

***"Economia dell'Energia e dell'Ambiente."***  
a.a. 2019/20

## ***Lezione 6 - parte I***

### ***Le Fonti Rinnovabili Classiche: Idroelettrico e Geotermia***

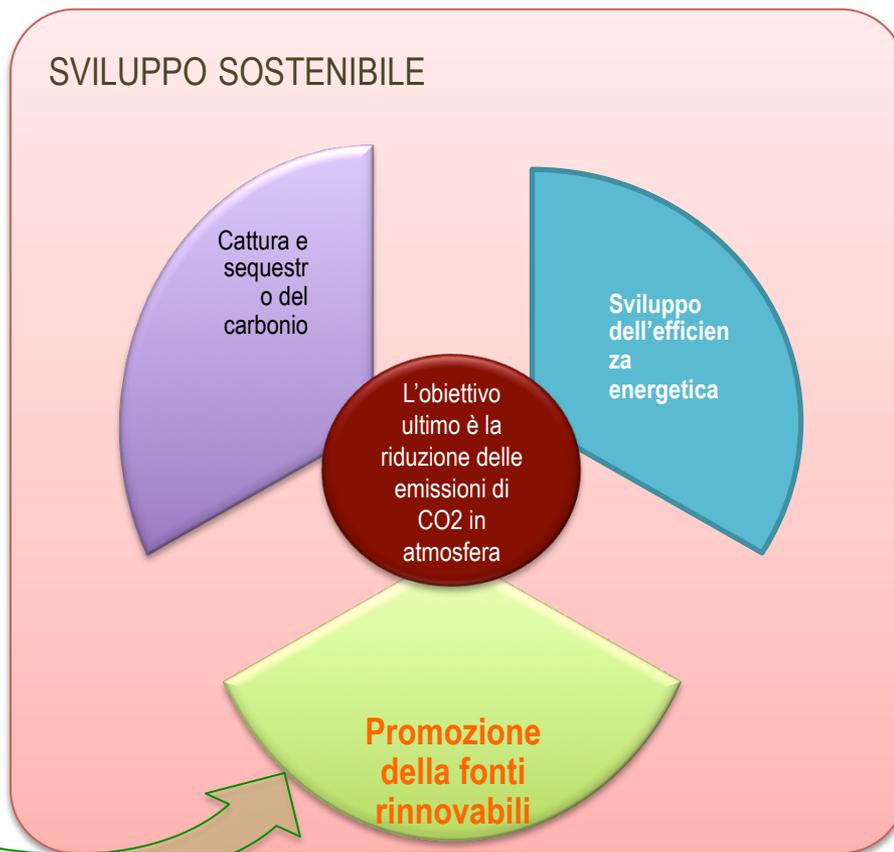
*Roberto.Fazioli@unife.it*  
*Dipartimento di Economia e Management,*  
*Università di Ferrara*

UNO degli Obiettivi delle Politiche per la Sostenibilità, UNA delle Linee d'azione del New Green Deal riguarda la riduzione delle emissioni dei cosiddetti "Gas Serra" che si ritiene siano la causa dei Cambiamenti Climatici. Uno dei costituenti i Gas Serra è la CO<sub>2</sub>: fra le TANTE cause antropiche dell'incremento di emissioni di Gas Serra si indica la Generazione di Energia tramite Fonti Fossili. **Quale derivato consequenziale, si indica nell'incentivazione e promozione dell'installazione di Impianti di Generazione di Energia da Fonti cosiddette "Rinnovabili" la via maestra da seguire per implementare strategie, scelte, politiche "sostenibili".**

Per chiarezza:

**Rinnovabili = capacità rigenerativa "naturale" senza ulteriori "costi per l'Ambiente", ovvero a saldo energetico-ambientale positivo;**

**Sostenibili = modus operandi che utilizza le Risorse Naturali ad un Tasso d'Impiego minore (al massimo uguale) al loro tasso naturale di rigenerazione.**



Tipicamente, ma non certo esaustivamente, anzi ..... Sono **Fonti d'Energia Rinnovabili (F.E.R.)** l'acqua, il Sole, il vento, il calore interno della Terra e le biomasse. Nel loro insieme le FER coprono una quota irrisoria (il 3,5%) dei consumi mondiali d'energia. Considerando, tuttavia, i problemi connessi con le fonti non rinnovabili (esauribilità, inquinamento, crisi energetiche ricorrenti, conflitti), esse rappresentano un fattore non trascurabile negli scenari energetici futuri. Il loro sviluppo può, infatti, non solo dare un apprezzabile contributo alla diversificazione degli approvvigionamenti energetici e all'innovazione tecnologica nel settore, ma anche garantire un basso impatto ambientale, e consentire un miglior utilizzo delle risorse locali. *Il comparto delle fonti energetiche rinnovabili è variegato e frammentario, perciò si rimanda, per uno sguardo d'insieme più approfondito, all'IEA, l'Agenzia Internazionale per l'Energia (International Energy Agency, sito Internet: [www.iea.org](http://www.iea.org)), dell'OCSE e, per quanto riguarda l'Italia, all'ENEA (Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, sito Internet [www.sede.enea.it](http://www.sede.enea.it)).*

**Dalle International Policy alle  
European Policy:  
il “Pacchetto Clima – Energia”**



Il protocollo di Kyoto è un trattato internazionale sottoscritto l'11 dicembre 1997 in occasione della convenzione delle nazioni Unite sui cambiamenti climatici ed entrato in vigore soltanto il 16 febbraio 2005. Ad oggi i 174 paesi aderenti contribuiscono al 61% alle emissioni globali di gas serra in atmosfera. L'obiettivo del trattato è la riduzione delle emissioni dei gas serra da parte dei paesi industrializzati. Dal Protocollo di Kyoto si sono declinate le politiche europee che costituiscono il cosiddetto Pacchetto Clima-Energia. Il Terzo Obiettivo si declinò nel mantra “**20-20-20**”:

- 1) **arrivare almeno al 20% della quota di fonti rinnovabili nella copertura dei consumi finali (usi elettrici, per il trasporto e termici)**. La convergenza fra Paesi europei non è facile, poiché da una Francia che già nel 2005 superava il 10% l'UK non arrivava all'1,3%.
- 2) consumi di fonti primarie ridotti del **20%** rispetto alle previsioni –tendenziali, anche mediante l'aumento della **efficienza energetica** secondo la direttiva 2006/32/CE;
- 3) **abbattimento delle emissioni** di gas serra/inquinanti ridotte del **20%**, secondo il P.K.

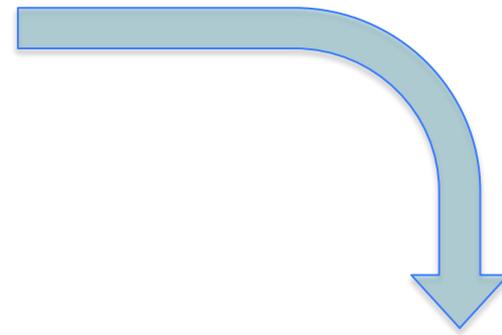
• Sono da considerarsi **fonti di energie rinnovabili (FER)** quelle forme di energie generate da fonti che per loro caratteristica si rigenerano e non sono “esauribili” nella scala dei tempi “umani” e il cui utilizzo non pregiudica le risorse naturali per le generazioni future; dal punto di vista sociale e politico, si crea la distinzione in uso oggi fra fonti di energia considerate rinnovabili (sole, vento, ecc.) il cui utilizzo attuale non ne pregiudica la disponibilità nel futuro, e quelle non rinnovabili, le quali sia per avere lunghi periodi di formazione di molto superiori a quelli di consumo attuale (petrolio, carbone, gas naturali), sia per essere presenti in riserve non inesauribili sulla scala dei tempi umana (nucleare), sono limitate nel futuro.

• Una distinzione che spesso viene fatta in tale ambito è quella tra fonti rinnovabili “**classiche**” (idroelettrica e geotermica) e fonti rinnovabili “**nuove**” (dette “**nfer**”, incluse energia solare, eolica e da biomassa). Una nuova generazione di **Fonti Primarie d'Energia “Alternativa”** è, inoltre, in fase di sperimentazione (Idrogeno, Idrati di Metano, ecc...),

• Queste fonti di energia possono essere classificate in “fonti **programmabili**” e “fonti **non programmabili**” a seconda che possano essere programmate in base alla richiesta di energia oppure no.

• Le fonti rinnovabili di energia sono identificate anche dalla loro rinnovabilità, **disponibilità**, autoriproduzione perpetua a **livelli sempre adeguati**, se non maggiori, del loro utilizzo.

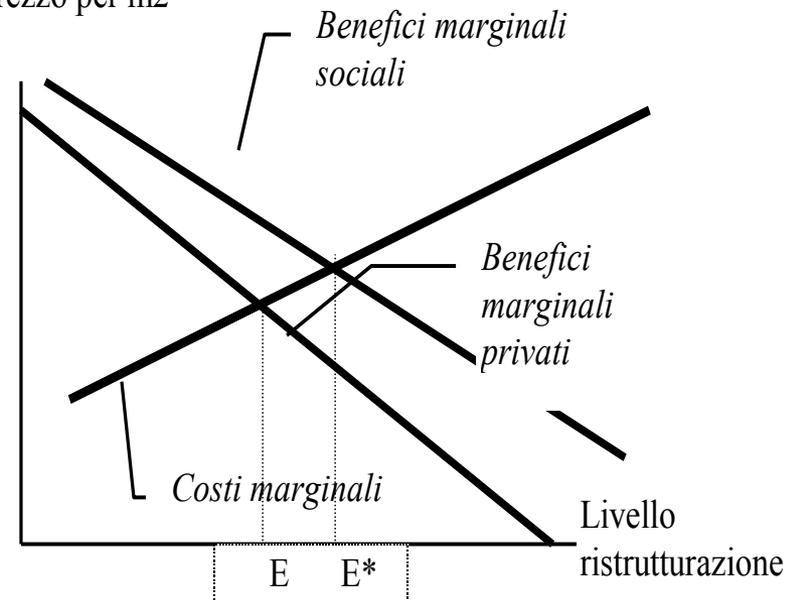
**Le azioni di policy ambientale-energetica per ridurre la CO<sub>2</sub> passano anche per l'incentivazione dello sviluppo dei settori dediti alla Generazione di Energia da Fonti di Energia (primaria) Rinnovabili (F.E.R.)**



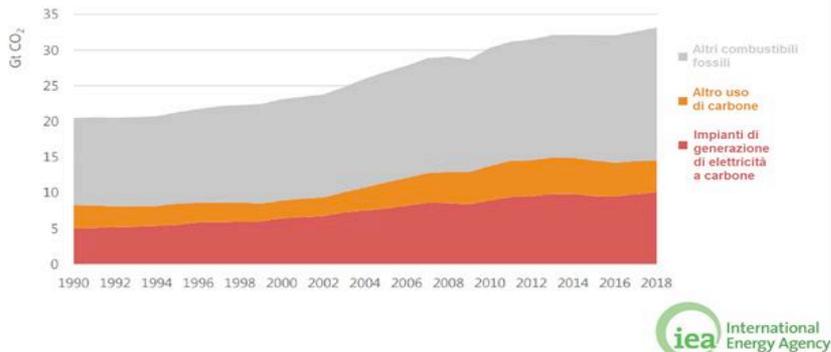
Si ritiene siano motivo di **Esternalità Positive** e, quindi, al contrario di quanto prospettato per il "trattamento delle Esternalità Negative", esse sarebbero da "incentivare", ovvero sulla loro diffusione dovrebbero essere appostati sussidi (diretti o indiretti) pari a Benefici Sociali indotti e altrimenti sottostimati.

*Ovviamente e intuibilmente, le FER non sono tutte uguali nei loro effettivi effetti complessivi, ognuna presenta dei "Pro" e dei Contro", nessuna, per ora, risulta essere una Soluzione Sistemica, tanto meno del tutto affidabile e programmabile. La Metodologia del Life Cycle Assessment, ad esempio, meglio aiuta ad una Valutazione complessiva sull'Impatto Energetico-Ambientale dell'intera filiera produttiva coinvolta con la Generazione di Energia da FER.*

Prezzo per m2



## Emissioni globali di CO<sub>2</sub> per produrre energia

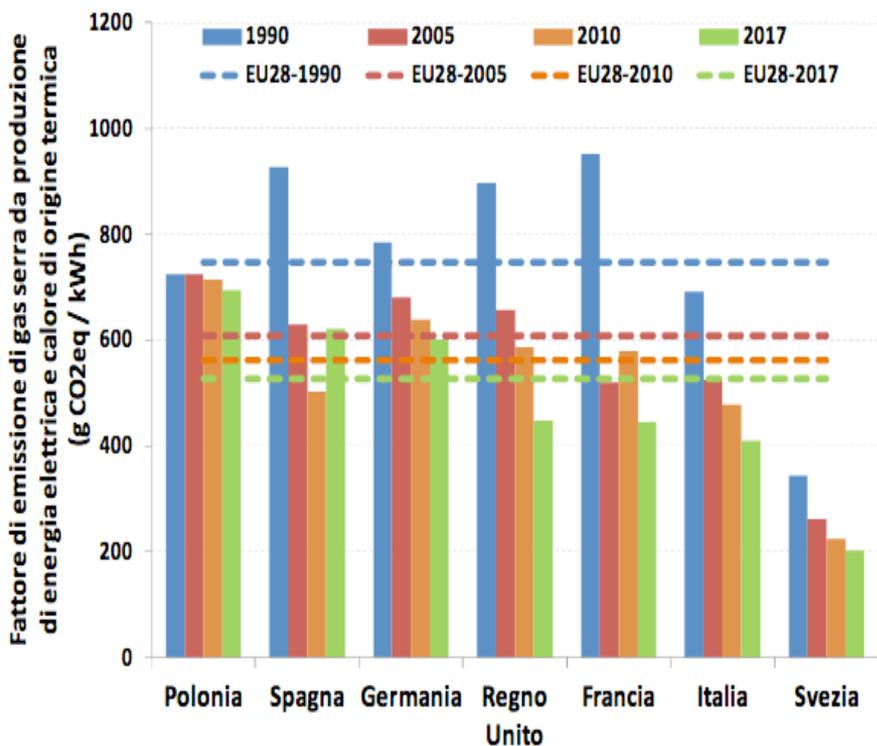
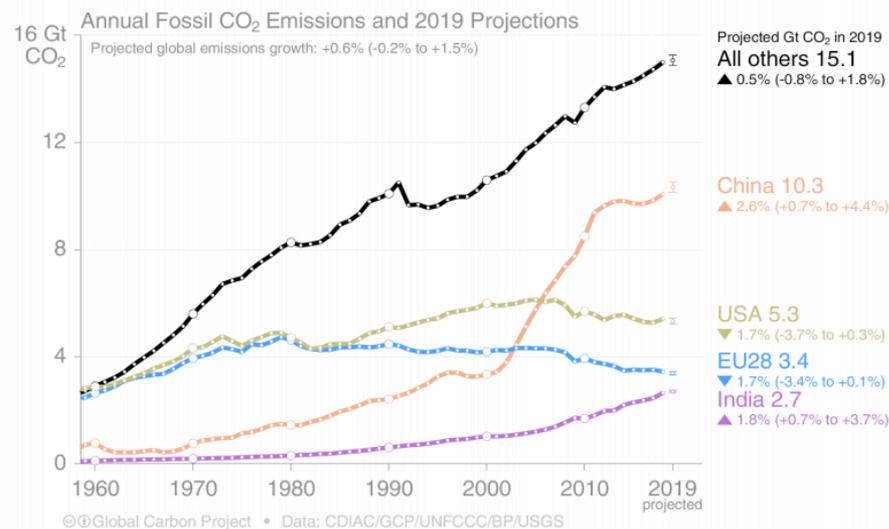


Secondo l'International Energy Outlook, le emissioni globali di e di anidride carbonica legate all'energia dovrebbero aumentare di un terzo fino al 2040 e questo aumento – insostenibile per raggiungere gli obiettivi dell'Accordo di Parigi – «Sarà in gran parte determinato da una maggiore consumo di energia nei paesi al di fuori della Organizzazione per la cooperazione economica e sviluppo (OCSE)», cioè i Paesi industrializzati di cui fa parte anche l'Italia.

Nel 1990, i 34 Paesi che attualmente fanno parte dell'OCSE emettevano il 54% delle emissioni di CO<sub>2</sub> di tutto il mondo. Da allora, la crescita economica e il maggiore uso di energia (e la maggior presenza di Carbone quale fonte primaria) nei Paesi che non fanno parte dell'OCSE hanno spostato l'equilibrio delle emissioni. Questo trend continuerà, con le emissioni dei Paesi non-OCSE che cresceranno molto fino almeno al 2040, mentre le emissioni di CO<sub>2</sub> dei paesi membri dell'OCSE rimarranno relativamente stabili o diminuiranno.

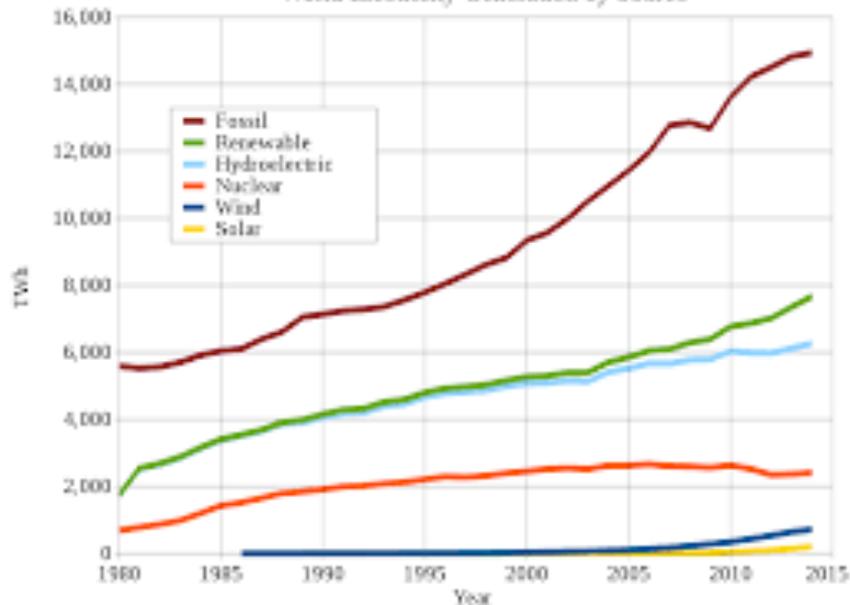
Le emissioni di CO<sub>2</sub> legate all'energia sono prodotte dalla combustione di combustibili fossili: petrolio, carbone e gas. A parità di energia prodotta, la combustione del carbone produce più emissioni della combustione di un prodotto petrolifero, che a sua volta produce più emissioni di CO<sub>2</sub> della combustione del gas. Il passaggio dai combustibili fossili a maggiori emissioni di carbonio verso i carburanti con un minore intensità di carbonio spiega la riduzione dell'intensità di carbonio prevista. L'Eia dice che «Due fattori principali guidare questo cambiamento: la crescita dell'uso di fonti di energia rinnovabili per la produzione di energia e un cambiamento del mix dei combustibili fossili verso il gas naturale».

Global fossil CO<sub>2</sub> emissions are projected to rise by 0.6% in 2019 [range: -0.2% to +1.5%]  
The global growth is driven by the underlying changes at the country level.

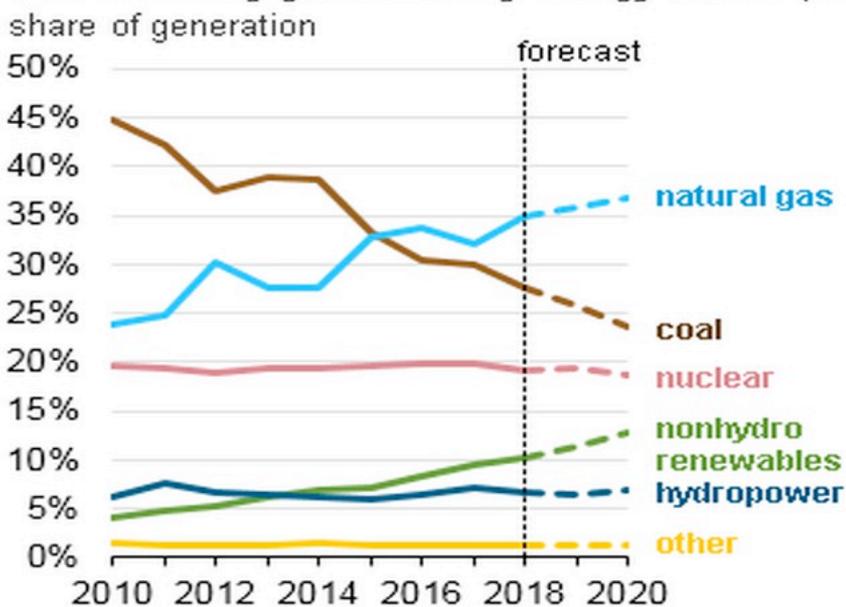


**Acclarata la continuità della crescita di Domanda Mondiale di Energia Elettrica, la Generazione di quell'energia elettrica ha indotto differenti impatti sulle emissioni di CO2 a seconda dei Mix Energetici prevalenti. L'impiego massiccio di Carbone in molti Paesi ha indotto il progressivo aumento delle emissioni di CO2. Pur con rilevante crescita, le FER non sono ancora una Soluzione Sistemica alla crescita della Domanda di Energia nel Mondo.**

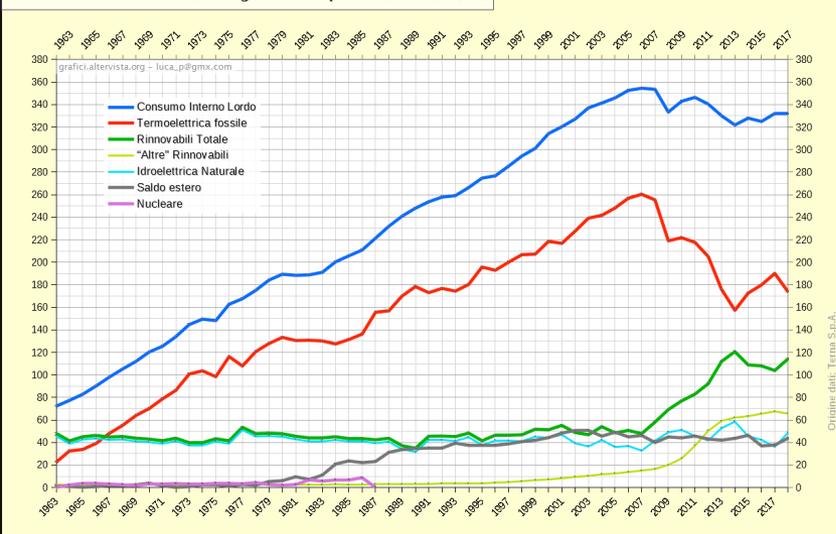
World Electricity Generation by Source



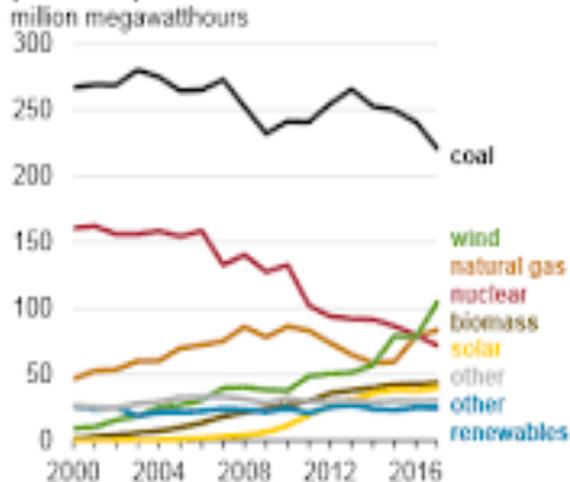
U.S. electricity generation by energy source (2010-2020)



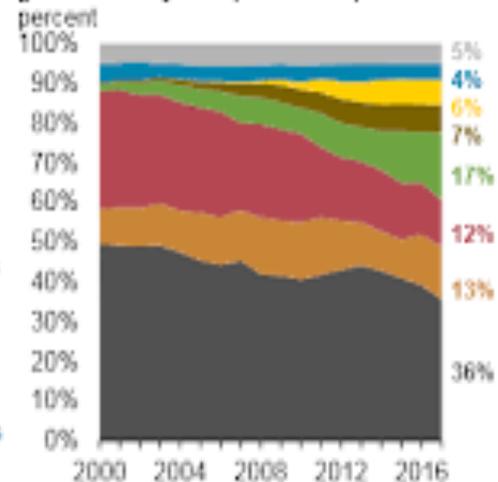
Consumo Interno Lordo di energia elettrica per fonte in Italia (TWh)



Germany electricity generation by fuel (2000-2017)



Germany share of electricity generation by fuel (2000-2017)

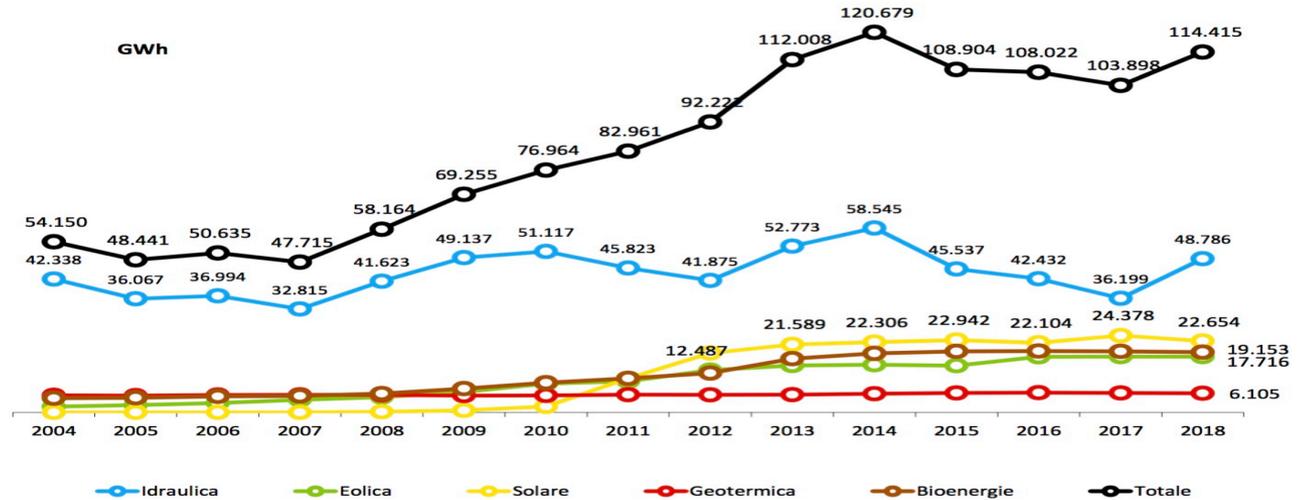
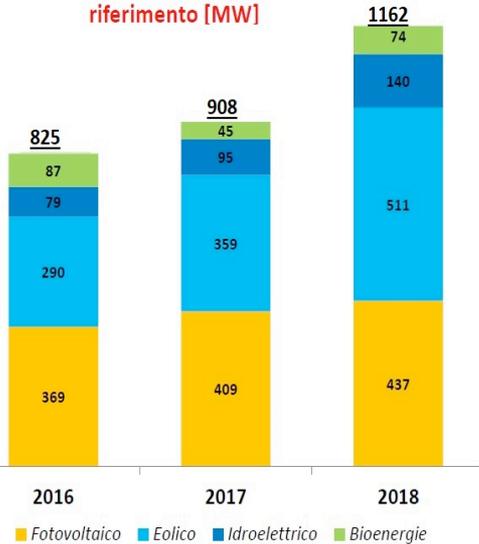


## IN ITALIA, PURTUTTAVIA ....

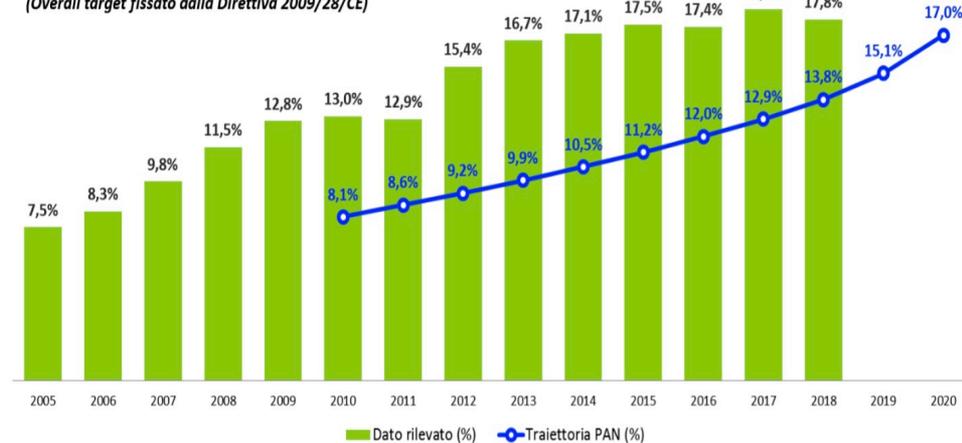
L'importante incentivazione economica, fiscale e amministrativa, insieme alla progressiva diminuzione dei loro costi unitari e del seppur lieve incremento di efficienza produttiva, hanno prodotto importanti risultati in termini di implementazione di soluzioni riconducibili alle FER nella produzione di energia elettrica.

### VARIAZIONI TENDENZIALI (2016-2018)

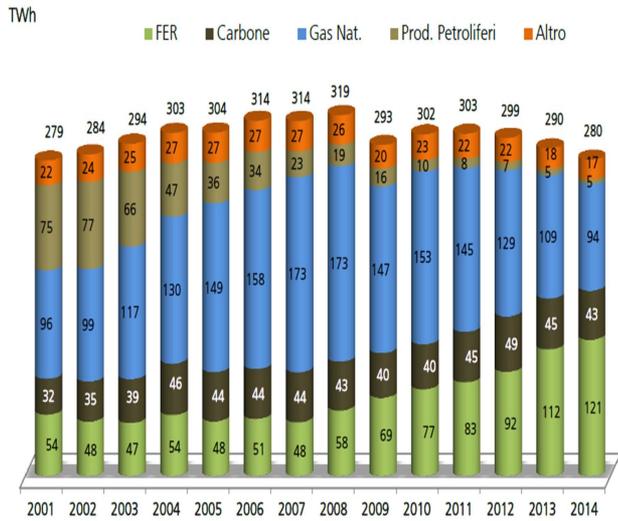
Potenza connessa per fonte nell'anno di riferimento [MW]



Quota dei consumi finali lordi di energia coperta da FER  
(Overall target fissato dalla Direttiva 2009/28/CE)



PRODUZIONE ELETTRICA LORDA TOTALE IN ITALIA



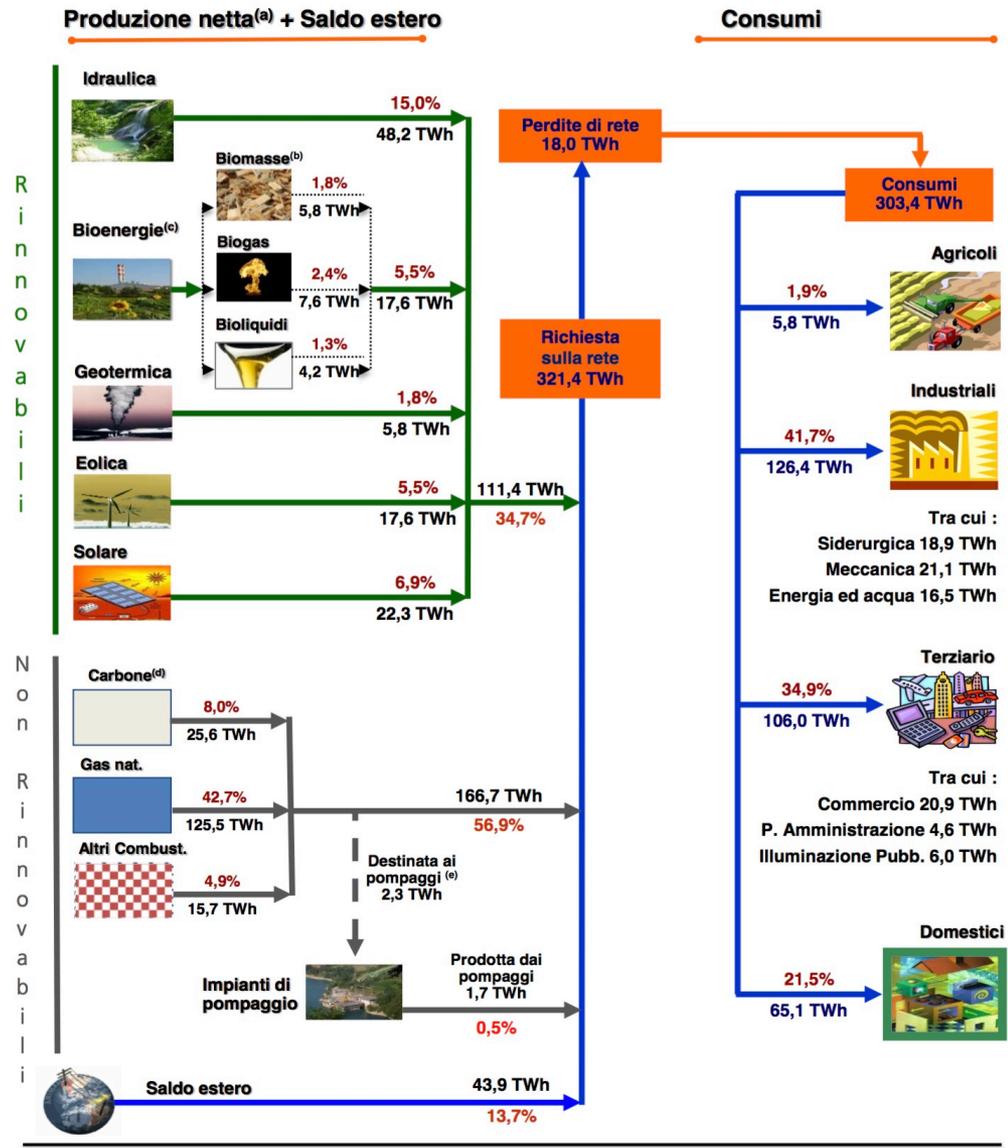
Produzione FER-E si assestano al 43,2% nel 2014, con un aumento dal 2001 di oltre il 120%

Decrescita dei prodotti petroliferi: si passa dai 75 TWh del 2001 ai 5 TWh del 2014

Metano andamento sinusoidale: 96 TWh nel 2001, max 2007/08 (173 TWh), min 94 TWh 2014

Carbone andamento più o meno costante dal 2004 al 2014 costante

\* Fonte GSE Rapporto Statistico 2014



Fonte: elaborazione GSE su dati TERNA.

(a) Produzione netta: è la produzione lorda al netto dei servizi ausiliari

(b) Include la parte biodegradabile dei rifiuti

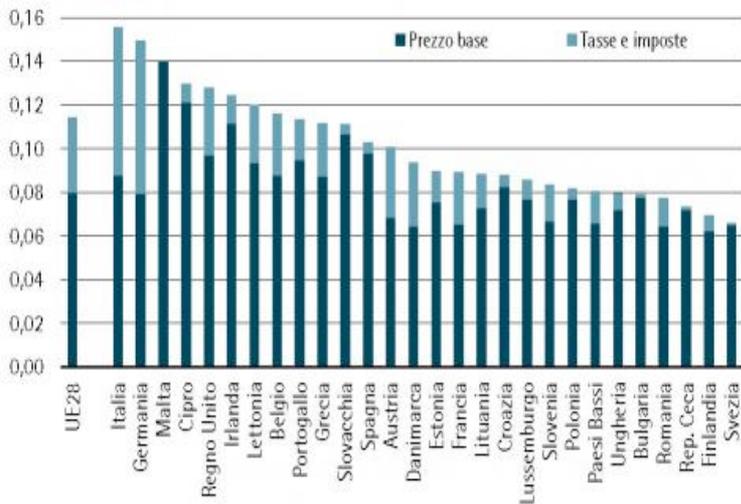
(c) Al netto della parte non biodegradabile dei rifiuti solidi urbani, contabilizzati negli altri combustibili

(d) Carbone + Lignite

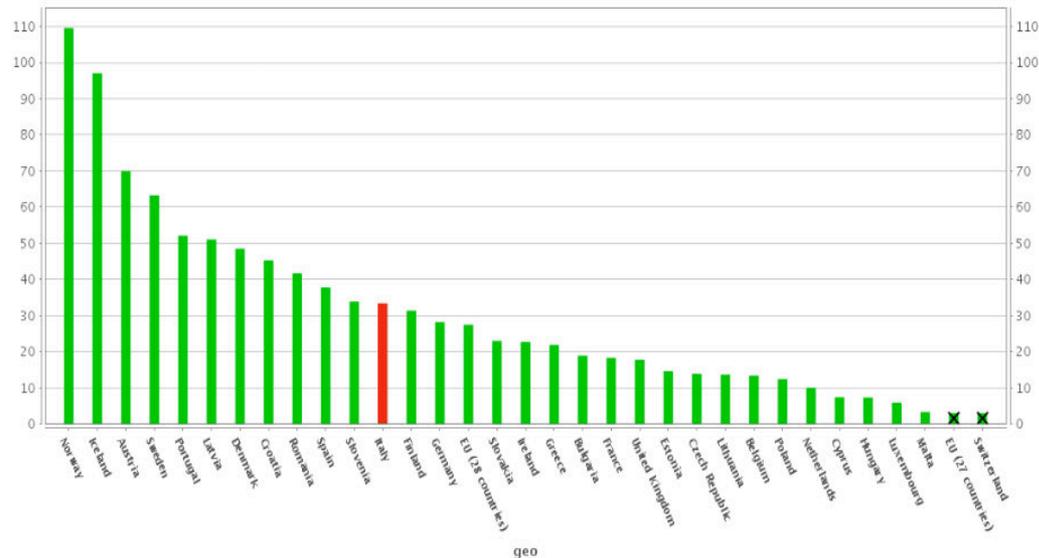
(e) L'energia destinata ai pompaggi viene convenzionalmente detratta dalla produzione termica non rinnovabile

## Prezzi energetici per clientela industriale in UE

Secondo semestre 2016, Euro per kWh



## Electricity generated from renewable sources % of gross electricity consumption



## ESTRATTO

# La spesa energetica delle famiglie e le risorse impegnate per la promozione delle fonti rinnovabili e dell'efficienza energetica. Scenari evolutivi a politiche correnti (ottobre 2017) Il quadro delle risorse impegnate per la sostenibilità nel 2016

- Le attività di promozione della sostenibilità gestite dal GSE si sono tradotte nell'ultimo anno in un investimento per la collettività di 16,1 miliardi di euro (circa 1% del PIL nazionale), finanziato tramite le bollette energetiche delle imprese e delle famiglie.
- Nel 2016 una famiglia tipo ha contribuito con 136 € alla promozione delle rinnovabili e dell'efficienza energetica.

Incentivi GSE	Ambito supportato	Fabbisogno per meccanismo (Mld € nel 2016)	Copertura (Tariffe/prezzi)	Fabbisogno per bolletta energetica (Mld € nel 2016)
CIP 6 Certificati Verdi / Incentivo ex CV Conti Energia FV Tariffe onnicomprensive DM 6/7/2012 DM 23/6/2016 Scambio sul posto Ritiro dedicato	FER Elettriche	14,4	Tariffa A3 (bolletta elettrica)	15,0 (Oneri in bolletta elettrica)
Certificati Bianchi	Efficienza Energetica, FER Termiche	1,05	Tariffa UC7 (bolletta elettrica) Tariffa RE (bolletta gas)	0,5 (Oneri in bolletta gas)
Conto Termico	FER Termiche, Efficienza Energetica	0,03	Tariffa RE (bolletta Gas)	
Biocarburanti	FER trasporti	0,6	Incremento prezzo finale carburanti	0,6 (oneri distributori carburanti)

16,1 Mld €

Spesa per la sostenibilità famiglia tipo (€ nel 2016)	
A3: 107 €	Oneri bolletta elettrica 112 €
UC7 (CB): 6 €	
RE (CB): 12 €	Oneri bolletta gas 13 €
RE (CT): 1 €	
Sovrapprezzo: 11 €	Carburanti 11 €

136 €

# *La Produzione di Energia da Impianti Idroelettrici*



# CENTRALE IDROELETTRICA

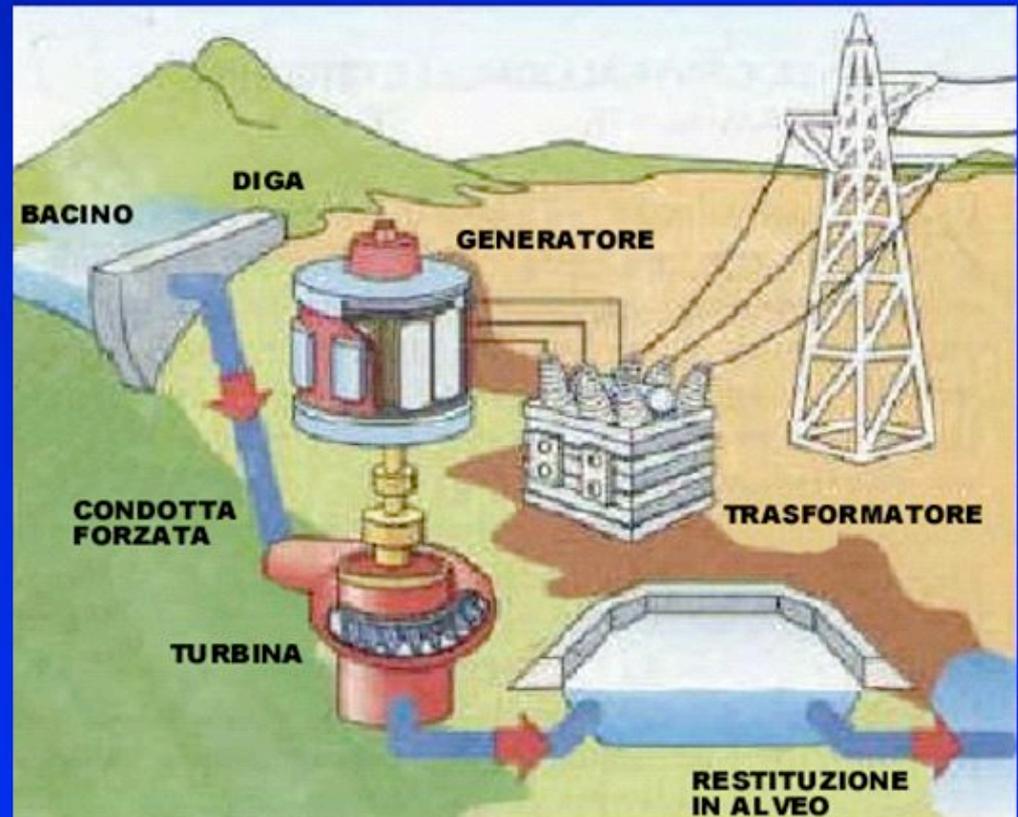
Le Centrali Idroelettriche trasformano l'energia potenziale gravitazionale (posseduta da masse d'acqua in quota) in energia cinetica nel superamento di un dislivello. Semplificando un po', tale energia cinetica è in grado di mettere in rotazione delle turbine le quali a loro volta sono collegate meccanicamente a generatori che produrranno l'energia elettrica.

Esistono, inoltre, tre diversi tipi di Turbina:

- **Turbina Pelton:** adatta per alte cadute e piccole portate d' acqua;

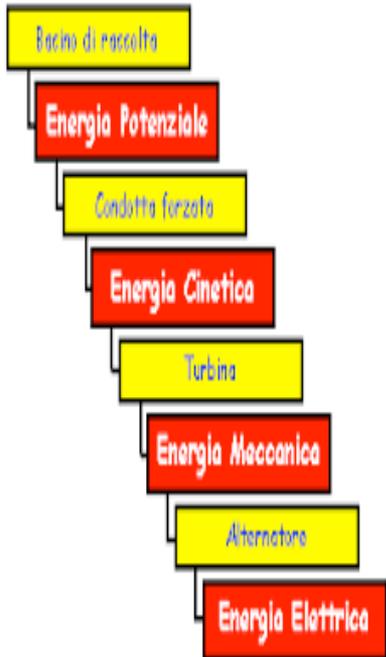
- **Turbina Francis:** adatta per medie cadute e grandi portate d' acqua;

- **Turbina Kaplan:** adatta per basse cadute e grandissime portate d' acqua.

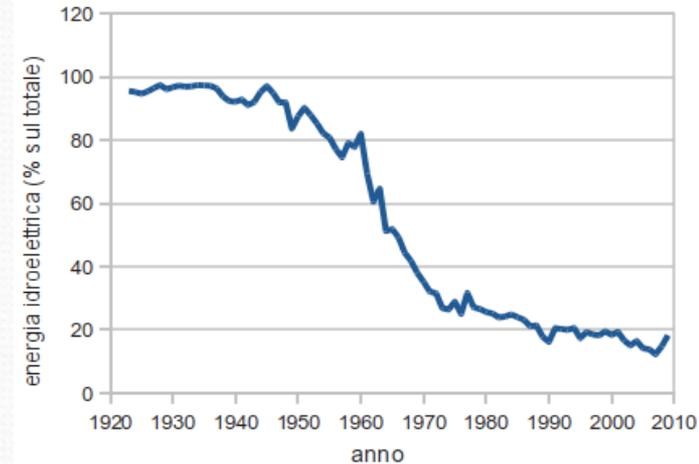
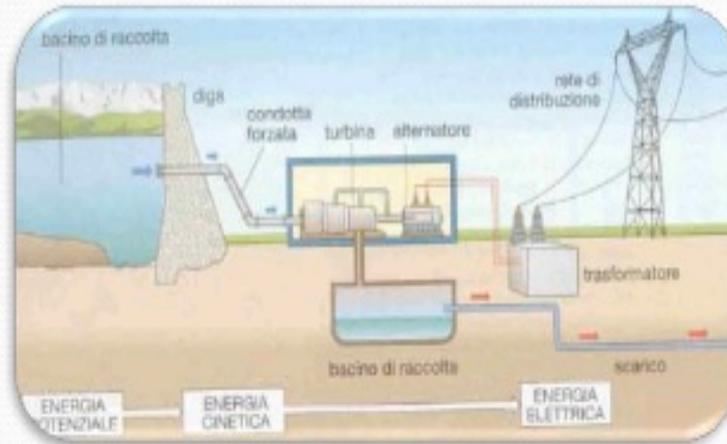


L'energia idroelettrica è quel tipo di energia che sfrutta la trasformazione dell'energia potenziale gravitazionale, posseduta da masse d'acqua in quota, in energia cinetica nel superamento di un dislivello, la quale energia cinetica viene trasformata, grazie ad un alternatore accoppiato ad una turbina, in energia elettrica.

La produzione di energia idroelettrica può avvenire anche attraverso lo sfruttamento del moto ondoso o delle maree. Mentre l'energia talassotermica, cioè delle maree, è una fonte di energia rinnovabile che sfrutta le differenze di temperatura tra la superficie marina e le profondità oceaniche. Le ottimali condizioni per lo sfruttamento di tale energia si trovano in mari molto profondi e caldi.



L'ENERGIA IDROELETTRICA è una fonte di energia alternativa e rinnovabile, che sfrutta la trasformazione dell'energia potenziale dell'acqua ad una certa altezza in energia cinetica; tale energia cinetica viene infine trasformata in energia elettrica in una centrale idroelettrica grazie ad un alternatore accoppiato ad una turbina.

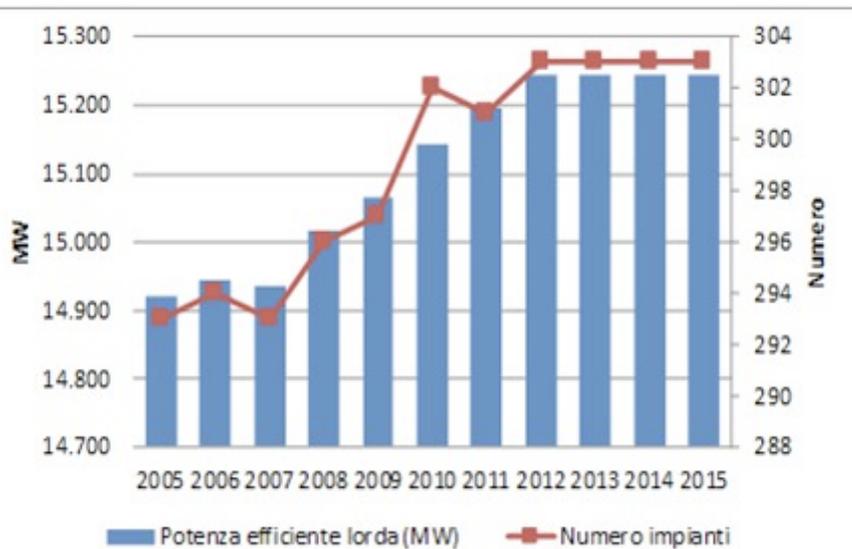
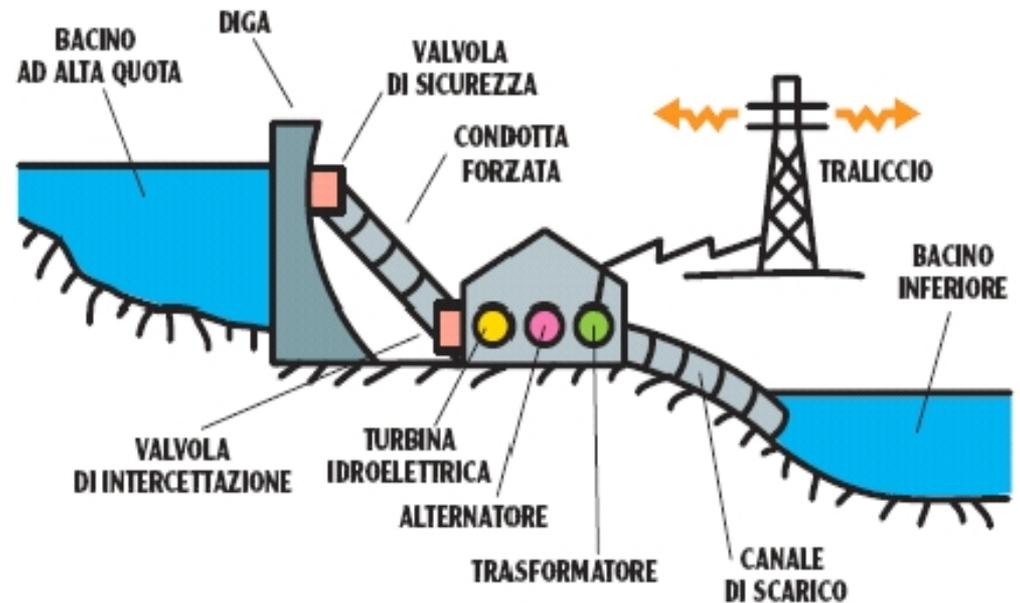


L'ENERGIA POTENZIALE è l'energia della massa d'acqua in quiete, in funzione della posizione iniziale dell'acqua e del suo punto di arrivo. Essa corrisponde quindi all'energia contenuta nei ghiacciai e nei bacini naturali o artificiali situati ad altezze elevate.

L'ENERGIA CINETICA dell'acqua è l'energia posseduta da una massa di acqua in movimento e corrisponde all'energia contenuta nell'acqua dei fiumi, dei torrenti e del mare; dipende dalla velocità e dalla massa dell'acqua in movimento.

# Centrale idroelettrica

Trasforma l'energia potenziale di una massa di acqua in quiete e/o l'energia cinetica di una corrente di acqua in energia meccanica ed elettrica



## Energia Idroelettrica

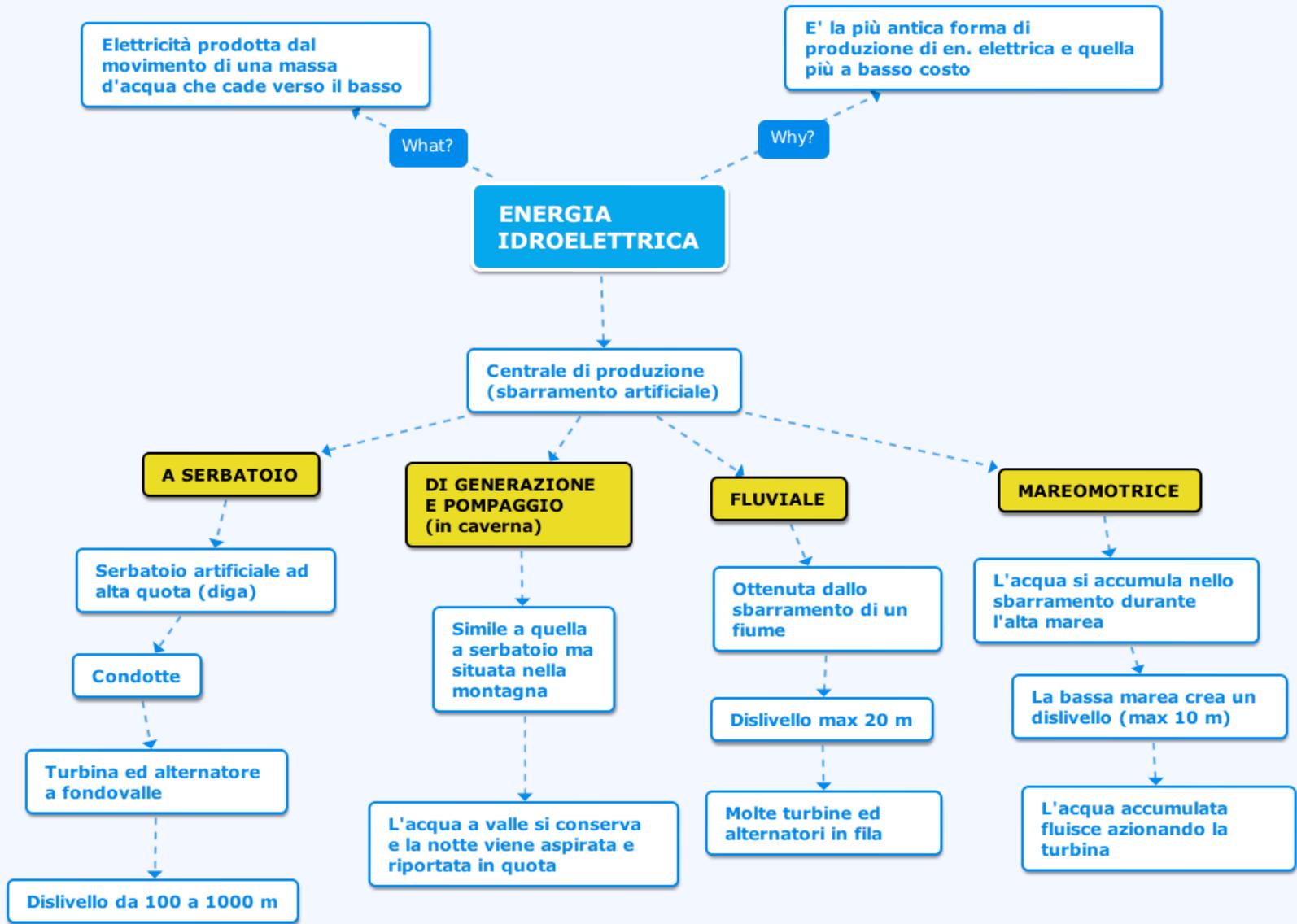
In base alla taglia di potenza nominale della centrale, gli impianti si suddividono in:

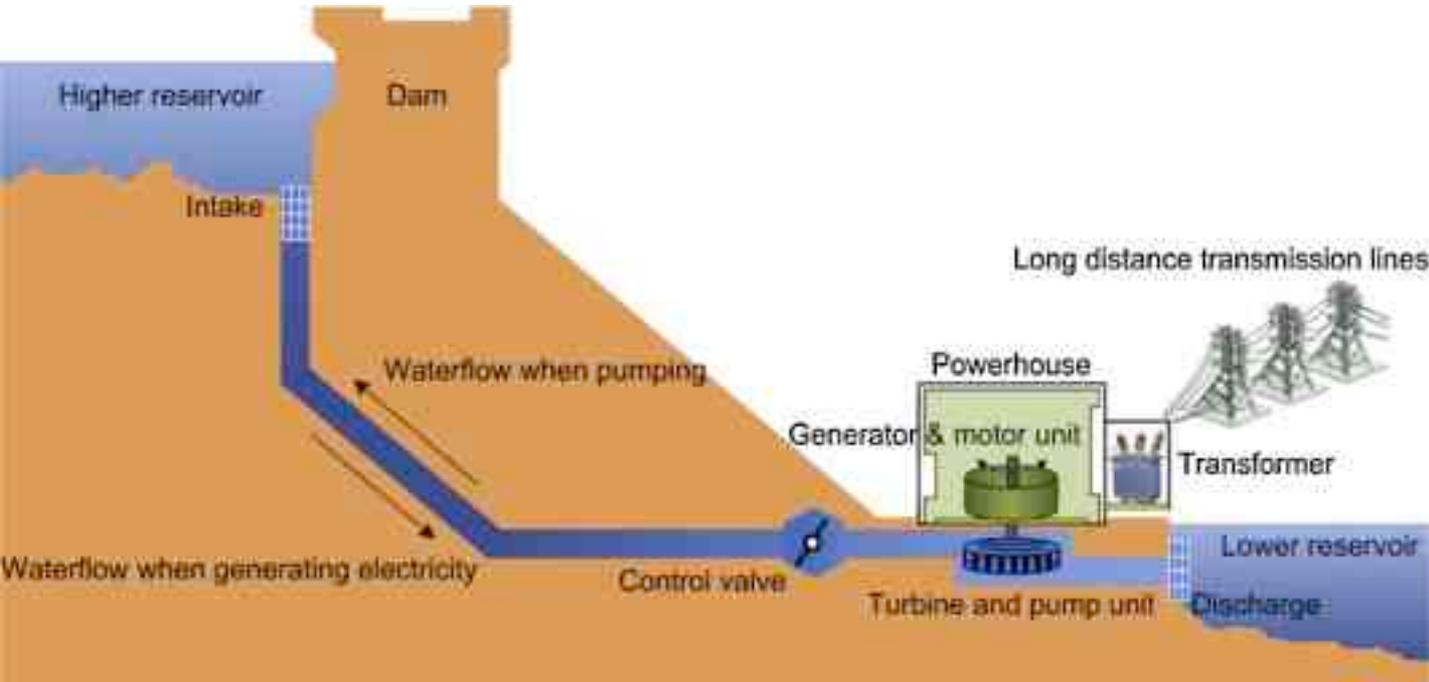
Grandi-impianti:  $P > 10$  MW

Mini-idroelettrico:  $100 \text{ kW} < P < 10 \text{ MW}$ .

Micro idroelettrico :  $5 < P \text{ (kW)} < 100$ ;

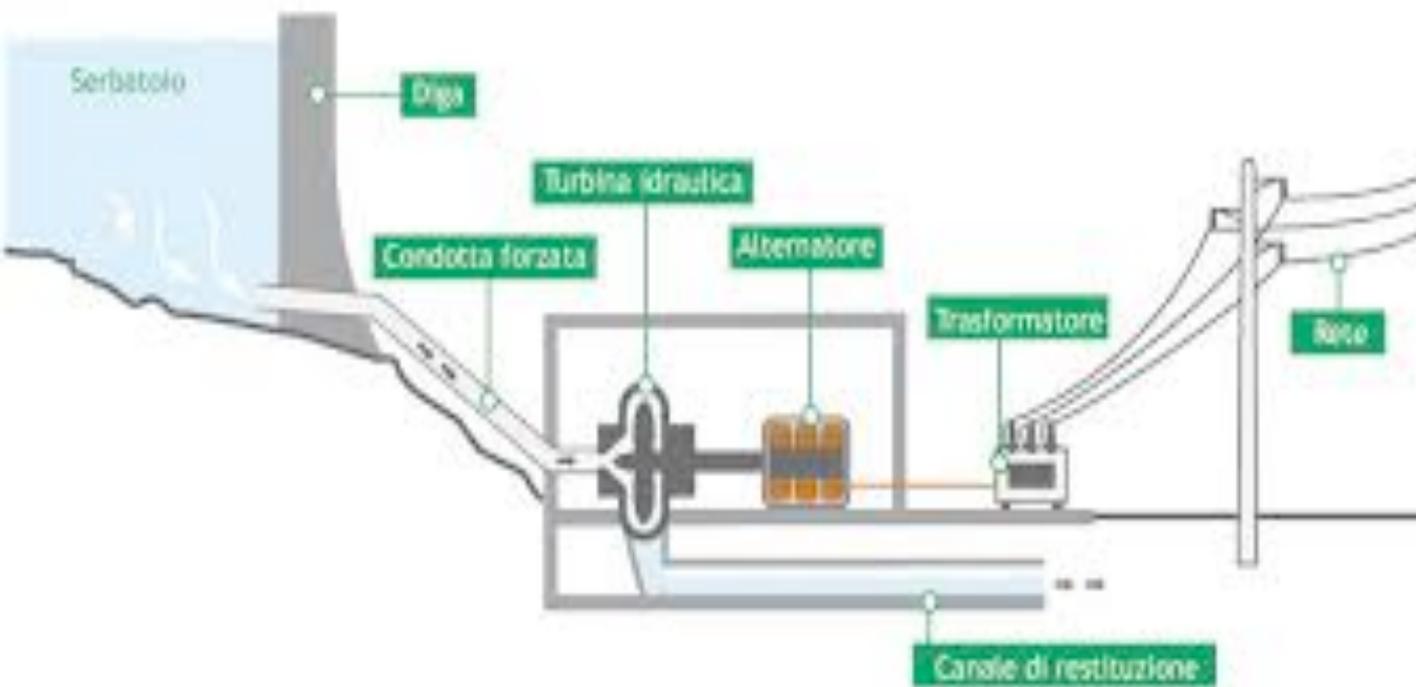
Pico-idroelettrico:  $P$  fino a 5 kW;





La **POTENZA** di un impianto Idroelettrico dipende da:

- 1) la **Portata** (quantità passanti per unità di tempo);
- 2) Il **salto** o la **velocità dell'acqua rispetto alla superficie attiva della turbina**.



I classici impianti idroelettrici di montagna sono generalmente costituiti da una struttura di captazione delle acque posta ad un livello superiore, da strutture di convogliamento e trasporto dell'acqua e da componenti, posti a livello inferiore, che trasformano l'energia idraulica in elettrica. Dopo l'utilizzo l'acqua viene restituita al decorso fluviale.

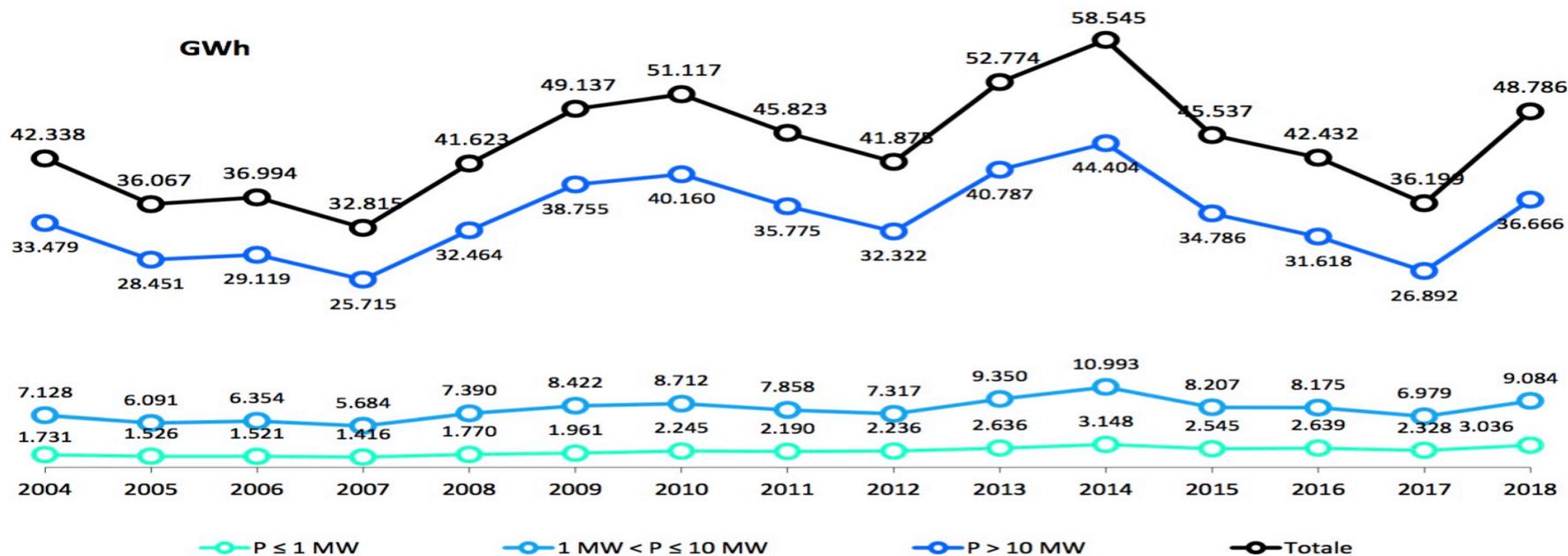
I mini e micro-idro ad acqua fluente, impianti in genere con potenza inferiore a 1000 kW, risultano impianti versatili ed ampiamente sfruttabili; è sufficiente avere salti di qualche metro con adeguata portata d'acqua.

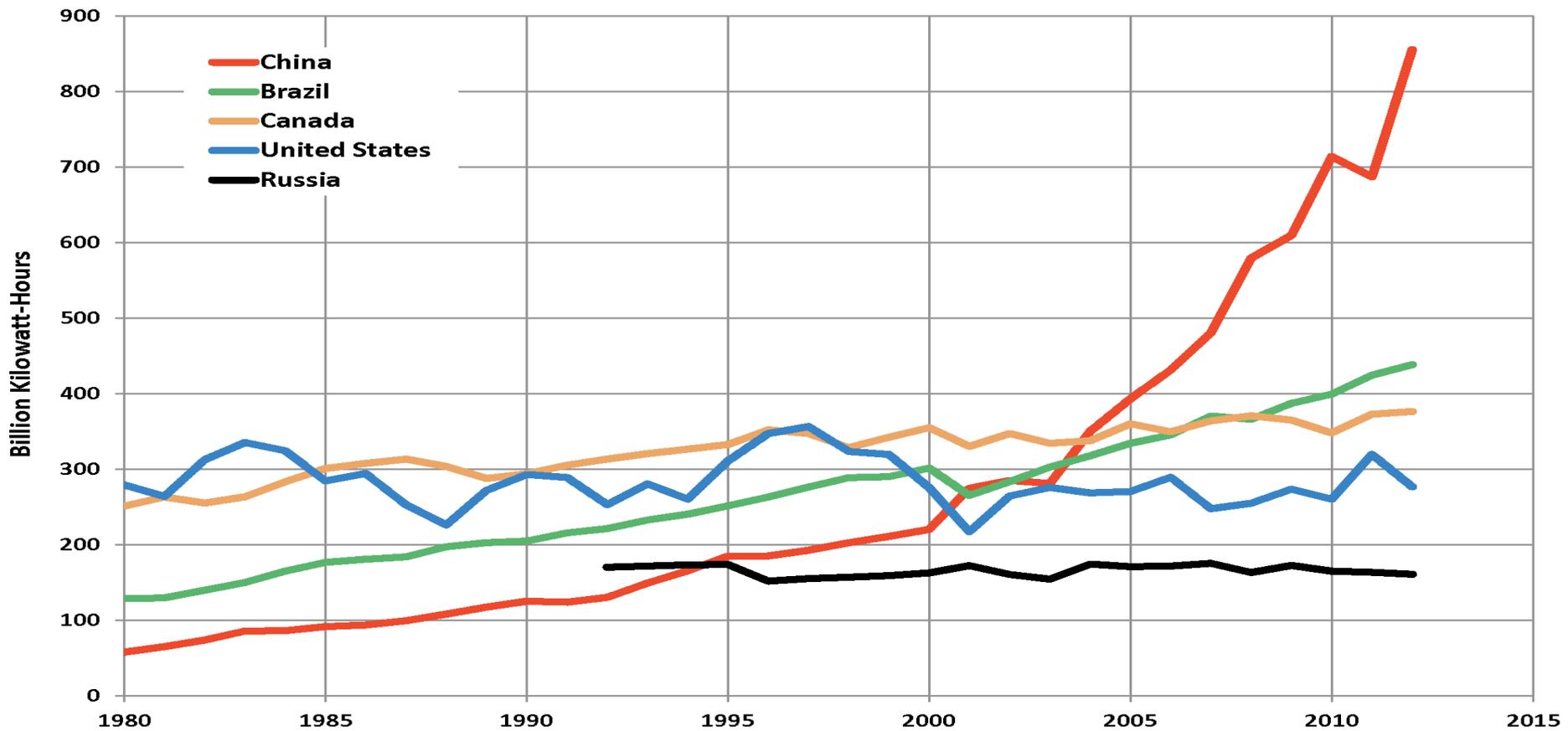
La potenza degli impianti idroelettrici rappresenta il 35% di quella relativa all'intero parco impianti rinnovabile installato in Italia. Escludendo gli impianti di pompaggio puro, alla fine del 2018 risultano in esercizio in Italia 4.331 impianti idroelettrici; nella maggior parte dei casi si tratta di impianti di piccole dimensioni, con potenza complessiva inferiore a 1 MW. In termini di potenza installata, invece, oltre l'80% dei 18.936 MW installati nel Paese a fine 2018 si concentra in impianti con potenza maggiore di 10 MW. Nel corso del 2018 la produzione da fonte idraulica ammonta a 48.786 GWh, pari al 42,6% della produzione totale da fonti rinnovabili. Il 75% dell'elettricità generata dagli impianti idroelettrici è stata prodotta da impianti di potenza superiore a 10 MW, il 19% da quelli di potenza compresa tra 1 e 10 MW e il restante 6% da impianti di piccola dimensione (inferiore a 1 MW). L'arco temporale compreso tra il 2004 e il 2018 è caratterizzato soprattutto dall'installazione di impianti di piccole dimensioni; la potenza installata in Italia è cresciuta secondo un tasso medio annuo dello 0,7%. Naturale conseguenza di questo fenomeno è la progressiva contrazione della taglia media degli impianti, passata da 8,4 MW del 2004 a 4,4 MW nel 2018.

Gli idroelettrici sono classificati in base alla durata di invaso:

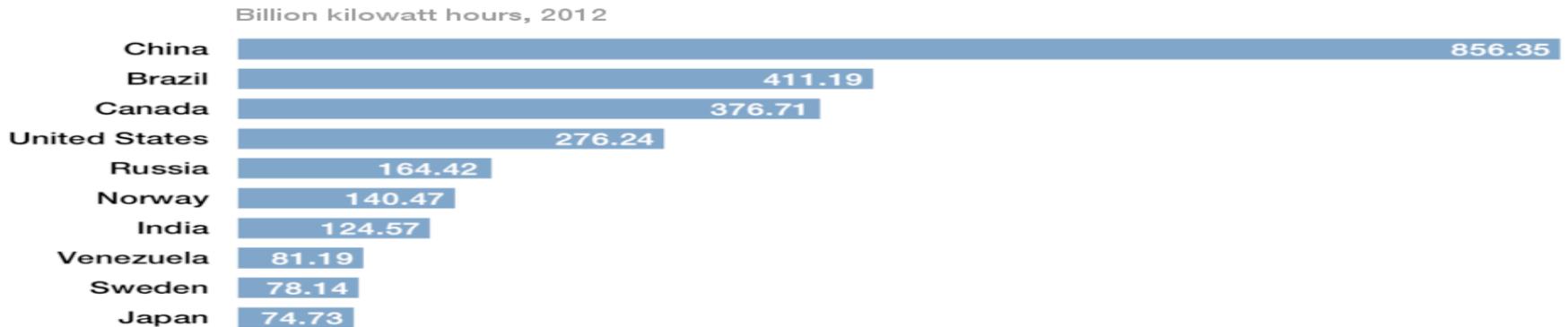
1. impianti a serbatoio: durata di invaso maggiore o uguale a 400 ore;
2. impianti a bacino: durata di invaso minore di 400 ore e maggiore di 2 ore;
3. impianti ad acqua fluente: sono quelli che non hanno serbatoio o che hanno un serbatoio con durata di invaso uguale o minore di 2 ore. Sono generalmente posizionati sui corsi d'acqua.

Nel 2018 il 45,6% della produzione da fonte idraulica complessiva è stata generata dagli impianti idroelettrici ad acqua fluente, per quanto questi rappresentino solo il 30,0% della potenza complessiva installata in impianti idroelettrici. Il contributo degli impianti a bacino è stato del 29,0% della produzione a fonte del 26,9% della potenza installata. Gli impianti a serbatoio, che hanno la maggiore dimensione media per impianto, rappresentano invece il 25,4% della produzione e il 43,1% della potenza. Nel 2018 la produzione è complessivamente aumentata per tutte le tipologie di impianto; in particolare la produzione è cresciuta del 25,6% rispetto al 2017 per gli impianti ad acqua fluente, del 40,5% per quelli a bacino e del 47,2% per quelli a serbatoio.





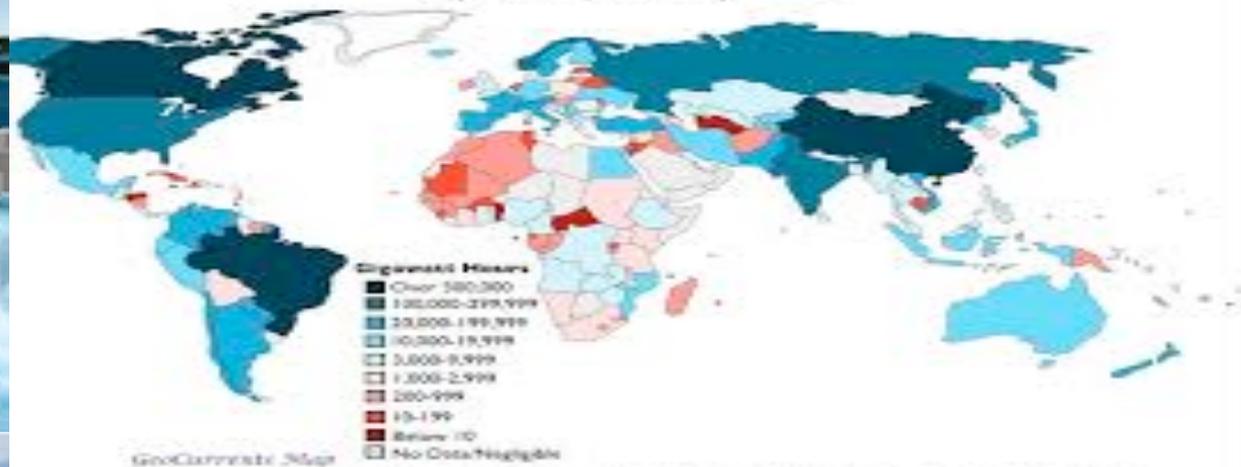
## These countries produce the most hydroelectric power





## Electricity Generated from Hydro

(2006 data for most countries)



GeoCarmine.it\_N&P

Data Source: [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_countries\\_by\\_electricity\\_production\\_from\\_renewable\\_sources](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_electricity_production_from_renewable_sources)

## Vantaggi e svantaggi dell'energia idroelettrica

### Vantaggi

- ❖ energia pulita e che non comporta alcun tipo di emissioni nocive per l'ambiente
- ❖ bassi costi di produzione.
- ❖ è estremamente diffusa nel mondo.
- ❖ veloce attivazione e disattivazione delle centrali con l'utilizzo di saracinesche idrauliche.



### Svantaggi

- vincoli di natura ambientale che obbligano l'energia idroelettrica a restare radicata su un specifico territorio;
- grosso fattore di impatto ambientale poiché gli impianti vanno ad influenzare inevitabilmente la flora e la fauna della zona circostante.
- progressivo interrimento dei bacini di accumulo.
- Rischio di disastri ambientali e tragedie (Vajont, diga Assuan).



Tragedia del Vajont 9 ottobre 1963



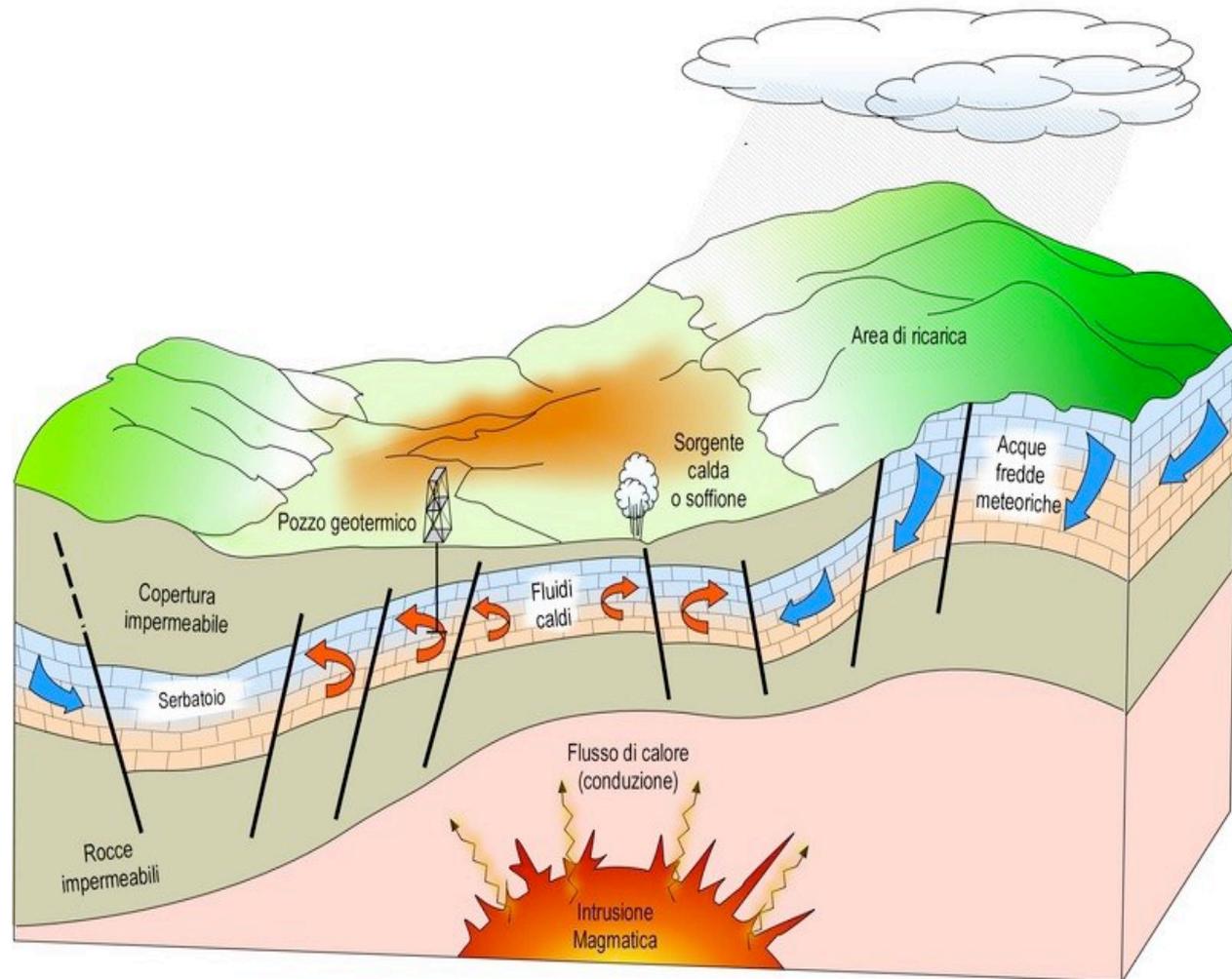
## ***La Produzione di Energia da Impianti Geotermici***



Il calore è una forma di energia e, in senso stretto, l'energia geotermica è il calore contenuto nell'interno della Terra. Esso è all'origine di molti fenomeni geologici di scala planetaria. Tuttavia, l'espressione "energia geotermica" è generalmente impiegata, nell'uso comune, per indicare quella parte del calore terrestre, che può, o potrebbe essere, estratta dal sottosuolo e sfruttata dall'uomo. Il *gradiente geotermico* dà la misura dell'aumento di temperatura con la profondità. Sino alle profondità raggiungibili con le moderne tecniche di perforazione, il gradiente geotermico medio è  $2,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ . Di conseguenza, se la temperatura nei primi metri sotto la superficie, che corrisponde, con buona approssimazione, alla temperatura media annua dell'aria esterna, è  $15^{\circ}\text{C}$ , si può prevedere che la temperatura sia  $65^{\circ}\text{C}$ - $75^{\circ}\text{C}$  a 2000 m di profondità,  $90^{\circ}\text{C}$ - $105^{\circ}\text{C}$  a 3000 m e via di seguito per alcune migliaia di metri. Vi sono, comunque, vaste regioni nelle quali il valore del gradiente geotermico si discosta sensibilmente da quello medio. In aree in cui il basamento rigido sprofonda e si forma un bacino che si riempie rapidamente di sedimenti geologicamente "molto giovani", il gradiente geotermico può essere anche inferiore a  $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ . Viceversa, in certe "aree geotermiche" il gradiente può raggiungere valori superiori a dieci volte quello normale.

La sorgente di calore è l'unico dei tre elementi di un sistema geotermico che deve essere naturale. Gli altri due elementi, se esistono le condizioni adatte, possono essere "artificiali". Per esempio, i fluidi geotermici estratti dal serbatoio per alimentare la turbina di una centrale elettrica, dopo averne sfruttato l'energia, possono essere immessi di nuovo nel serbatoio attraverso appositi pozzi di reiniezione. In questo modo la ricarica naturale del serbatoio è integrata dalla ricarica artificiale. Da diversi anni, inoltre, la reiniezione dei fluidi sfruttati è stata adottata per ridurre drasticamente l'impatto ambientale degli impianti geotermici.

Il più comune criterio di classificazione delle risorse geotermiche si basa sull'entalpia dei fluidi, che trasferiscono il calore dalle rocce calde profonde alla superficie. L'*entalpia*, che può essere considerata più o meno proporzionale alla temperatura, è usata per esprimere il contenuto termico (energia termica) dei fluidi, e dà un'idea approssimativa del loro "valore". Le risorse sono divise in risorse a bassa, media ed alta entalpia (o temperatura), secondo diversi criteri.



I vulcani, le sorgenti termali, le fumarole ed altri fenomeni superficiali di questo genere hanno certamente fatto immaginare ai nostri progenitori che alcune parti dell'interno della Terra sono calde. Soltanto tra il sedicesimo ed il diciassettesimo secolo, tuttavia, quando furono scavate le prime miniere profonde qualche centinaio di metri, ci si rese conto, da semplici sensazioni fisiche, che la temperatura del sottosuolo aumenta con la profondità. Dal 1870 il regime termico della terra è stato studiato con metodi scientifici moderni, ma soltanto nel ventesimo secolo, dopo la scoperta del ruolo svolto dal calore radiogenico, è stato possibile comprendere pienamente fenomeni come il bilancio termico della Terra e ricostruire la storia termica del nostro pianeta. L'energia termica della Terra è quindi enorme, ma soltanto una parte di essa può essere sfruttata. Sino ad oggi, l'utilizzazione di questa energia è stata limitata a quelle aree nelle quali le condizioni geologiche permettono ad un vettore (acqua in fase liquida o vapore) di "trasportare" il calore dalle formazioni calde profonde alla superficie o vicino ad essa, formando quelle che chiamiamo risorse geotermiche. Nuove vie potrebbero però essere aperte in un futuro prossimo da metodi innovativi e tecnologie d'avanguardia, alcuni già in fase di sperimentazione. I fluidi geotermici erano già utilizzati, per il loro contenuto energetico, nella prima parte del diciannovesimo secolo. In quel periodo, nella zona che poi ha avuto il nome di Larderello (Toscana), era stata costruita una piccola industria chimica per estrarre l'acido borico dalle acque calde boriche, che sgorgavano naturalmente dal suolo o erano estratte da pozzi di piccola profondità. L'industria chimica di Larderello detenne, tra il 1850 ed il 1875, il monopolio della produzione dell'acido borico in Europa. Nella medesima area geotermica, tra il 1910 ed il 1940, si avviò, ampliandosi progressivamente, l'utilizzazione del vapore a bassa pressione per il riscaldamento di edifici residenziali ed industriali, e di serre. Mentre questo accadeva in Italia, anche in altri paesi si sviluppava l'utilizzazione industriale dell'energia geotermica: nel 1892 a Boise (Idaho, USA) veniva inaugurato il primo sistema di riscaldamento urbano; nel 1928 l'Islanda, un altro paese all'avanguardia nell'utilizzazione di questa fonte energetica in Europa, cominciò a sfruttare i fluidi geotermici, soprattutto acqua calda, per il riscaldamento di edifici. Il primo tentativo di produrre elettricità dall'energia contenuta nel vapore geotermico è stato fatto a Larderello nel 1904. Il successo di questo esperimento mostrò il valore industriale dell'energia geotermica e segnò l'inizio di una forma di sfruttamento, che è ora diffuso in molti paesi. La produzione di elettricità a Larderello fu un successo commerciale, oltre che della tecnica, tanto che, nel 1942, la potenza geotermoelettrica installata aveva raggiunto 127.650 kW. L'esempio italiano fu seguito da numerosi altri paesi. Nel 1919 venne perforato il primo pozzo geotermico in Giappone, a Beppu, e, nel 1921, negli Stati Uniti, a The Geysers in California. Nel 1958 un primo impianto geotermoelettrico entrò in esercizio in Nuova Zelanda, nel 1959 in Messico, nel 1960 negli Stati Uniti e negli anni seguenti in molti altri paesi.

Negli ultimi tre anni il numero degli impianti geotermoelettrici è rimasto immutato (34 unità). Gli impianti più numerosi sono quelli con potenza minore o uguale a 20 MW, che rappresentano il 52,8% della potenza totale degli impianti geotermoelettrici.

I tre impianti appartenenti alla classe tra 20 e 40 MW concentrano il 14,1% della potenza totale. La classe di potenza superiore a 40 MW copre il 11,8% del totale in termini di numerosità e il 33,1% in termini di potenza. La sostanziale stabilità nella potenza installata tra il 2004 e il 2018 ha prodotto variazioni piuttosto contenute anche sulla produzione lorda; il tasso medio annuo decrescita, in particolare, è pari a 0,8%.

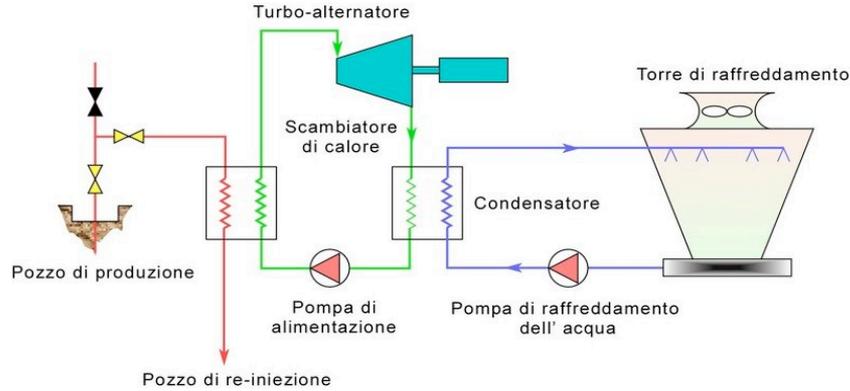
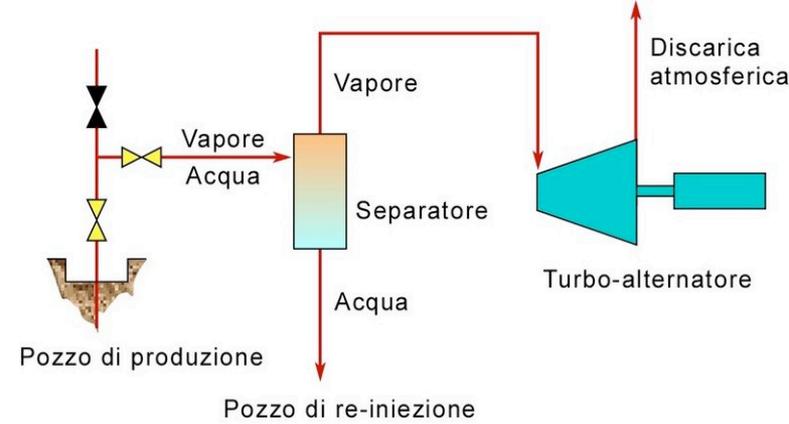
Nel 2018 la **produzione da impianti geotermoelettrici** è stata pari a 6.105 GWh, per una diminuzione pari a - 1,5% rispetto all'anno precedente. Il contributo della fonte geotermica alla produzione totale rinnovabile ha mostrato una certa variabilità negli anni, passando dal 10% del 2004 al valore massimo del 12% del 2007, per poi scendere al minimo del 5% del biennio 2013–2014, a causa della produzione progressivamente crescente da tutte le altre fonti rinnovabili.

La fonte geotermica è caratterizzata da una disponibilità pressoché costante nel corso dell'anno; di conseguenza, in confronto agli altri impianti alimentati da fonti rinnovabili, le prestazioni degli impianti geotermoelettrici risultano le migliori in termini di producibilità. Nel 2018, in particolare, il 50% degli impianti ha prodotto per almeno 7.174 ore equivalenti, un dato inferiore a quello registrato l'anno precedente (7.378 ore). Le ore di utilizzazione medie, infine, nel 2018 risultano pari a 7.509: si tratta di un valore più basso rispetto a quello rilevato nei 3 anni precedenti (erano 7.627 nel 2017, 7.720 ore nel 2016, 7.534 ore nel 2015).

Nel 2018 **l'energia termica complessiva** ottenuta in Italia dallo sfruttamento dell'energia geotermica ammonta a 6.242 TJ, corrispondenti a circa 149 ktep, in leggera diminuzione rispetto all'anno precedente (si trascurano eventuali differenze tra l'energia prodotta o estratta e l'energia consumata dall'utenza). Più in particolare, nel 2018 i consumi diretti risultano pari a 5.364 TJ (86% del totale), 114 TJ in meno rispetto al 2017 (-2,1%). I settori che utilizzano maggiormente la fonte geotermica per usi termici diretti sono il commercio e i servizi (61,6%, principalmente per la notevole diffusione degli stabilimenti termali), seguiti da acquacoltura/itticoltura (26,3%) e dall'agricoltura (10,5%); gli utilizzi nell'industria e nel settore residenziale (dai quali sono esclusi gli impieghi di risorsa geotermica tramite pompe di calore) si confermano piuttosto modesti. Ai consumi diretti si aggiungono 878 TJ di calore derivato (circa 21 ktep) prodotto da impianti di sola produzione termica; si tratta principalmente di impianti di teleriscaldamento localizzati in Toscana e in Emilia Romagna. Non si rilevano impianti cogenerativi alimentati da fonte geotermica. Considerando che per gli impianti di teleriscaldamento è possibile fare riferimento unicamente al numero dei comuni teleriscaldati e non a quello degli impianti, si rilevano in Italia almeno 220 impianti attivi per lo sfruttamento dell'energia geotermica ai fini di sola produzione di calore; si tratta, nella maggior parte dei casi, di sistemi di riscaldamento individuale e impianti termali.

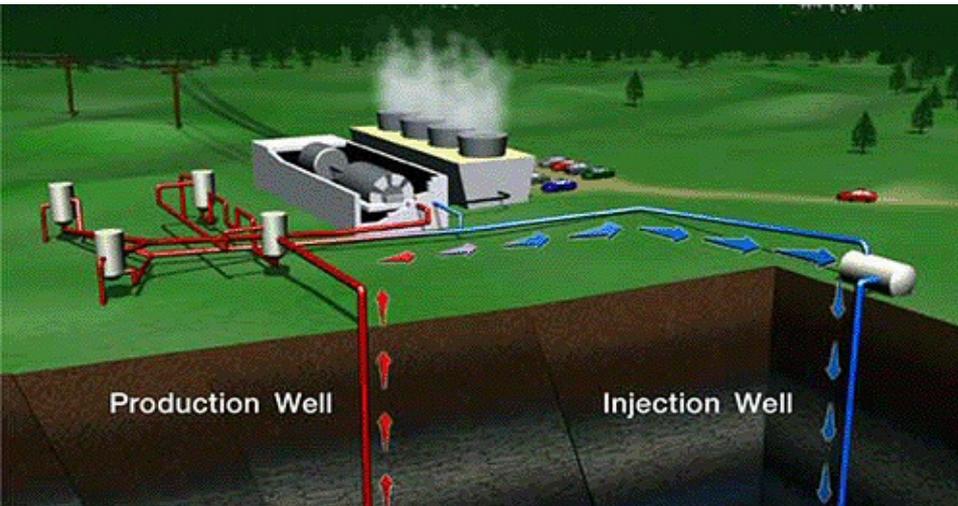
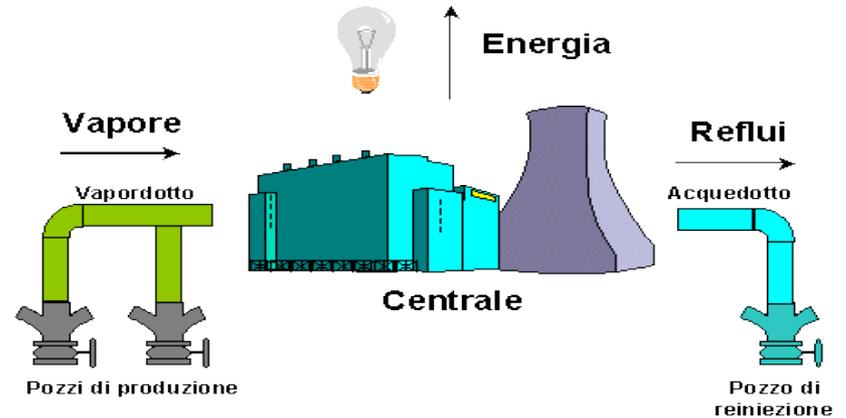
# La produzione di energia elettrica

Gli impianti convenzionali richiedono fluidi con una temperatura di almeno 150°C e sono disponibili nel tipo a contropressione (con scarico diretto nell'atmosfera) e a condensazione. Gli impianti a contropressione sono più semplici e meno costosi. Il vapore, proveniente direttamente dai pozzi, se questi producono vapore secco, oppure dopo la separazione della parte liquida, se i pozzi producono vapore umido, passa attraverso la turbina ed è poi scaricato nell'atmosfera



I notevoli progressi, realizzati negli ultimi decenni, nella tecnologia dei cicli binari hanno reso possibile produrre elettricità, sfruttando fluidi geotermici a temperatura medio-bassa ed acque calde di scarico emesse dai separatori nei campi geotermici ad acqua dominante.

Grande sviluppo settore elettrico: 785 MWe (1,5%) energia elettrica per 2 MIL di famiglie

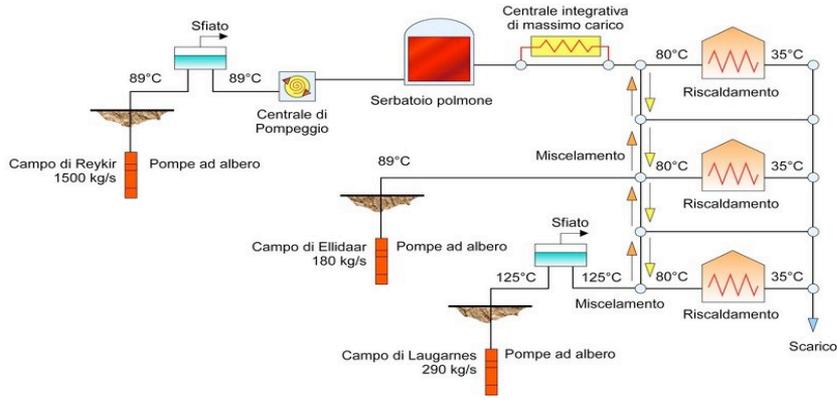


# Utilizzazione diretta del calore

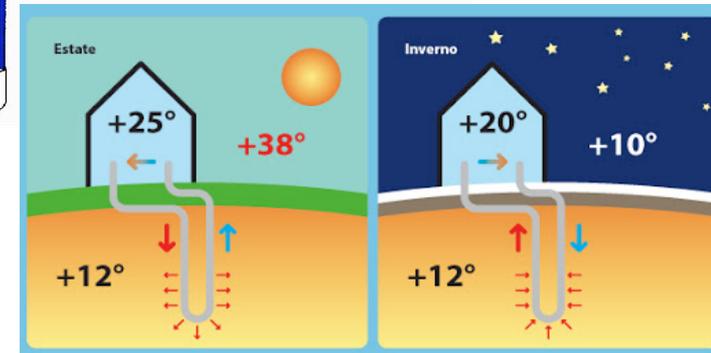
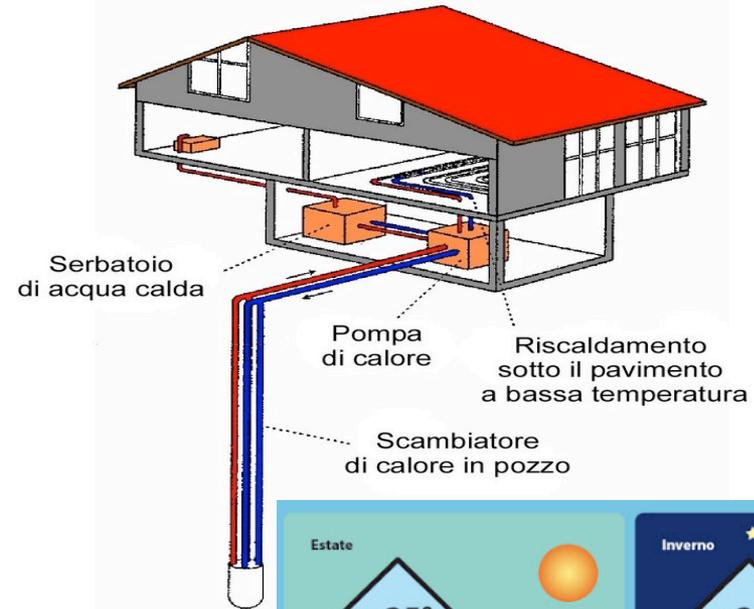
L'utilizzazione diretta del calore è la forma di sfruttamento dell'energia geotermica più antica, più diversificata e versatile e più comune (Tabella 2). La balneologia, il riscaldamento urbano e di ambienti, gli usi agricoli, l'acquacoltura ed alcuni impieghi industriali sono le utilizzazioni meglio conosciute, ma le pompe di calore sono la forma d'uso più diffusa (nel 2000 rappresentavano il 12,5% dell'energia totale impiegata in usi diretti). Oltre questi, vi sono numerose altre applicazioni del calore geotermico, talvolta del tutto inusuali.

Il riscaldamento di ambienti e quello urbano hanno avuto un grande sviluppo in Islanda, dove sono operativi (1999) sistemi di riscaldamento geotermico per una potenza di 1200 MWt, ma questa forma d'uso è molto diffusa anche in Europa Orientale, negli Stati Uniti, in Cina, Giappone, Francia, ecc.

Il riscaldamento geotermico di quartieri abitativi richiede un investimento di capitali ingente. I costi maggiori sono quelli iniziali per i pozzi di produzione e di reiniezione, i costi delle pompe in pozzo e di distribuzione, delle condutture e della rete di distribuzione, delle strumentazioni di sorveglianza e di controllo, degli impianti integrativi per i periodi di punta e dei serbatoi-polmone (serbatoi di riserva). In confronto ai sistemi convenzionali, però, i costi operativi sono più bassi e derivano dall'energia per il pompaggio, dalla manutenzione, dal sistema di controllo e dalla direzione tecnica e commerciale.



Il condizionamento di ambienti (riscaldamento e raffreddamento) con l'energia geotermica si è diffuso notevolmente a partire dagli anni '80, a seguito dell'introduzione nel mercato e della diffusione delle pompe di calore. I diversi sistemi di pompe di calore disponibili permettono di estrarre ed utilizzare economicamente il calore contenuto in corpi a bassa temperatura, come terreno, acquiferi poco profondi, masse d'acqua superficiali, ecc. Come è noto ad ogni ingegnere, le pompe di calore sono macchine che spostano il calore in direzione opposta a quella in cui tenderebbe a dirigersi naturalmente, cioè da uno spazio o corpo più freddo verso uno più caldo. In realtà, una pompa di calore non è niente di più di un condizionatore. Tutti gli apparecchi refrigeranti (condizionatori d'aria, frigoriferi, freezers, ecc.) estraggono calore da uno spazio (per mantenerlo freddo) e lo scaricano in un altro spazio più caldo. L'unica differenza tra una pompa di calore e un'unità refrigerante sta nell'effetto desiderato, il raffreddamento per l'unità refrigerante, ed il riscaldamento per la pompa di calore. Molte pompe di calore sono reversibili ed il loro funzionamento può essere invertito, potendo operare alternativamente come unità riscaldanti o raffreddanti. Le pompe di calore richiedono energia elettrica per funzionare, ma, in condizioni climatiche adatte e con un buon progetto, il bilancio energetico è positivo. Sistemi con pompe di calore connesse al suolo o a masse d'acqua sono attualmente presenti in almeno trenta paesi e, nel 2003, la potenza termica totale installata era stimata a più di 9500 MWt. Il maggior numero di impianti si trova negli Stati Uniti (500.000 impianti installati per un totale di 3730 MWt), in Svezia (200.000 per 2000 MWt), in Germania (40.000 per 560 MWt), in Canada (36.000 per 435 MWt), in Svizzera (25.000 per 440 MWt) e in Austria (23.000 per 275 MWt) (Lund *et al.*, 2003). Per realizzare questi sistemi sono stati utilizzati terreni e masse idriche con temperature tra 5° e 30°C.

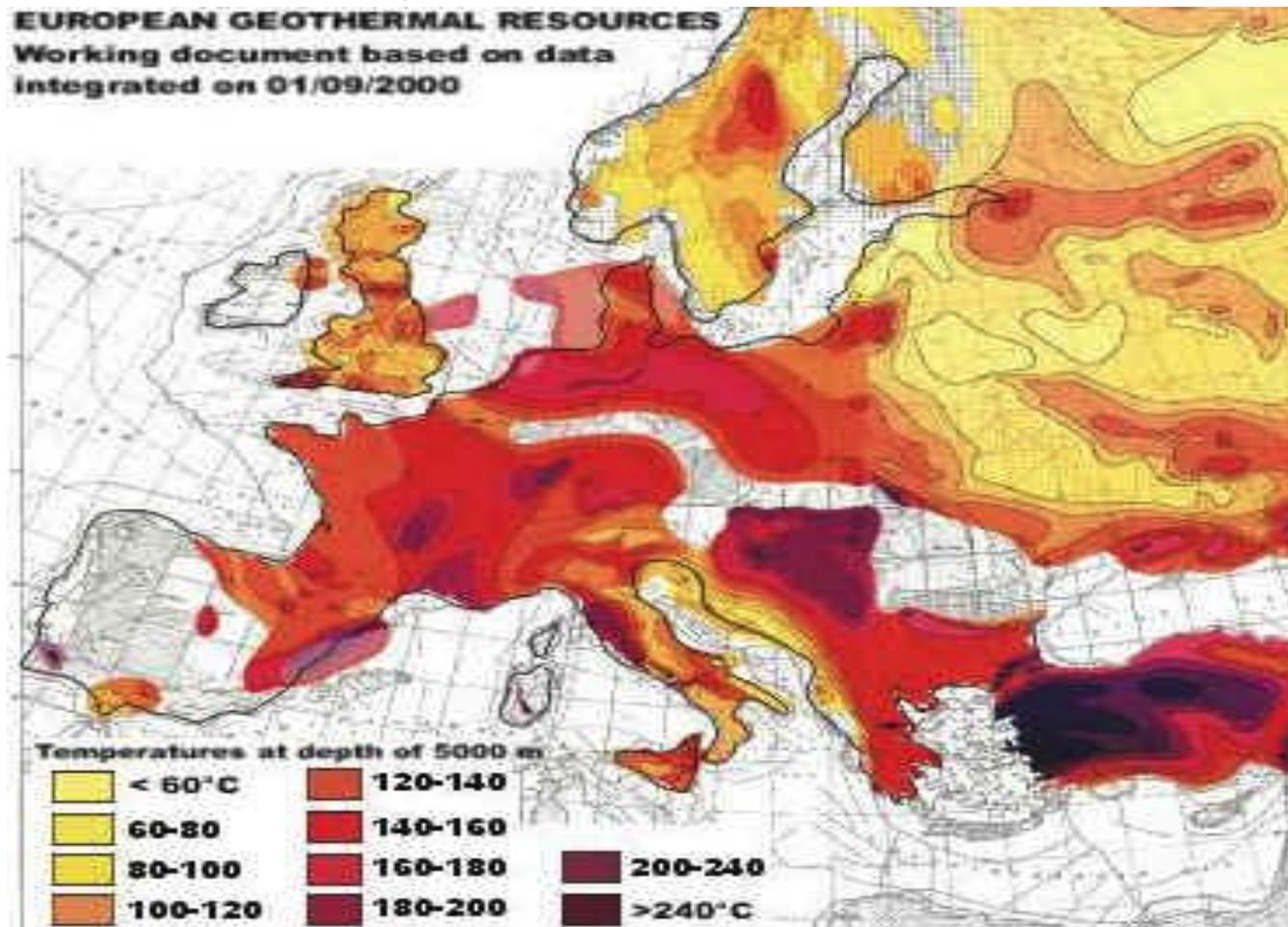


Tra le energie rinnovabili, l'Unione Europea ha riconosciuto all'utilizzo dell'energia geotermica un valore strategico prioritario per attenuare la dipendenza energetica dai combustibili fossili e le conseguenti immissioni in atmosfera (Parere del Comitato economico e sociale europeo sul tema "Lo sfruttamento dell'energia geotermica – il calore endogeno della Terra – GUUE 2005/C 221/05). Anche i sistemi di tipo conduttivo come Rocce Calde Secche (**Hot Dry Rock**), i sistemi geopressurizzati e i sistemi magmatici, sono stati classificati come zone caratterizzate da "anomalie geotermiche rilevanti", secondo la definizione della sezione Energia del Comitato Economico e Sociale Europeo ("Lo sfruttamento dell'energia geotermica – il calore endogeno della terra", poi adottato in sessione plenaria il 9/2/2005 e pubblicato sulla GUCE C 221 8/9/2005.)

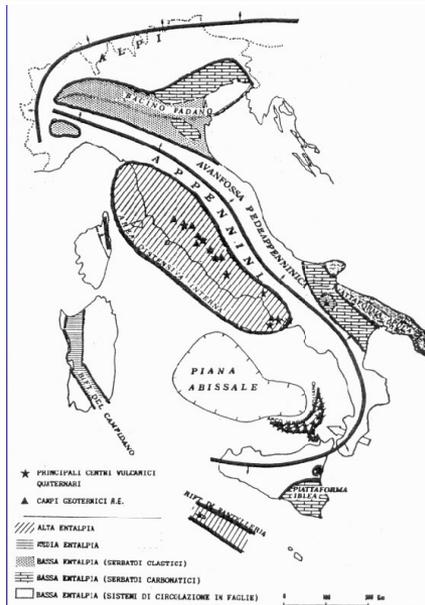
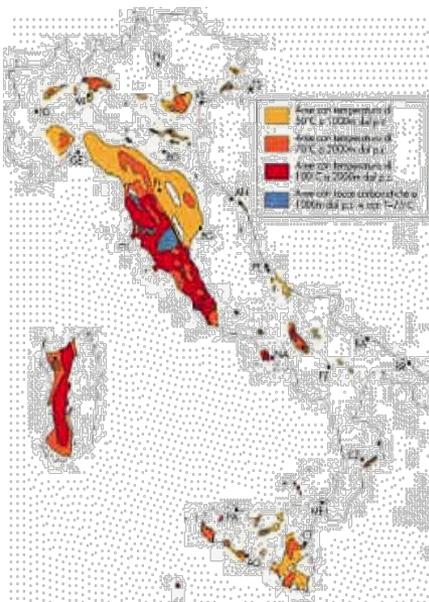
In zone tettonicamente attive (quali le zone vulcaniche) il gradiente geotermico può essere oltre 20 volte maggiore di quello medio  
in zone tettonicamente poco o per niente attive, il gradiente geotermico è invece normale

Riferimenti normativi e classificazione geotermica (Decreto n.22 del 11/02/2010, Art.1 com.2):

1. sistemi ad **alta** entalpia (temperature  $> 150^{\circ}\text{C}$ )
  2. sistemi a **media** entalpia (temperature  $90^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$ )
  3. sistemi a **bassa** entalpia (temperature  $T < 90^{\circ}\text{C}$ ).
- La produzione di energia elettrica è attualmente la forma di utilizzazione più importante delle risorse geotermiche ad alta entalpia.



L' Italia è il paese geotermicamente più "caldo" di tutta Europa: vulcani, soffioni boraciferi, sorgenti termominerali abbondano.



Oltre che per generare elettricità, il calore geotermico e' impiegato in applicazioni dirette, che assicurano un risparmio d'energia producendo acqua a temperature comprese tra i 20 e i 150°C.

Accanto alle cure termali, l'acqua calda geotermica viene usata per riscaldare serre per la floricoltura e l'orticoltura, per pastorizzare il latte, per essiccare cipolle o legname, per lavare la lana.

Altro uso abbastanza diffuso e' rappresentato dal riscaldamento di edifici, sia privati che pubblici, o di interi quartieri.

Comparazione tra la produzione elettrica da energia geotermica e quella da energia eolica in Italia e in Svezia, da cui si evince che la produzione di energia geotermica in Italia è tre volte più economica rispetto a quella eolica grazie alla differenza in utilizzo ed al prezzo dell'energia

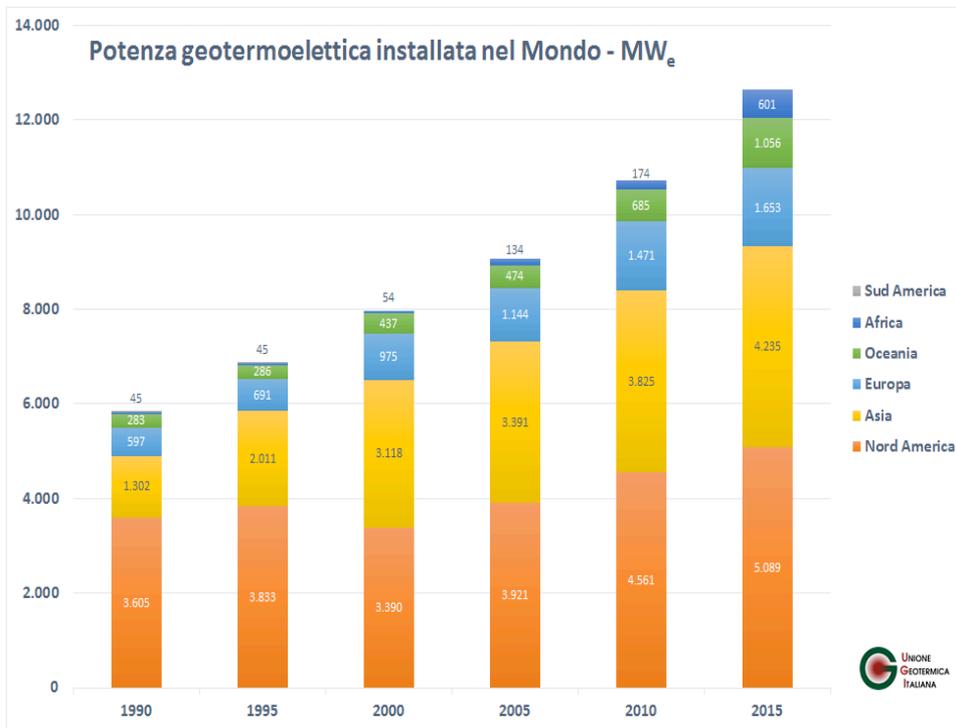
(fonte: Vindkraft till havs: SvD 20100222; Vindkraft i Sverige: www.svenskvindenergi.org/Lithund\_januari\_2010.pdf)

## Produzione dell' Energia Geotermica

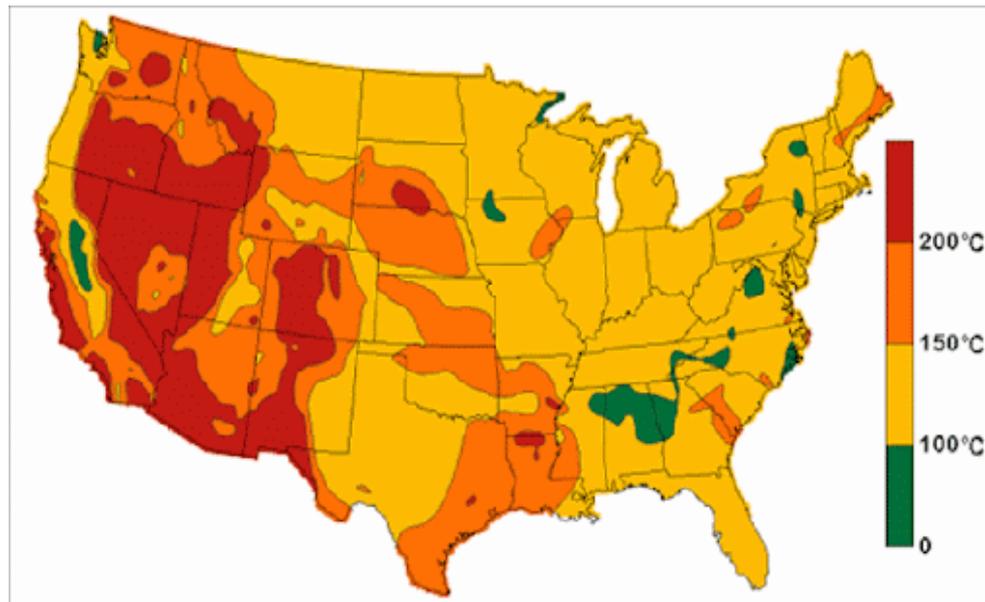
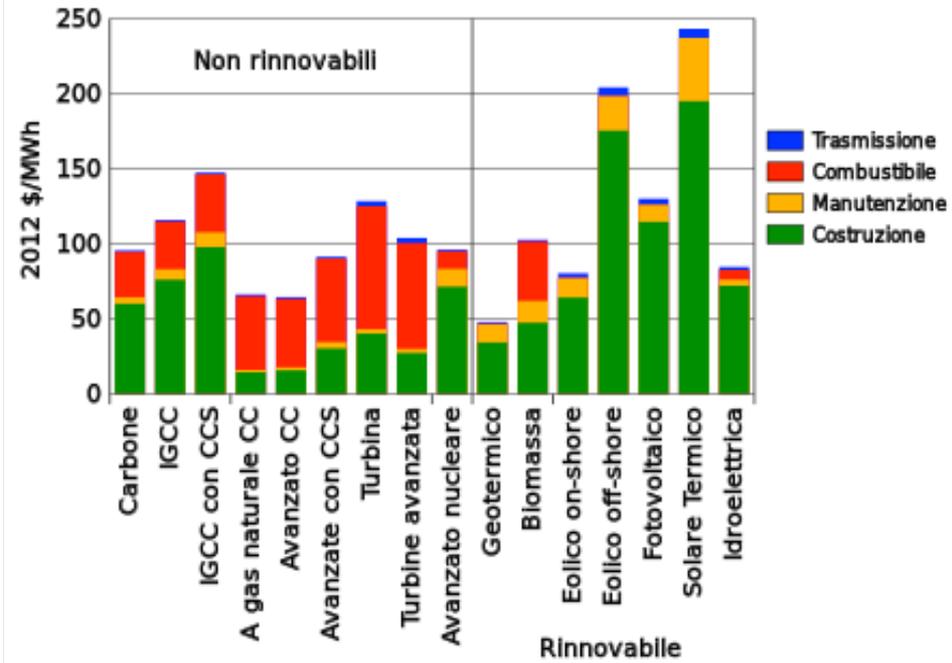


	Italy Geoth	Wind (offshore)	Wind (Sweden)
Installed Capacity	20 MW	20 MW	20 MW
Produced Power	160 GWh	70 GWh	32 GWh
Total Investment/20 MW	€130 * 10 <sup>6</sup>	€80 * 10 <sup>6</sup>	€40 * 10 <sup>6</sup>
Total Inv/GWh	€0,80 * 10 <sup>6</sup> /GWh	€1,14 * 10 <sup>6</sup> /GWh	€1,25 * 10 <sup>6</sup> /GWh
Total Inv/Annual Sales	5,4 €/€	14,3 €/€	15,6 €/€
Power Price + Green certificate	€0,15/kWh	€0,08/kWh	€0,08/kWh
Degree of Utilization (%)	95%	40%	18%

Potenza geotermoelettrica installata nel Mondo - MW<sub>e</sub>



Stati Uniti Il costo livellato di Generazione Elettrica



## Vantaggi:

1. rende indipendenti dal prezzo dei combustibili
2. non emette CO<sub>2</sub>
3. a parità di energia elettrica installata produce maggior quantità di energia
4. è silenzioso
5. nessun pericolo di fughe di gas o incendi
6. è realizzabile in ogni luogo della Terra
7. è indipendente dalle condizioni atmosferiche

- L'energia da fonte geotermica è generata senza ricorrere a combustibili fossili, quindi non produce le sostanze inquinanti associate a questi combustibili.
- Le centrali geotermiche producono inoltre altri inquinanti gassosi non condensabili, come idrogeno solforato, metano, ed i reflui liquidi possono contenere disciolte sostanze quali metalli pesanti e silicati.
- I moderni sistemi di controllo delle emissioni e le tecniche di reiniezione nel sottosuolo hanno tuttavia ridotto al minimo quest'impatto.

Posta l'evidente "rinnovabilità" della Fonte d'Energia Primaria della Geotermia, sono stati sollevati rilievi critici (che si approfondiranno nella trattazione dei problemi di "Nimby" connessi, ormai, a qualsivoglia intervento impiantistico e infrastrutturale) che qui si sintetizzano.

1. Il vapore uscente dalla turbina viene riportato allo stato liquido in un condensatore e, tipicamente, re-iniettato in profondità tramite un processo che utilizza, prima, una torre di raffreddamento che consente di raffreddare l'acqua prodotta dalla condensazione del vapore e di fornire acqua fredda al condensatore stesso, poi, quell'acqua condensata viene smaltita re-iniettandola nelle rocce profonde da cui il vapore è stato estratto.
2. In casi di pozzi geotermici profondi, alcuni "altri gas", contenuti nel vapore, per quanto relativamente modesti, vengono dispersi nell'atmosfera.
3. L'impatto ambientale viene anche indicato nell'impatto visivo e invasivo in sé della Centrale Geotermica ad Alta Entalpia per la Produzione di Energia Elettrica, come, del resto, per qualsivoglia impianto di produzione industriale.