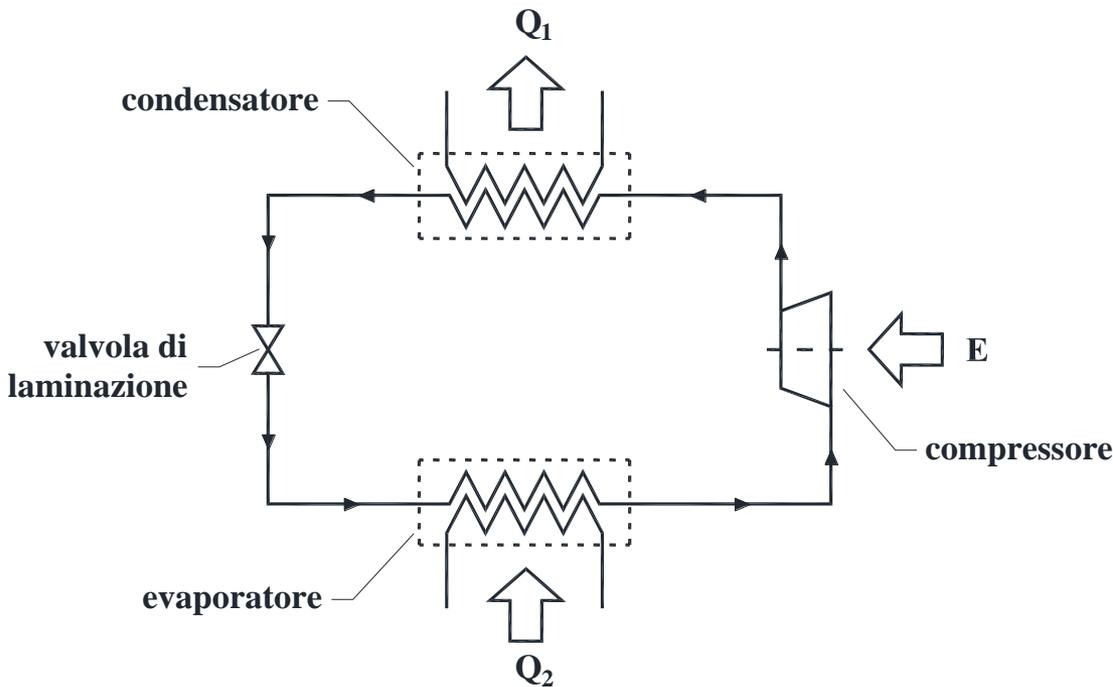
D.Lgs.28/2011

$$Q_1 > E \cdot f_{ELE,PRIM} \cdot 1,15$$

$$\frac{Q_1}{E} = COP > f_{ELE,PRIM} \cdot 1,15$$

$$Q_{2,RINN} = (COP - f_{ELE,PRIM}) \cdot E$$

L'energia rinnovabile utilizzata dalla pompa di calore cresce al crescere del COP ed è maggiore quando la differenza di temperatura tra le due sorgenti è bassa

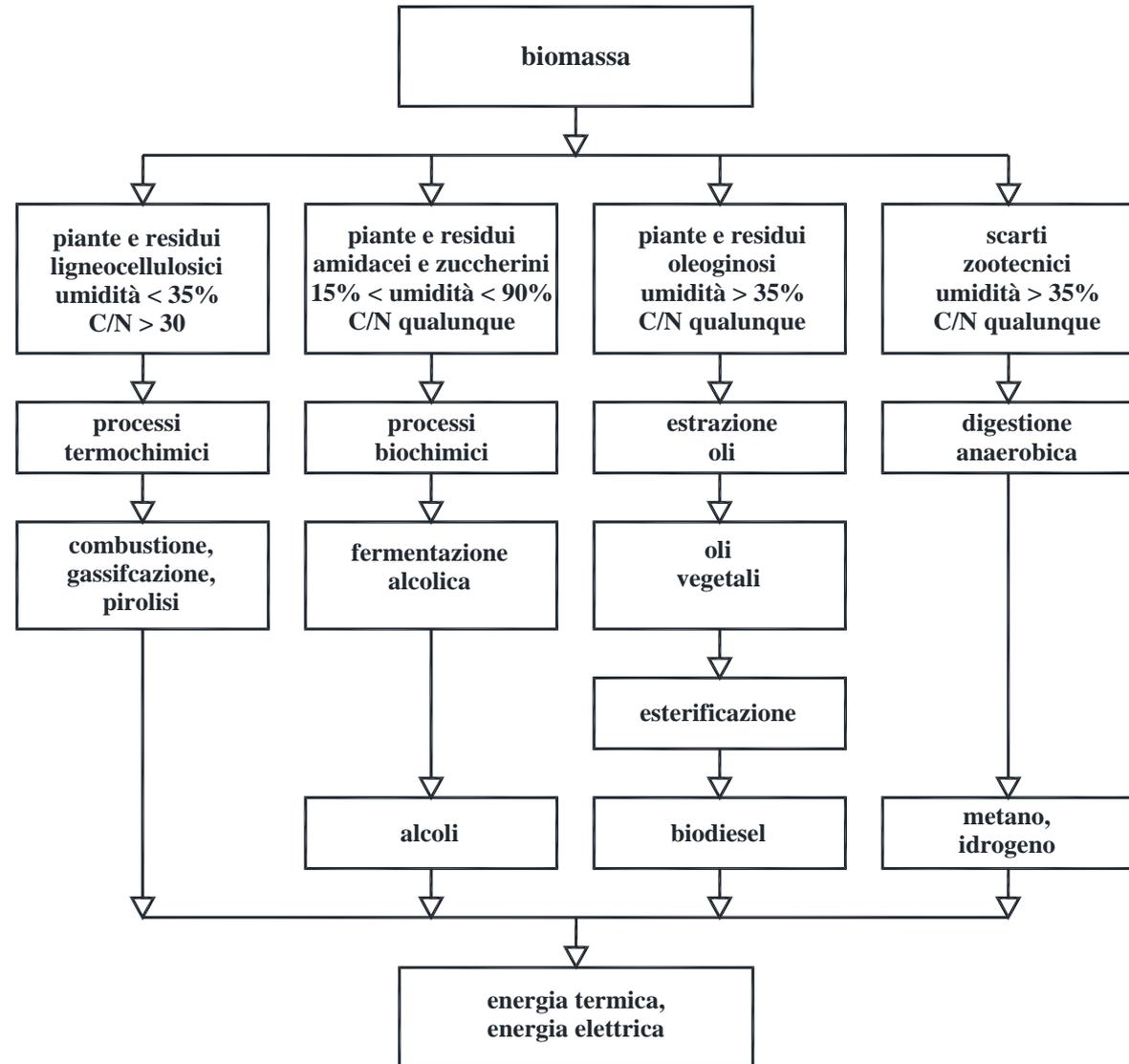


# Biomasse

- **Biomassa:** materiale di origine vegetale che non ha subito processi di fossilizzazione
- Forma complessa di accumulo dell'energia solare: le piante, durante la loro crescita, convertono la CO<sub>2</sub> atmosferica in materia organica, tramite il processo di fotosintesi e fissano carbonio con buon contenuto energetico
- Rispetto ai combustibili fossili, che emettono la CO<sub>2</sub> assorbita milioni di anni fa, le biomasse presentano un bilancio di CO<sub>2</sub> “neutro”, in quanto quella emessa è bilanciata da quella assorbita durante la crescita della biomassa
- residui del comparto agricolo (potature degli alberi, paglie, steli, foglie, residui in genere di varie coltivazioni);
- residui del comparto zootecnico, sotto forma di reflui e residui solidi degli allevamenti (lettiere, pollina, liquami, letami);
- residui del comparto agro-industriale, derivanti dall'industria del legno, della carta, dall'industria olearia o delle bevande alcoliche;
- boschi e foreste, come legna e residui delle potature;
- colture a scopo energetico, ovvero da specie vegetali arboree ed erbacee coltivate appositamente per la produzione di energia (biomasse oleaginose, zuccherine-amidacee e ligno-cellulosiche).

# Biomasse

- Si possono ottenere direttamente combustibili solidi (legna, residui agricoli e forestali)
- Oppure si possono ottenere combustibili liquidi e gassosi attraverso opportuni processi di trasformazione strutturale
- La scelta della tecnologia migliore dipende dal contenuto di umidità e dal rapporto tra contenuto di carbonio e contenuto di azoto (C/N).



# Biomasse

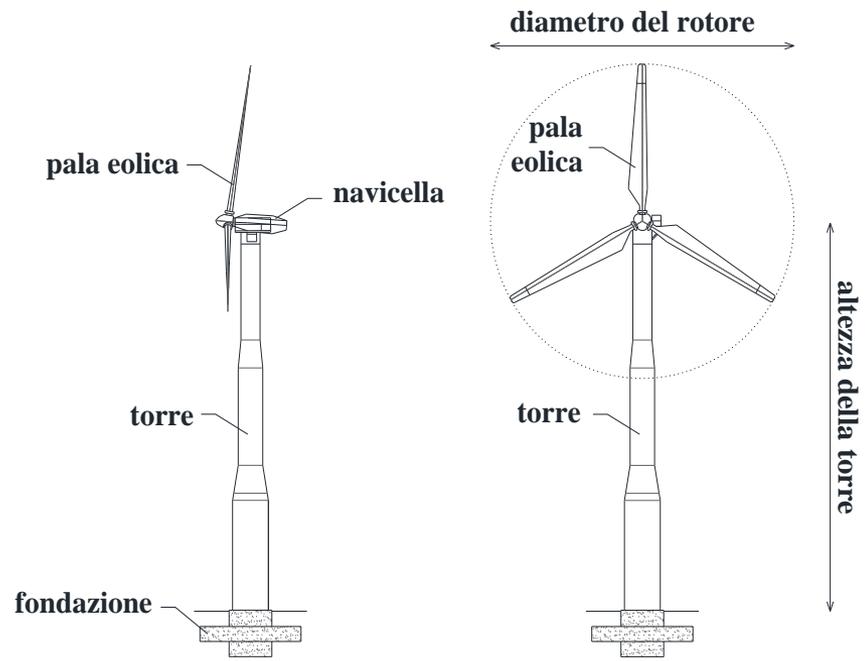


# Aspetti problematici nell'impiego di biomasse

- lo stoccaggio: le biomasse sono stagionali ed hanno un basso contenuto energetico; si dovrà quindi provvedere a dimensionare un accumulo di dimensioni adeguate a consentire la produzione di energia nei periodi desiderati. L'accumulo della biomassa può costituire un vantaggio rispetto ad altre fonti rinnovabili (sole, vento) consentendo di programmare la produzione di energia
- il contenuto di umidità che rende necessario l'essiccamento e la resistenza meccanica elevata che rende difficile la comminazione, necessaria ad una più semplice movimentazione e utilizzazione
- emissioni (gassose, liquide e solide) comuni a tutti i processi di combustione; la quantità e la qualità delle emissioni dipendono dal tipo di biomassa, dal tipo di processo e dal tipo di impianto
- il problema del trasporto delle biomasse; il bilancio della CO<sub>2</sub> non è neutro se si considera tutta la filiera (produzione, lavorazione e trasporto); la filiera di utilizzo della biomassa deve completarsi in un raggio di 50-70 km dal luogo di produzione
- colture a scopo energetico: perplessità riguardanti la reale disponibilità di superfici agricole; competizione tra l'attività agricola a scopo alimentare e quella a scopo energetico

# Eolico

L'energia eolica è l'energia ottenuta dal vento per conversione dell'energia cinetica, posseduta dalle correnti d'aria, in altre forme di energia (elettrica o meccanica).



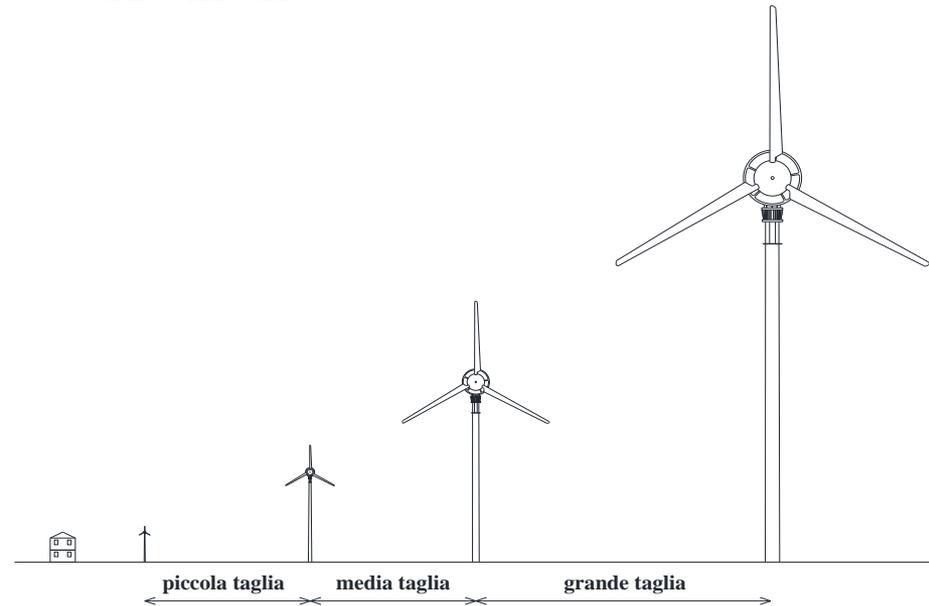
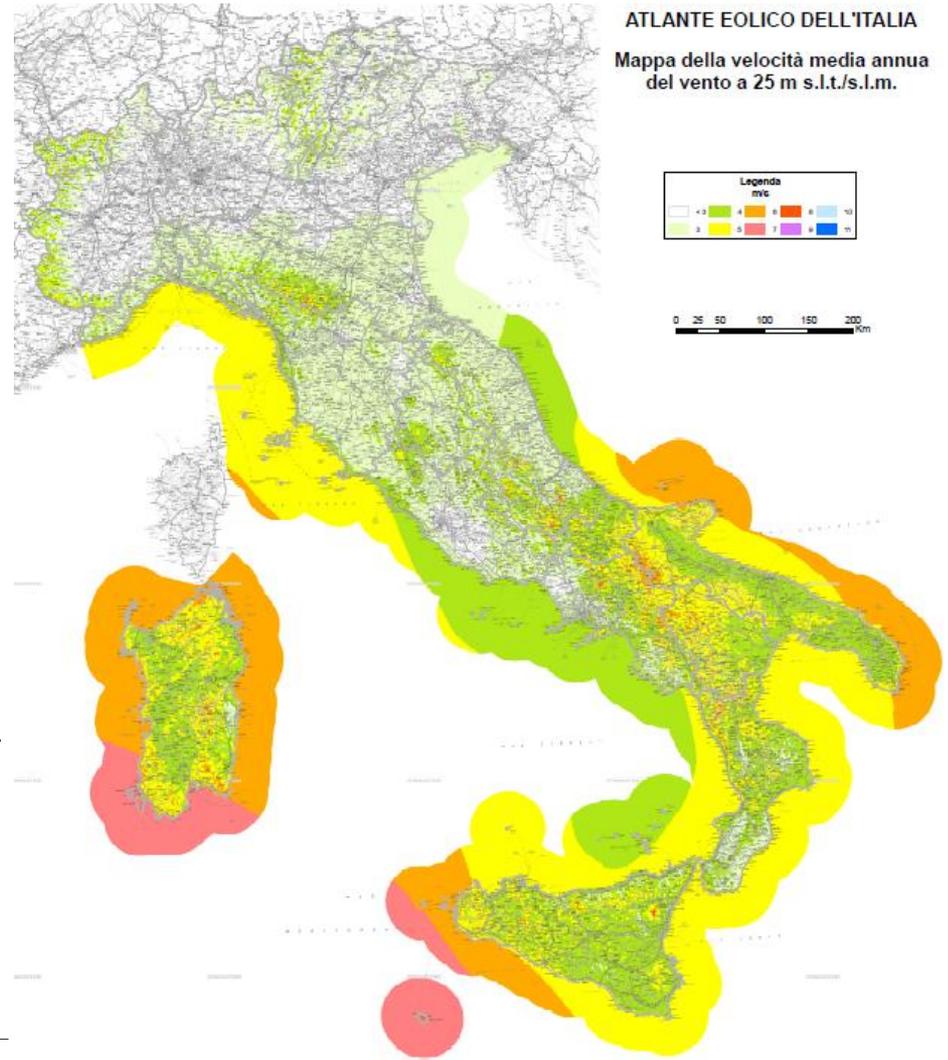
- il rotore (o turbina eolica), costituito da una serie di pale, calettate ad un mozzo;
- la navicella o gondola o genericamente struttura di alloggiamento, contiene i sistemi di trasformazione (principalmente il moltiplicatore di giri ed il generatore elettrico) e controllo della macchina;
- la torre, con le fondazioni o strutture di sostegno;
- sistemi di misura (anemometri e indicatori di direzione del vento) generalmente montati all'interno della navicella; servono a configurare correttamente la macchina a seconda della direzione e dell'intensità del vento;
- sistemi di controllo, che monitorando continuamente una serie di parametri della macchina, ne consentono il corretto funzionamento;
- sistemi accessori quali sistemi di telecontrollo, montacarichi e ascensori per il personale di manutenzione o altro.

# Eolico



# Eolico

- piccola taglia (1-200 kW), diametro rotore 1-20 metri e altezza torre 10-30 metri;
- media taglia (200-800 kW), diametro rotore 20-50 metri e altezza torre 30-50 metri;
- grande taglia (oltre 1000 kW) diametro rotore di 55-80 metri e altezza torre 60-120 metri.

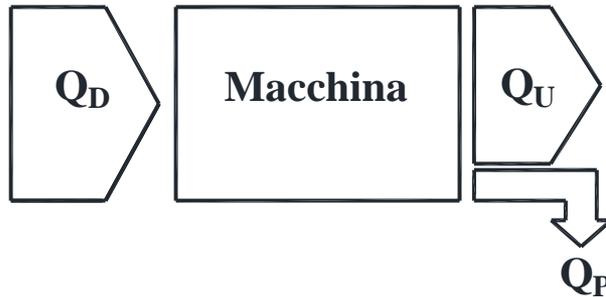


$$E = P \cdot h_{eq}$$

In Italia circa 1900 ore equivalenti di funzionamento

# Rendimento di una macchina

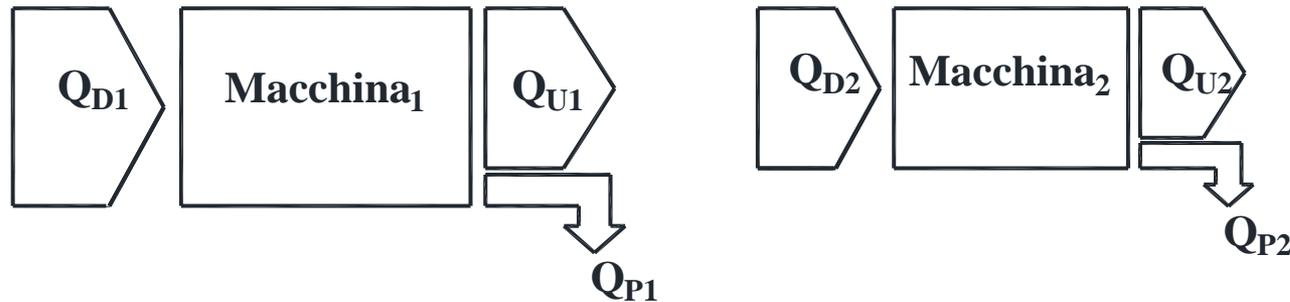
- Rendimento ( $\eta$ ) di una macchina o di un sistema è il rapporto tra l'energia (o la potenza) utile erogata dalla macchina ( $Q_U$ ) e l'energia (o la potenza) disponibile ( $Q_D$ ) in ingresso alla macchina
- Serve a caratterizzare numericamente la capacità della macchina di utilizzare l'energia disponibile.



$$Q_D = Q_U + Q_P \quad \eta = \frac{Q_U}{Q_D}$$

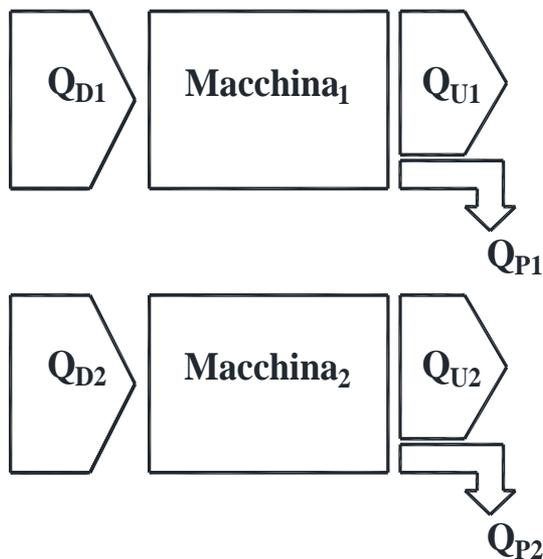
- Numero adimensionale con un valore compreso tra 0 e 1 (tra 0 e 100% se espresso in percentuale)
- Per certe macchine, si considera rendimento il rapporto tra la grandezza utile in uscita e la grandezza disponibile in ingresso (solitamente quella pagata in termini economici)
- In questi casi, rapportando grandezze anche disomogenee dal punto di vista delle caratteristiche e delle unità di misura, il rendimento può essere anche maggiore di 1 e accompagnato dall'unità di misura

# Rendimento di macchine in serie o in parallelo



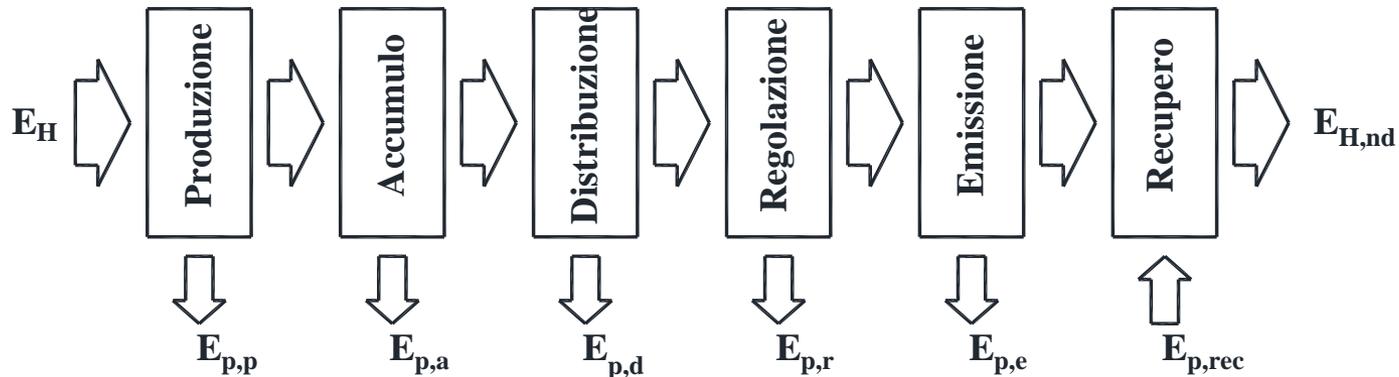
$$\eta_S = \frac{Q_{U2}}{Q_{D1}} = \frac{Q_{U1}}{Q_{D1}} \cdot \frac{Q_{U2}}{Q_{D2}} = \eta_1 \cdot \eta_2$$

- Il rendimento di due macchine in serie è uguale al prodotto dei rendimenti delle due macchine singole.
- Ognuno dei rendimenti è minore di uno: il rendimento complessivo diminuisce al crescere del numero di macchine messe in serie.



$$\eta_P = \frac{Q_{U1} + Q_{U2}}{Q_{D1} + Q_{D2}} = \frac{\eta_1 \cdot Q_{D1} + \eta_2 \cdot Q_{D2}}{Q_{D1} + Q_{D2}}$$

# Sistema come somma di sottosistemi



- sottosistema di produzione;
- sottosistema di accumulo (se presente);
- sottosistema di distribuzione;
- sottosistema di regolazione;
- sottosistema di emissione;
- sottosistema di recupero (se presente).

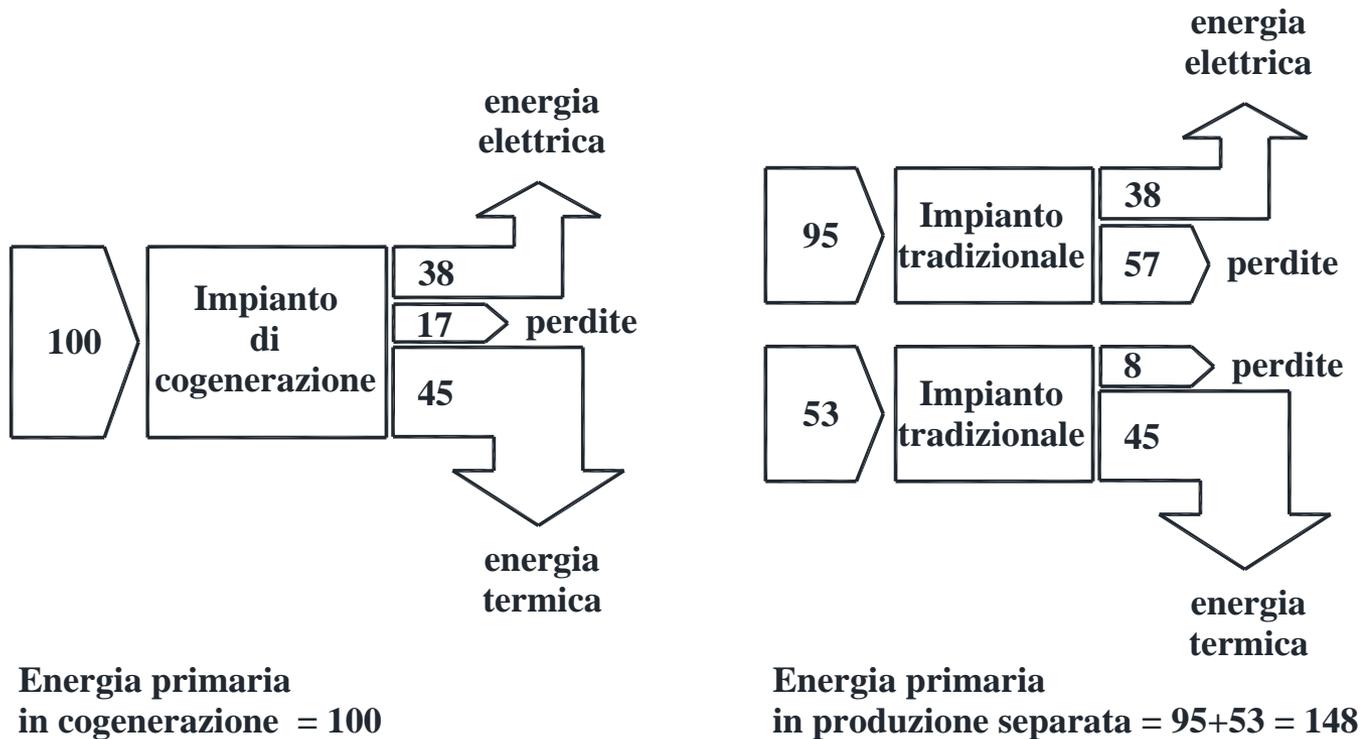
$$E_H = E_{H,nd} + E_{p,e} + E_{p,r} + E_{p,d} + E_{p,a} + E_{p,p} - E_{rec}$$

$$E_C = E_{C,nd} + E_{p,e} + E_{p,r} + E_{p,d} + E_{p,a} + E_{p,p} - E_{rec}$$

$$E_W = E_{W,nd} + E_{p,r} + E_{p,d} + E_{p,a} + E_{p,p}$$

# Cogenerazione

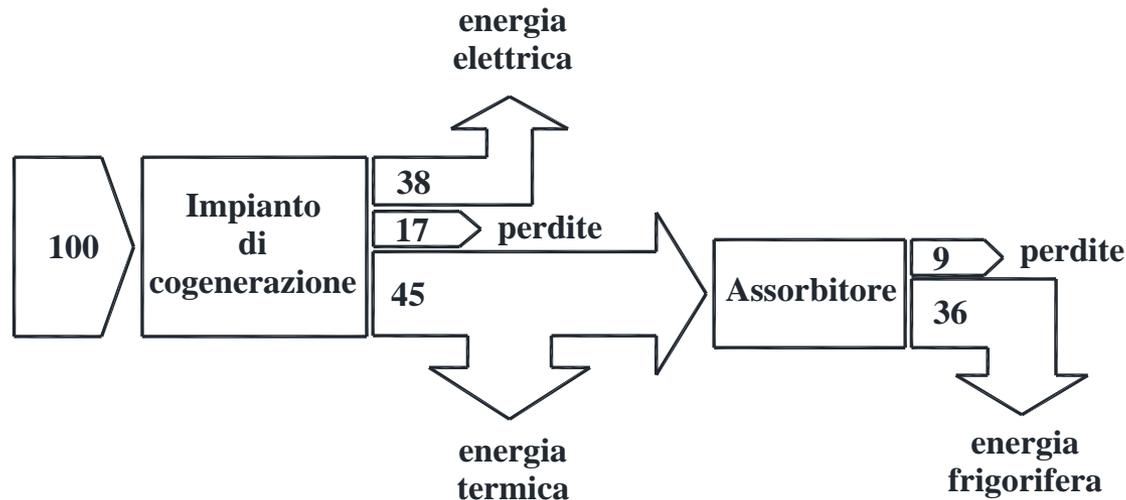
- Si indica con il termine *cogenerazione* la produzione combinata di energia elettrica e calore, nella stessa apparecchiatura ed a partire da un'unica fonte.
- Nei tradizionali impianti termoelettrici, il calore prodotto costituisce generalmente uno scarto e viene rigettato nell'ambiente (acqua di mare o di fiume)
- Negli impianti di cogenerazione il calore prodotto è utilizzato per soddisfare le richieste di un'utenza termica



# Cogenerazione

Utenza:

- un singolo edificio o un singolo servizio, che consumerà l'energia elettrica e/o termica cogenerata;
- una pluralità di edifici o servizi;
- la rete pubblica dell'energia elettrica; l'energia elettrica prodotta dal cogeneratore può essere immessa nella rete pubblica che provvede a distribuirla ai propri utenti; ci sarà un corrispettivo riconosciuto al produttore per l'energia immessa in rete;
- una rete di teleriscaldamento; l'energia termica prodotta dal cogeneratore può essere immessa in una rete di teleriscaldamento realizzata allo scopo che provvederà a distribuirla agli utenti allacciati; anche in questo caso, ci sarà un corrispettivo riconosciuto al produttore per l'energia immessa in rete; a differenza dell'energia elettrica, per l'energia termica è importante considerare il livello termico (la temperatura) dell'energia cogenerata, che determinerà l'estensione e le caratteristiche della rete.



# Cogenerazione



# Equivalenze - 1



1 Litro di benzina

**10 kWh**

2,4 kg di pasta

**10 kWh**

1 Litro di olio d'oliva

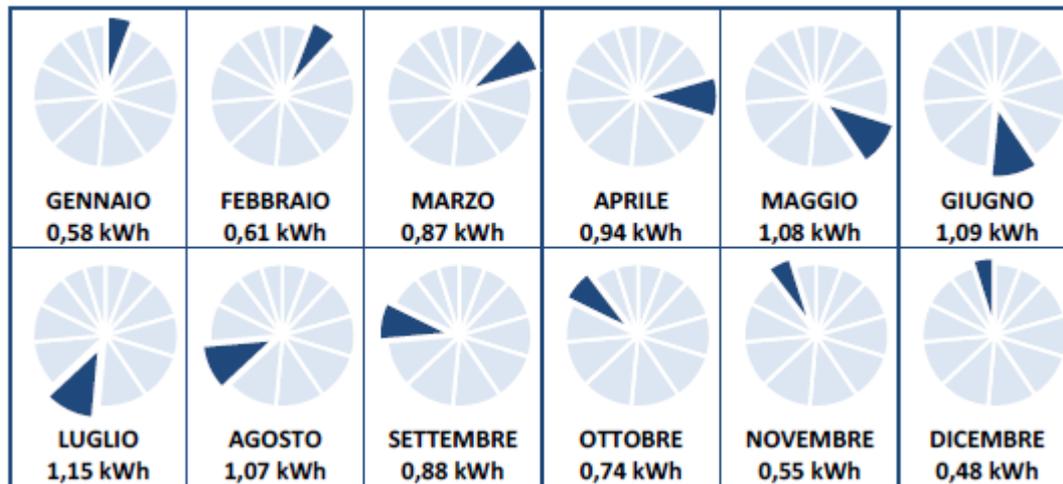
**10 kWh**

# Equivalenze - 2



1 Litro di benzina

**10 kWh**



23 cm x 23 cm = 0,053 m<sup>2</sup> di pannello fotovoltaico

dopo un anno **10 kWh**

# Equivalenze - 3



1 Litro di benzina

**10 kWh**

20 batterie di automobile

**10 kWh**

# Equivalenze - 4



1 Litro di benzina

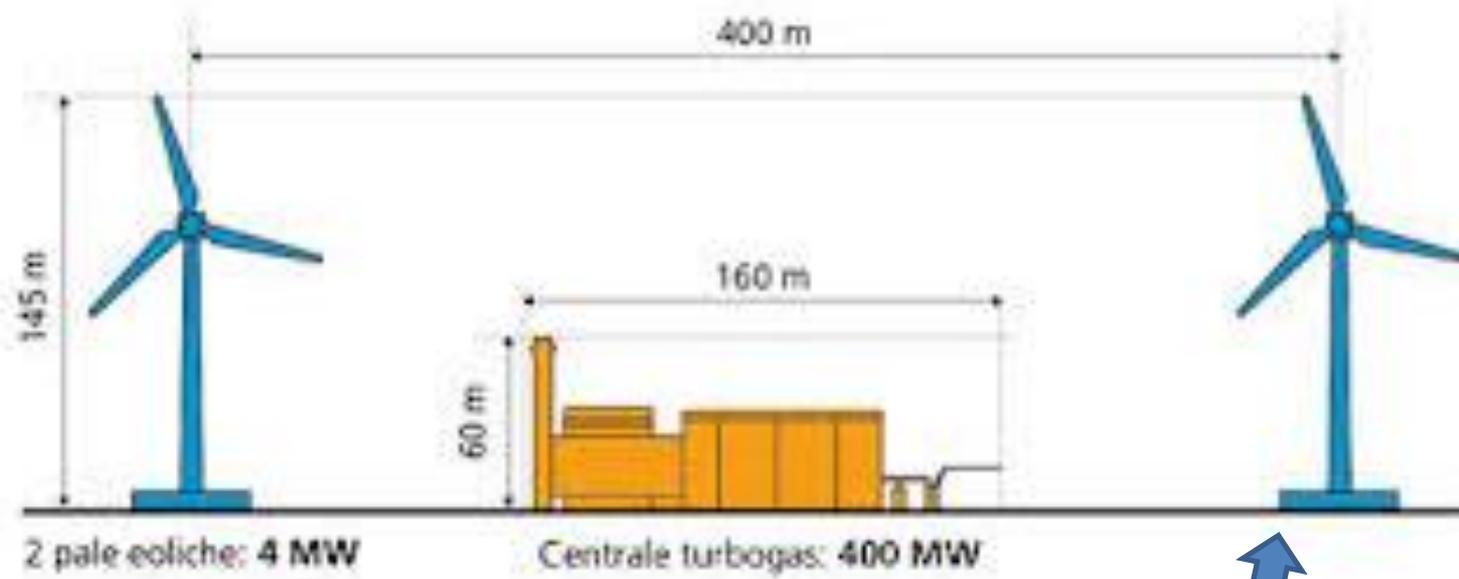
**10 kWh**

36 metri cubi di acqua x 100 m

**10 kWh**

# Equivalenze - 5

1 kW – 10 m  
Dopo due giorni  
**10 kWh**



80 kW - 35m  
Dopo mezz'ora  
**10 kWh**

400 MW  
Dopo 1/10 di secondo  
**10 kWh**

2 MW - 145m  
Dopo 80 secondi  
**10 kWh**

# Equivalenze - 6



1 Litro di benzina

**10 kWh**



860 litri di acqua

**+10 °C**