

# Fotovoltaico ed energie rinnovabili

*Giancarlo Buccella*

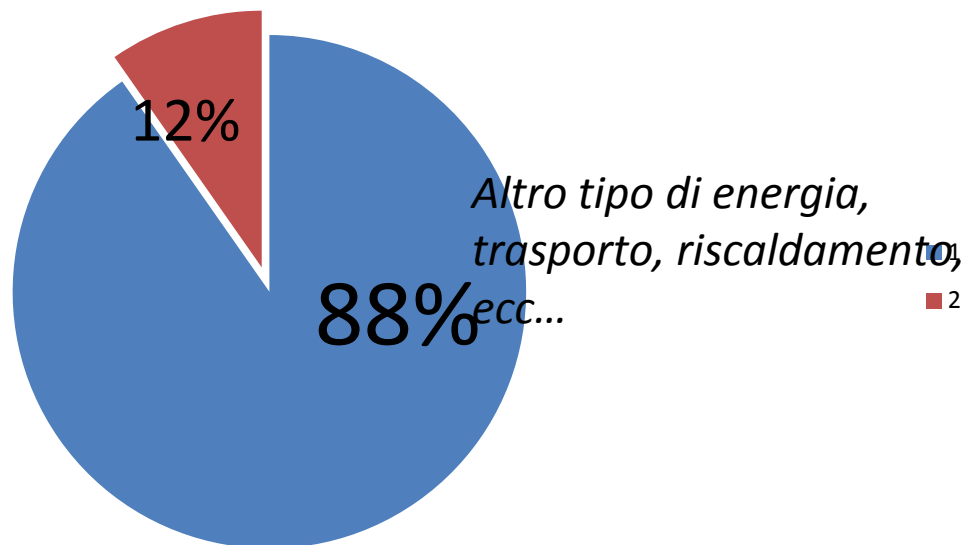


**ARTA Abruzzo - Distretto di Pescara - Sezione di Fisica Ambientale**

# Consumo di energia nel mondo nel 2009

11 Gtep = 130 000 TWh

*Energia elettrica:  
circa 15 000 TWh*



**Kilo (k)** = migliaia

**Mega (M)** = milioni

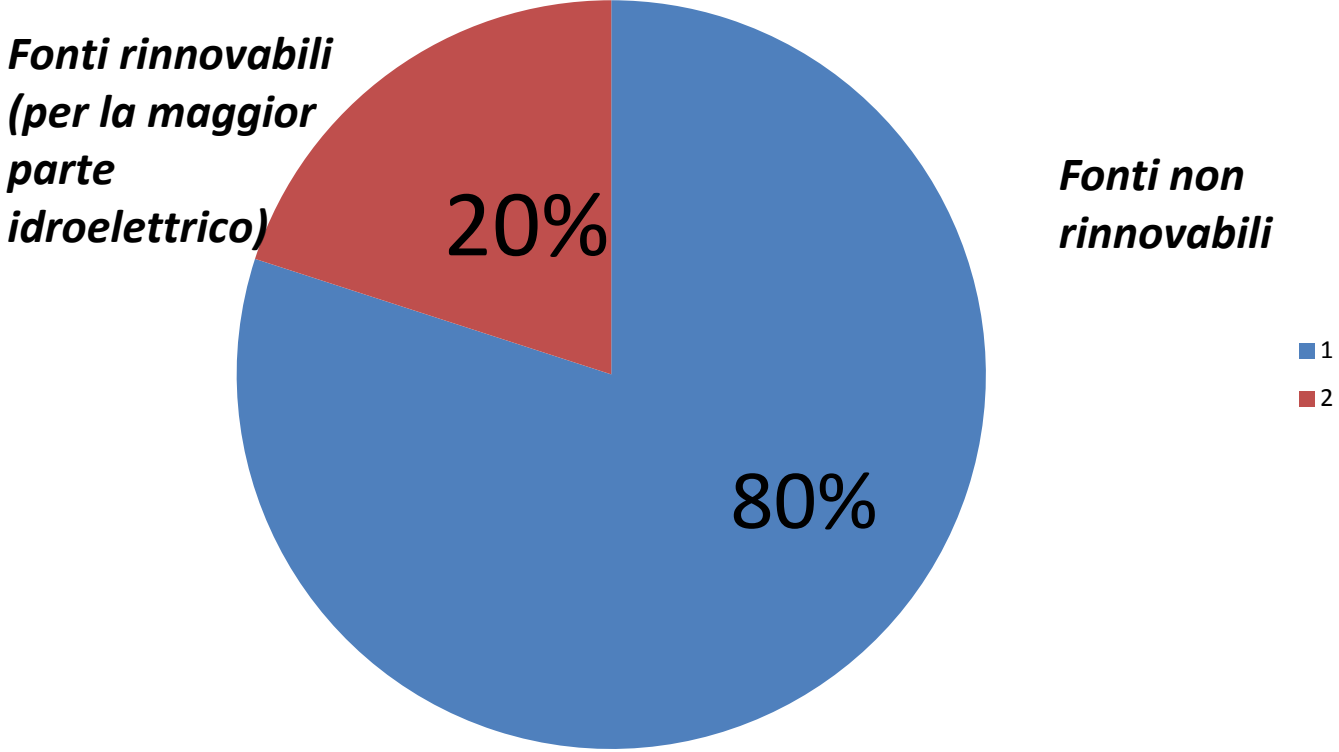
**Giga (G)** = miliardi

**Tera (T)** = migliaia di miliardi

# Produzione di energia elettrica nel mondo

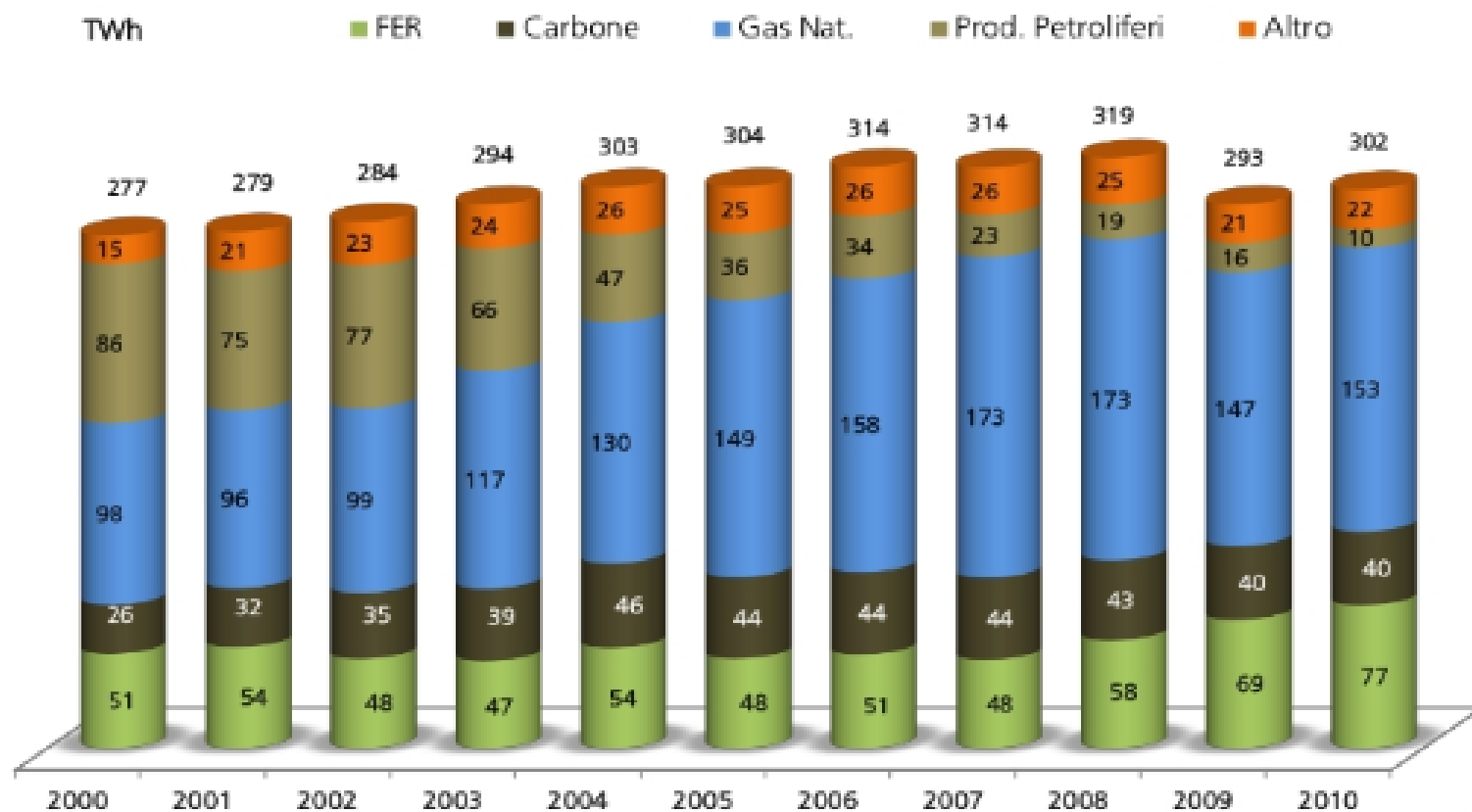
**15 000 TWh/anno**

*(di cui circa 300 prodotti in Italia, cioè circa il 2%)*



# La produzione di energia elettrica in Italia dal 2000 al 2010 (fonte GSE)

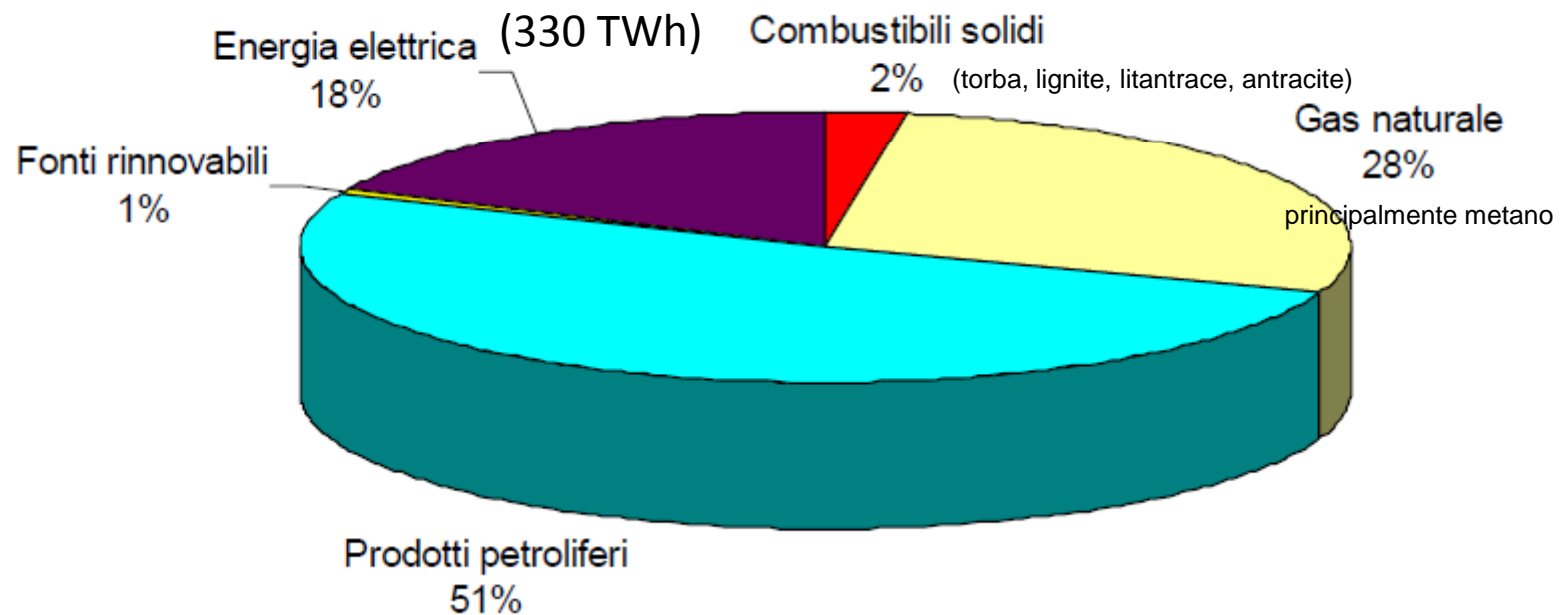
La produzione lorda totale in Italia dal 2000 al 2010



# Le fonti di energia utilizzate in Italia - 2009

**1800 TWh (di cui 330 elettrici)  
pari a 180 Mtep**

**Totale impieghi finali : 139,5 Mtep**



# Chi consuma di più?

- **Media mondiale** di consumo di energia (per persona)

$$130000/6.5 \times 10^9 = 20000 \text{ kWh/anno} = \mathbf{56 \text{ kWh/giorno}}$$

**Americano medio 250 kWh**

**Europeo medio 125 kWh**

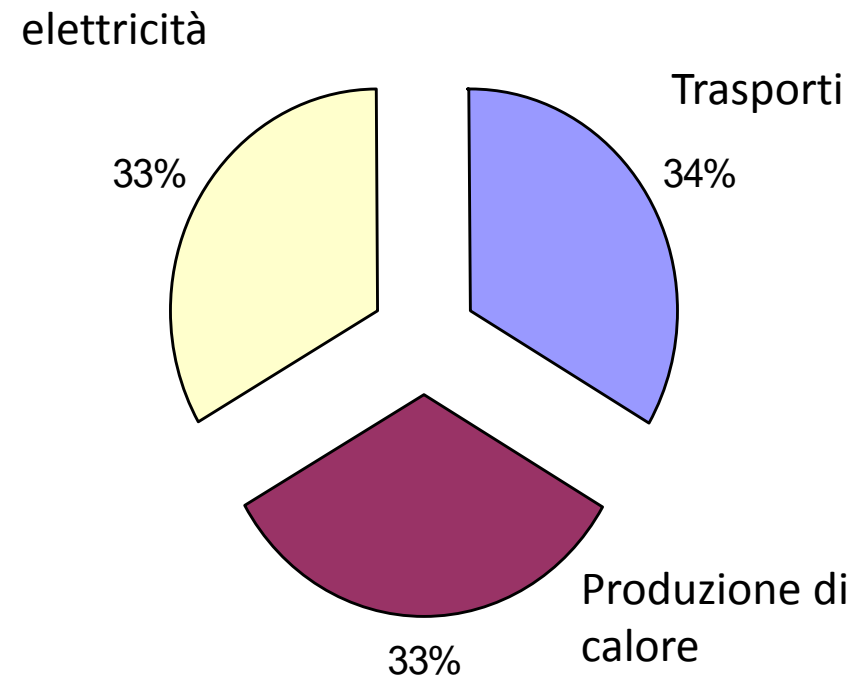
**Un americano consuma il doppio di un europeo**

Cosa è il TEP?

Il TEP la quantità di energia che viene fornita da una tonnellata di petrolio greggio. Poiché ogni Kg di petrolio può fornire 10.000 Calorie, una tonnellata fornisce 10 Milioni di Calorie; e poiché sappiamo che una Caloria equivale a 1/860 kWh, per ottenere l'energia in kWh di 1 TEP occorrerà dividere 10 milioni per 860, ottenendo 11628.

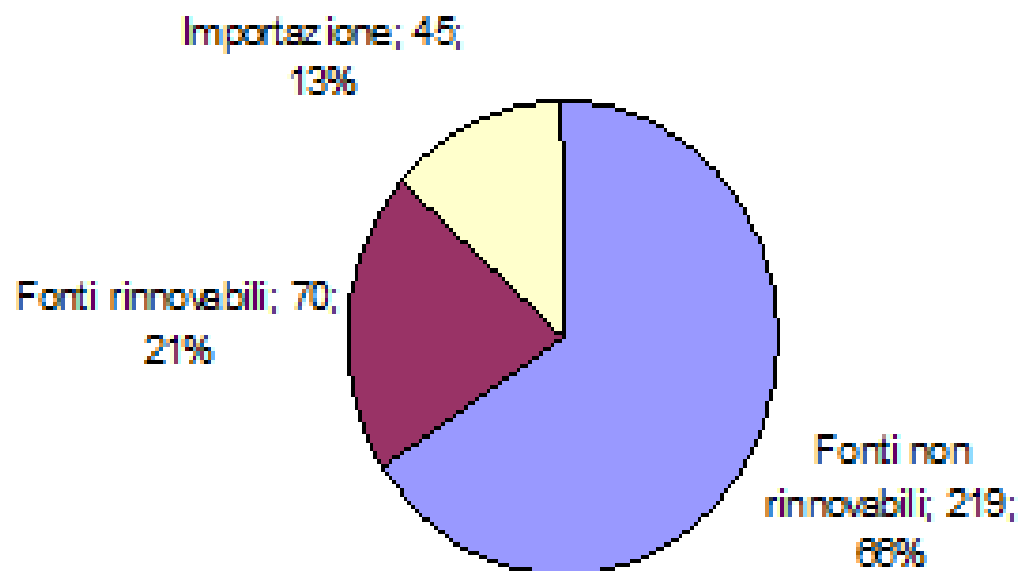
Per cui si ha:  $1 \text{ TEP} = 11\,628 \text{ kWh}$

## Ripartizione media dell'energia nei paesi sviluppati



## Consumo Energia Elettrica (TWh) - Italia - 2009

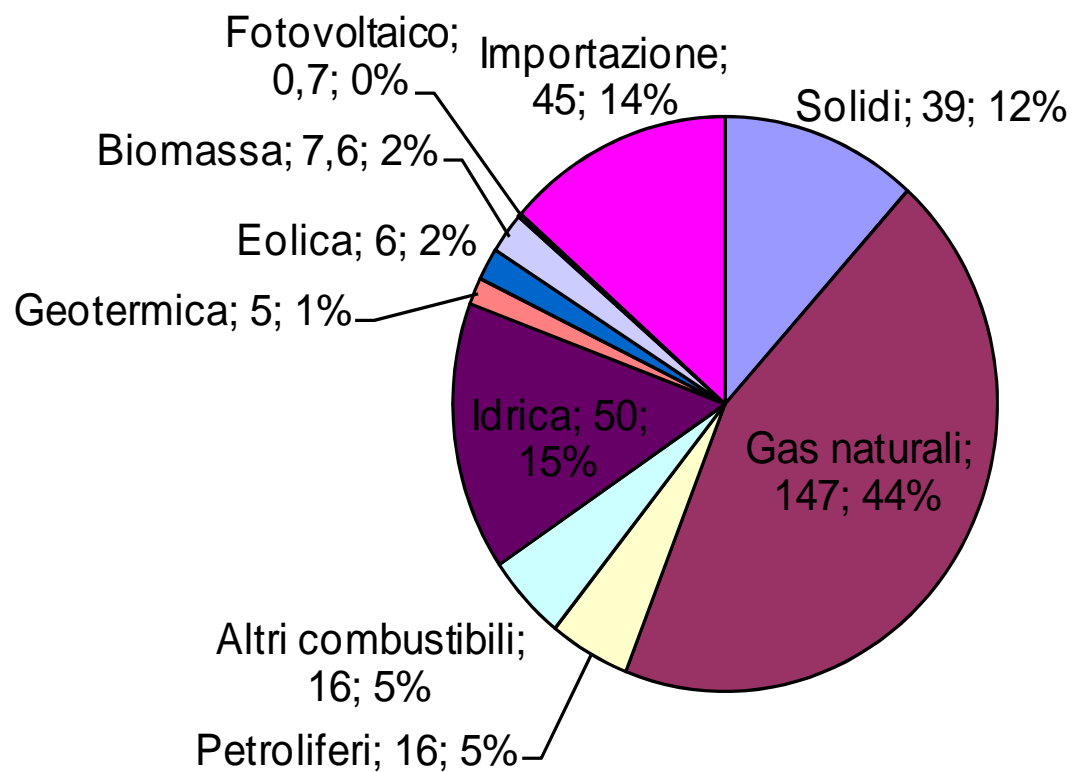
**330 TWh**



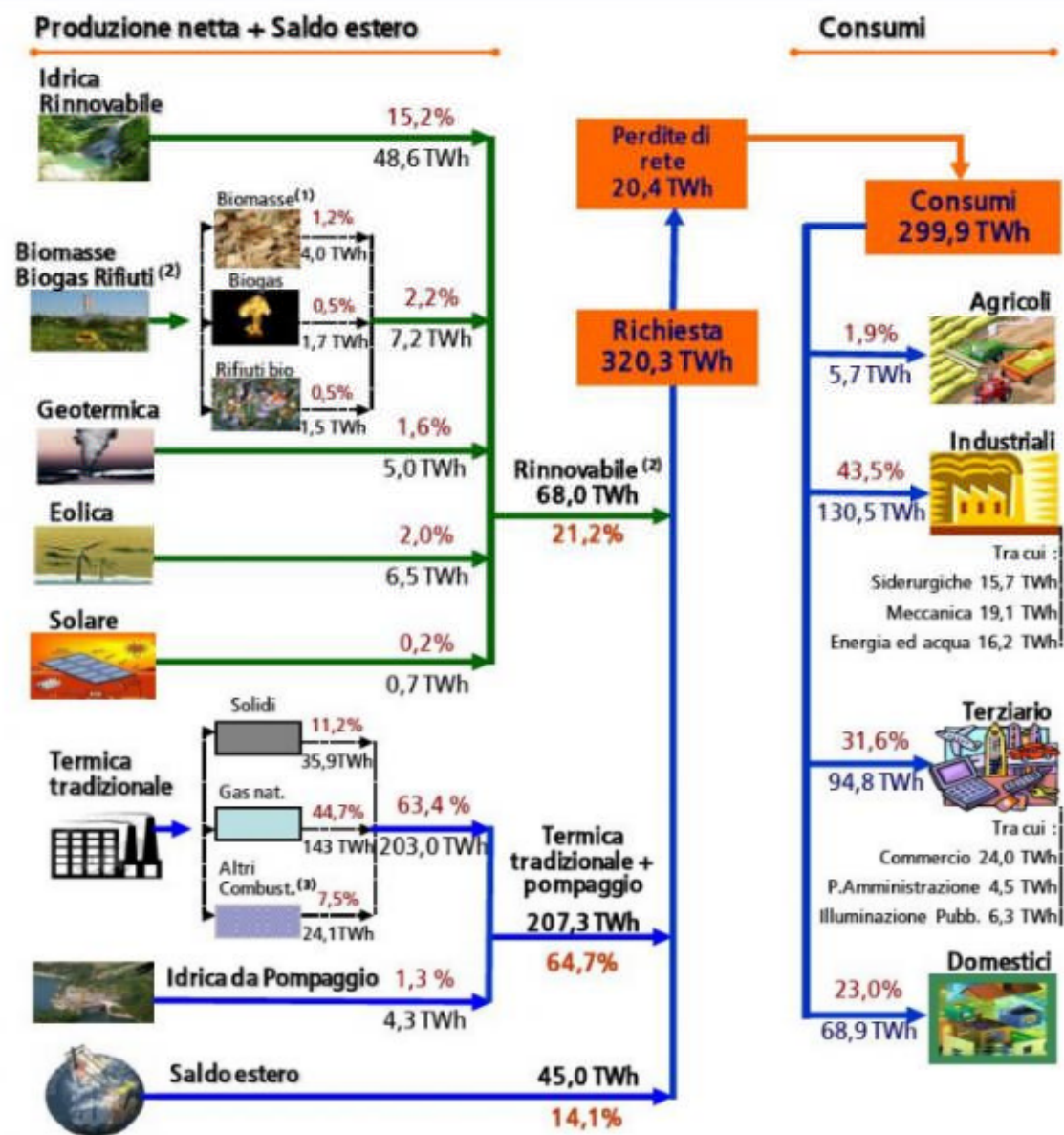


## Consumo Energia Elettrica (TWh) - Italia - 2009

**330 TWh**



## Produzione e consumo dell'energia elettrica – Italia 2009



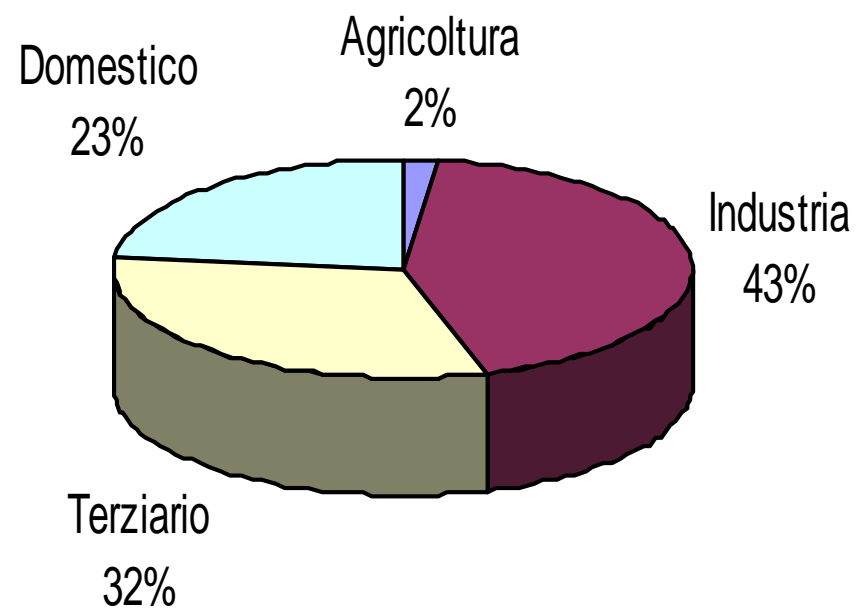
1) Compresi i Bioliquidi

2) Al netto dei rifiuti solidi urbani non biodegradabili, contabilizzati nella termica tradizionale.

3) Al netto dei consumi da pompaggio e dalle biomasse-bioliquidi, biogas e rifiuti biodegradabili

## Consumi elettrici in Italia - 2009

300 TW/h



# Le risorse petrolifere teoriche

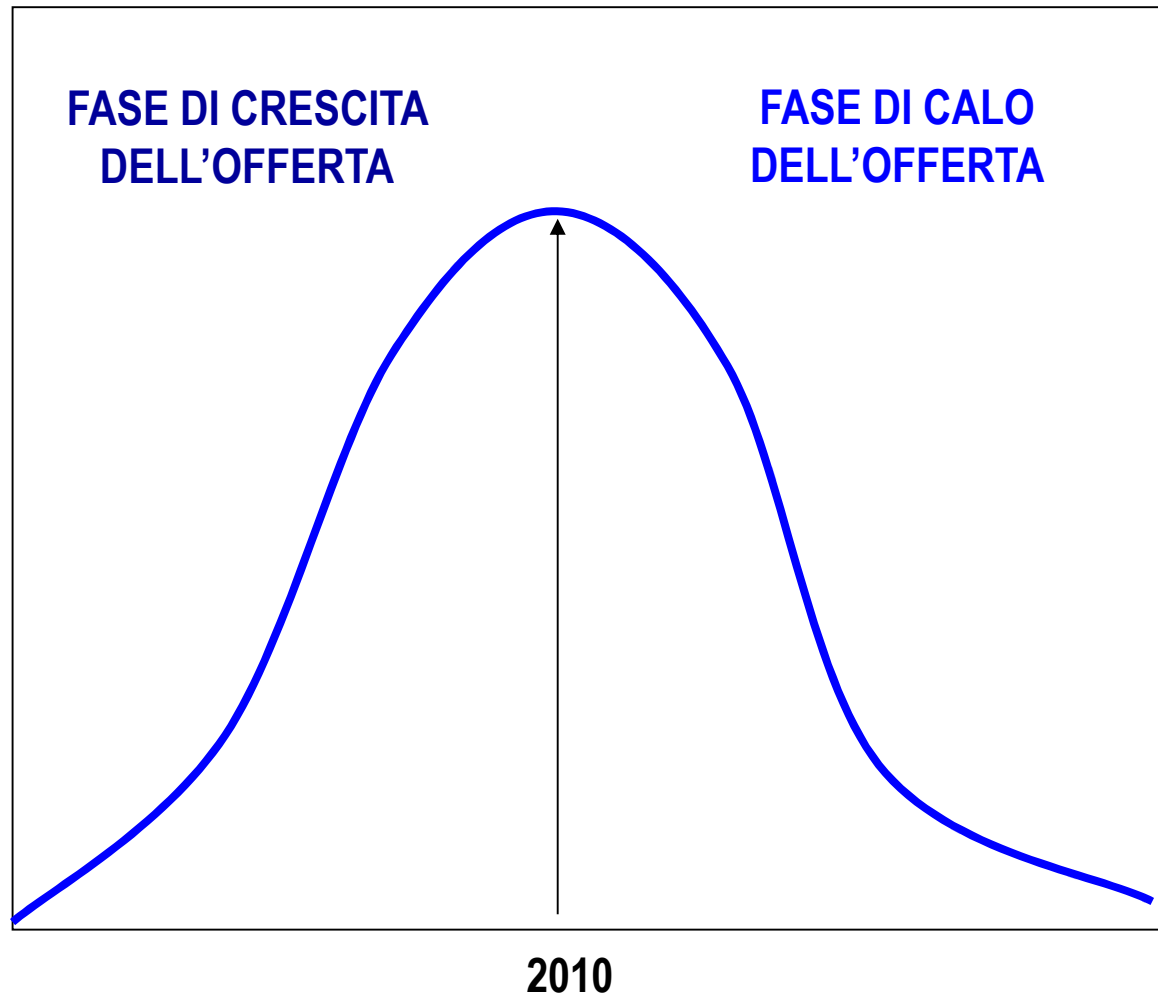
- Sima delle risorse petrolifere mondiali accessibili con tecnologie disponibili e quindi a costi di estrazione confrontabili con quelli correnti (“risorse convenzionali”): **1.020 miliardi di barili** (Gbp).
- Al tasso di produzione attuale (24 Gbp/anno) queste risorse sono tali da garantire una produzione abbondante e a prezzi non dissimili da quelli correnti ancora per oltre 40 anni.
- Ma le analisi tecniche dicono che le cose potrebbero andare diversamente...

# I fattori di indeterminazione

- Le stime delle risorse petrolifere mondiali sono affette da tre cause principali di errore in eccesso:
  - si fondano sulle valutazioni dei paesi produttori e delle compagnie petrolifere (che hanno interesse a sovrastimare la loro capacità produttiva residua);
  - si basano sull'assunzione che la produzione di greggio dai giacimenti possa rimanere costante - o crescere - nei prossimi anni senza particolari problemi tecnici (e non è così);
  - assumono che l'ultimo barile di petrolio possa essere pompato da un giacimento con la stessa facilità (e quindi allo stesso costo) del primo (e non è così).

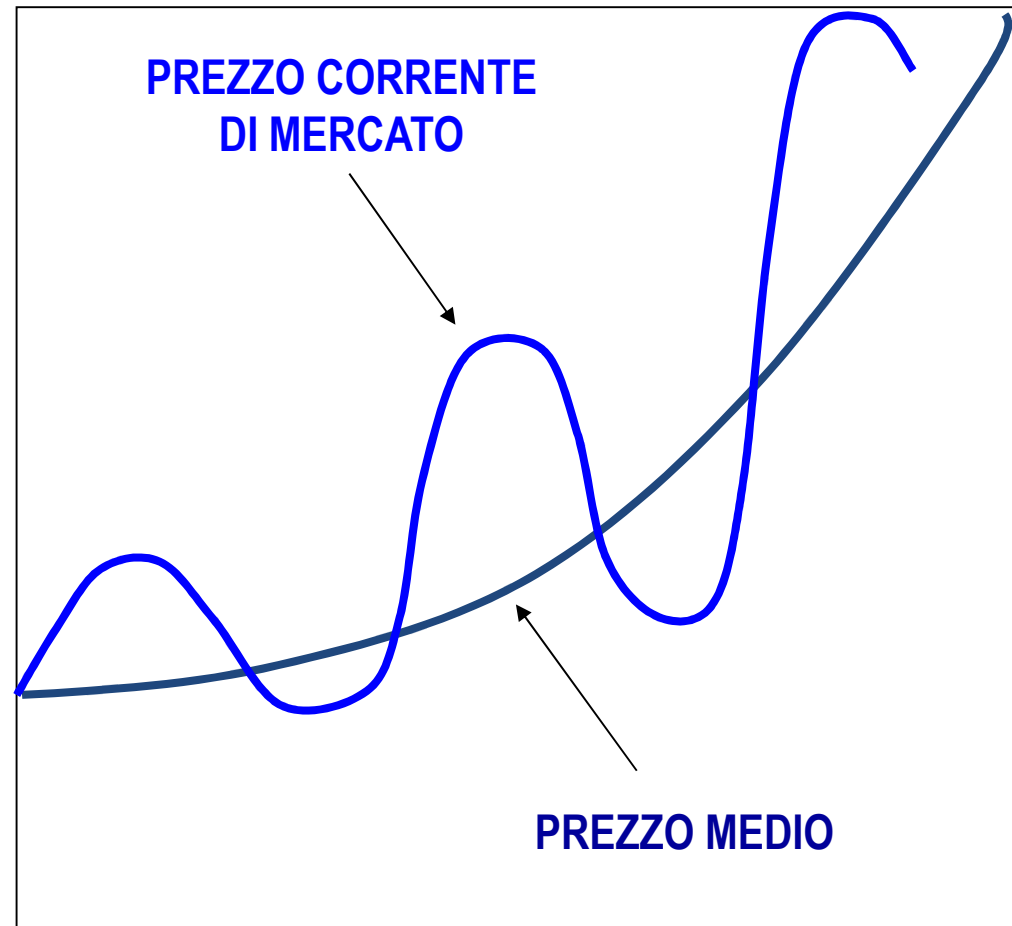
# La curva di Hubbert

- Il ciclo di produzione del petrolio è descritto dalla curva di Hubbert.
- Il massimo della curva potrebbe essere stato raggiunto nel 2010.
- Da allora in poi il mercato registrerà una progressiva contrazione dell'offerta.



# L'andamento dei prezzi

- Cosa accadrebbe ai prezzi se il mercato prendesse atto che le risorse petrolifere sono in via di esaurimento?
- Si avrebbero forti oscillazioni del prezzo del barile intorno a un prezzo medio progressivamente crescente...
- **...ovvero ciò che sta accadendo oggi.**



# Definizione di energia rinnovabile

- Sono da considerarsi **energie rinnovabili** quelle forme di energia generate da fonti che per loro caratteristica intrinseca *si rigenerano o non sono "esauribili" nella scala dei tempi "umani"* e, per estensione, il cui utilizzo *non pregiudica le risorse naturali per le generazioni future.*



## Secondo l'Italia...

- In Europa non esiste una definizione univoca dell'insieme delle fonti rinnovabili, esistendo in diversi ambiti diverse opinioni sull'inclusione o meno di una o più fonti nel gruppo delle "rinnovabili".
- Secondo la normativa di riferimento italiana, vengono considerate "rinnovabili": « **...il sole, il vento, le risorse idriche, le risorse geotermiche, le maree, il moto ondoso e la trasformazione in energia elettrica dei prodotti vegetali o dei rifiuti organici e inorganici.** »

# Ecco l'elenco...

- [Energia geotermica](#)
- [Energia idroelettrica](#)
- [Energia marina](#)
  - [Energia delle correnti marine](#)
  - [Energia a gradiente salino](#) (osmotica)
  - [energia mareomotrice](#) (o delle maree)
  - [energia del moto ondoso](#)
- [Energia solare](#)
  - [Solare termico](#)
  - [Solare fotovoltaico](#)
- [Energia eolica](#)
- [Energia da biomasse](#) materiali di origine organica (vegetale o animale) non fossilizzati
- [Termovalorizzazione](#)
  - [Combustibile derivato dai rifiuti](#) (o "CDR")
  - [Dissociazione molecolare](#)
- [Energia o cogenerazione da acqua \(di falda\)](#)

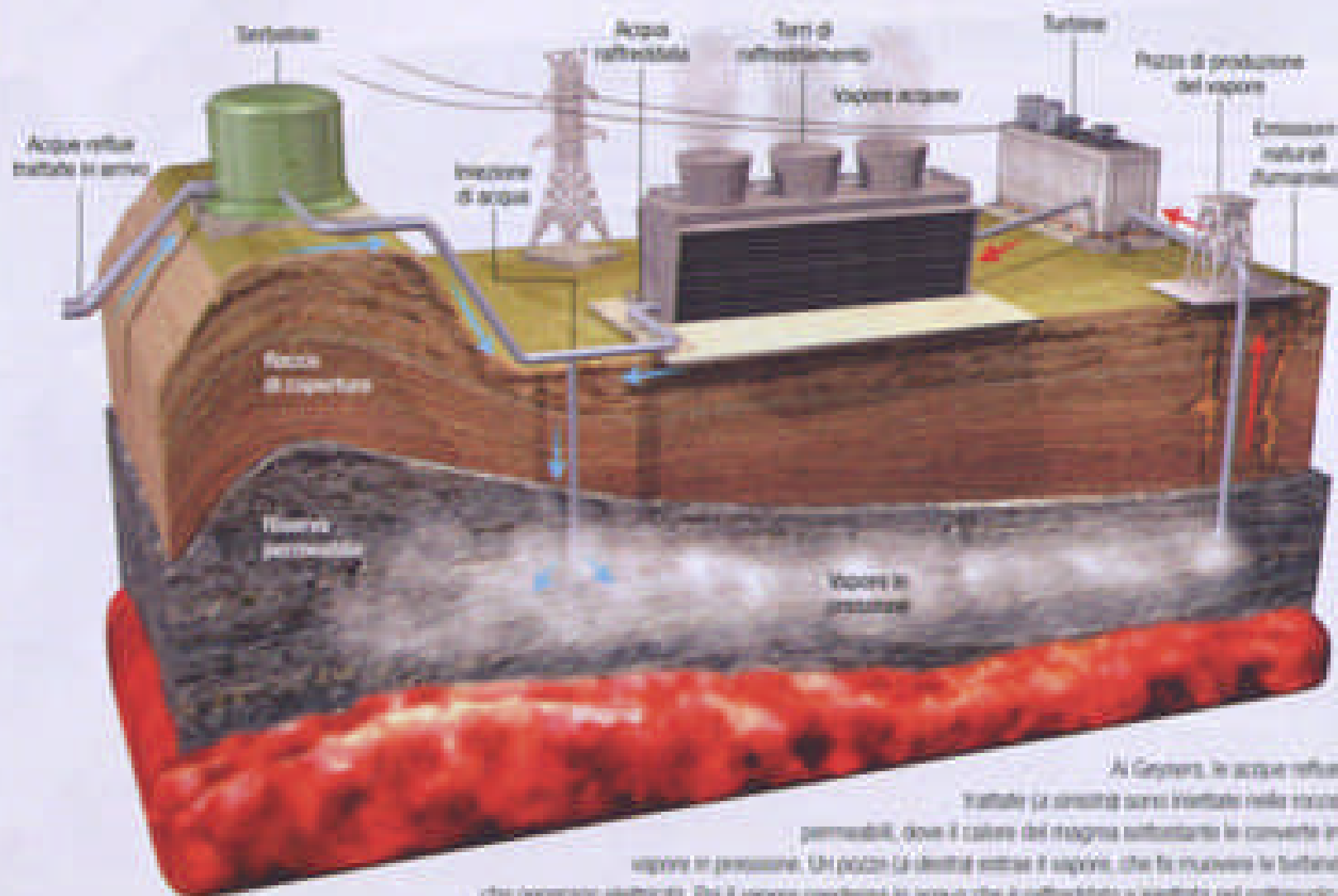


Parco Off-shore - Germania 2008 – 60 MW

Un esempio (americano) di sfruttamento di acque reflue (pretrattate) per produrre energia elettrica



# Nuova vita per l'energia geotermica



Al Geopark, le acque reflue trattate (a sinistra) sono iniettate nella roccia permeabile, dove il calore del magma sottostante le converte in vapore in pressione. Un pozzo (a destra) estrae il vapore, che fa muovere la turbina che genera elettricità. Poi il vapore condensato in acqua che è raffreddata e re-iniettata nel sottosuolo.

# Potenze prodotte dai vari impianti

- Centrali elettronucleari: da 100 a **1500 MW**
- Centrali termoelettriche (carbone, nafta, metano..):  
fino a **1300 W** (La Spezia)
- Centrale idroelettrica: da alcuni MW (centrali fluviali)  
• ad alcune centinaia di MW (grosse dighe)
- Centrali geotermiche: da qualche decina fino a qualche  
centinaio di MW
- Centrali (Parchi) eolici: tipicamente 5MW ogni  
aerogeneratore (Mare del Nord 60 MW)
- **Centrali fotovoltaiche : fino a 100 MW**

# Impegno del suolo

- Un impianto elettrico da 1000 MWe occupa le seguenti aree:

Tipo di impianto	Area occupata (ettari)
Nucleare	15
Carbone	30
Olio combustibile	20
Gas (ciclo combinato)	12
Solare (fotovoltaico)	1.000
Solare (termico, progetto Archimede)	2.000
Eolico	12.500

## Le ragioni del perché è difficile prevedere un ruolo importante del FV

- La perdurante marginalità delle nuove fonti rinnovabili ha le seguenti cause principali:
  - La **non competitività economica** derivante dai seguenti fattori:
    - bassa potenza specifica
    - elevati costi degli impianti per unità di potenza
    - complessi problemi di gestione e manutenzione
    - necessità di impianti sostitutivi di tipo classico per i periodi di indisponibilità (**carattere discontinuo** delle fonti rinnovabili)
  - ...L'**impatto ambientale** (!)

# La rilevanza sul fabbisogno energetico

- Il contributo del FV di 20,5 Mtep previsto (dal governo nel 2010) nelle condizioni di scenario più favorevole (massimo teorico ottenibile) rappresenterebbe meno del 5% del fabbisogno energetico nazionale previsto per il 2020 (previsioni di minima della crescita dei consumi).
- Il contributo massimo teoricamente ottenibile dalle nuove fonti rinnovabili al 2020 non sarebbe comunque tale da alleviare significativamente i problemi di dipendenza energetica del Paese.
- *Il ruolo delle nuove fonti rinnovabili appare dunque destinato a rimanere marginale anche in una prospettiva di medio termine.*



# Sul concetto di energia (1)

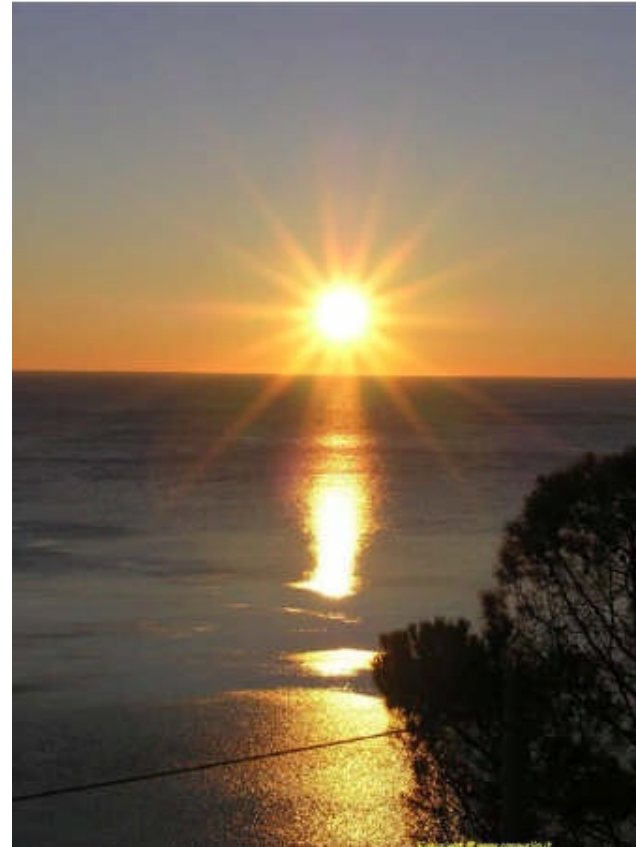
- L'energia è un concetto astratto che non è possibile definire esattamente. E' possibile però dare delle espressioni matematiche relativamente ai suoi diversi modi di apparire. Si parla perciò di energia potenziale, cinetica, chimica, nucleare, elettrica, fotonica, ecc...
- L'energia in fisica è praticamente coincidente con il concetto di lavoro, e possiamo dire che l'energia è la capacità, di un certo sistema fisico, di compiere lavoro. Non la si può afferrare, la si riconosce quando essa fluisce...(ad es. il calore fluisce da un corpo caldo ad uno freddo).
- Ad esempio se sposto in verticale la massa di 100 g (un panino) alzandola di un metro, ho bisogno (devo spendere) una energia pari a 1 J. Si dice anche che ho compiuto un lavoro di 1 J.
- Il lavoro e l'energia si esprimono con la stessa unità di misura: il joule.
- La potenza è la rapidità con cui viene impiegata una certa energia:  $P = E/t$ .
- Ritornando all'esempio precedente se sollevo il panino in un ora oppure in un secondo non cambia l'energia impiegata per alzarlo di un metro ma cambia la potenza, se l'azione si svolge in un secondo la potenza è di 1 watt, se la compio in dieci secondi è 1/10 di watt.
- L'energia si esprime in joule nel Sistema Internazionale di Misure, ma ci sono anche altri modi esprimerla in unità cosiddette "pratiche", una di queste è il kilowattora, ossia l'energia prodotta dall'utilizzo della potenza elettrica di 1000 watt per un ora: essa equivale a 3.6 MJ ( $1000 \text{ (J/s)} \times 3600 \text{ (s)} = 3.6 \text{ MJ}$ )

$$\text{Energia} = \text{potenza} \times \text{tempo} \quad E = P \cdot t$$

## Sul concetto di energia (2)

- Un ferro da stiro la cui potenza indicata sulla targhetta è 1000 W, acceso per un ora nell'arco della giornata consuma un'energia pari a 1 kWh al giorno.
- In questo esempio si ha una “potenza installata” di 1 kW ed un'energia consumata di 1 kWh al giorno.
- Ora pensiamo ad un impianto fotovoltaico, che è un sistema che produce energia: se, ad esempio, la potenza installata è di 1 kW in un anno (nella zona del pescarese) produrrà un'energia (joule) pari a circa 1200 kWh (ogni pannello eroga circa 200 w).
- Quindi se un'utenza domestica ha un consumo annuo di 3500 kWh (questo dato lo si può desumere facilmente dalle bollette) si avrà bisogno di un impianto da 3 kW (che occupano una superficie di circa 25 mq).

# Prometeo e il Sole

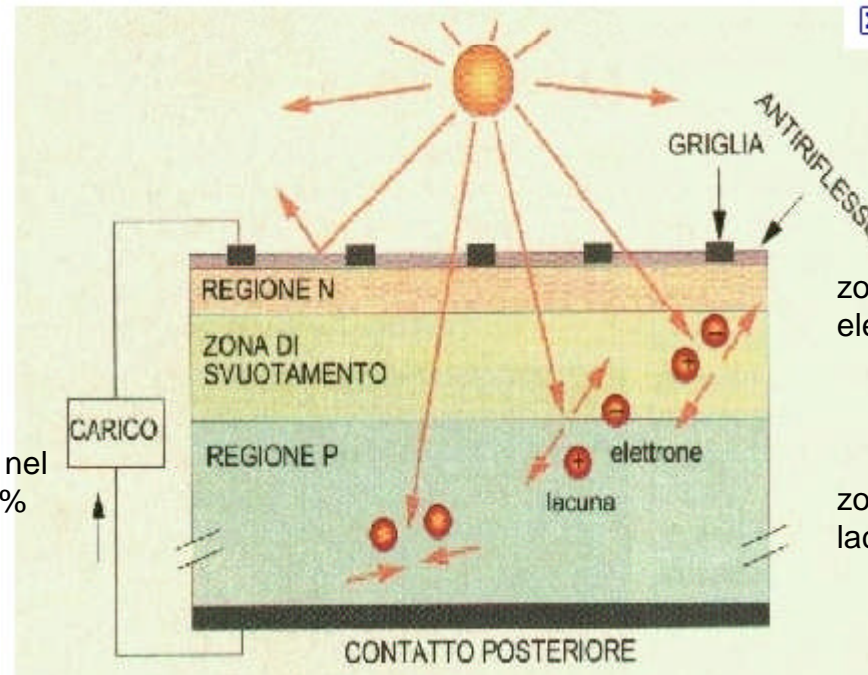


Prometeo scelse per gli uomini it dono pia prezioso – il fuoco - e salì in cielo con una torcia per prenderlo dal Sole; i mitologi greci fanno compiere gesta *titaniche* ai loro eroi, ma in questo caso l'impresa poteva essere evitata: il fuoco del Sole giunge regolarmente sulla Terra sotto forma di raggi (elettromagnetici) e l'uomo del Duemila deve applicarsi a compiti diversi ma non meno impegnativi: misurare la radiazione solare, scoprirne natura e fenomenologia, **inventare tecnologie per utilizzarla.**

# Ecco lo scopritore dell'effetto fotovoltaico (1839)




Egli si accorse (1839) che un elettrodo metallico immerso in una soluzione conduttrice generava elettricità quando era esposto alla luce. Tuttavia la prima **cella solare** vera e propria fu realizzata solo nel 1883 da [Charles Fritts](#). Aveva un'efficienza pari a 1% ed era basata su selenio e oro.




zona N – eccesso di elettroni-

zona P – eccesso di lacune-

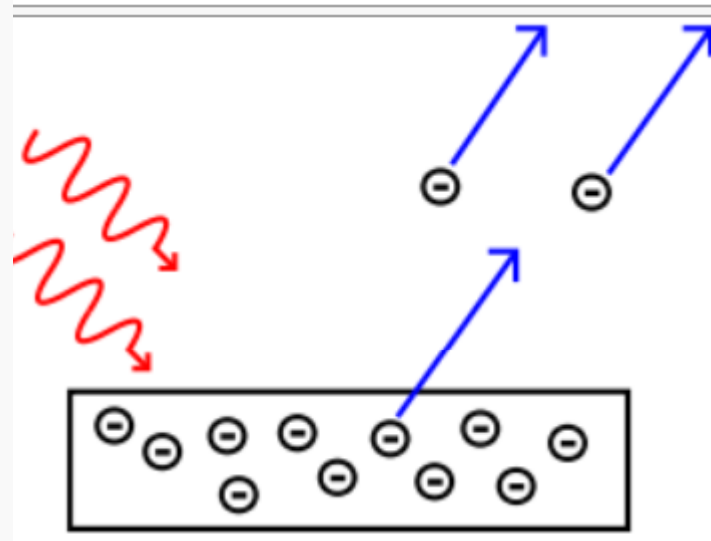
# Ecco lo (gli) scopritore(i) dell'effetto fotoelettrico (1887-1888)

 Parlamento italiano  
Senato del Regno d'Italia

sen. Augusto Righi



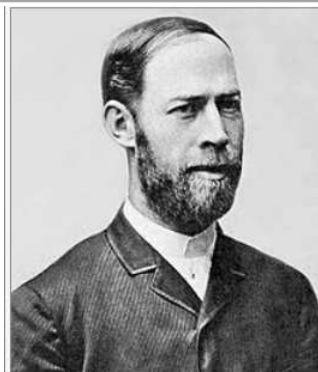
Luogo [Bologna](#)  
nascita  
Data nascita [27 agosto 1850](#)  
Luogo morte [Bologna](#)  
Data morte [9 giugno 1920](#)



chema che illustra l'emissione di elettroni da una  
astra di metallo



Robert Sterl: Bildnis Prof. Dr. Wilhelm  
Hallwachs (1907)



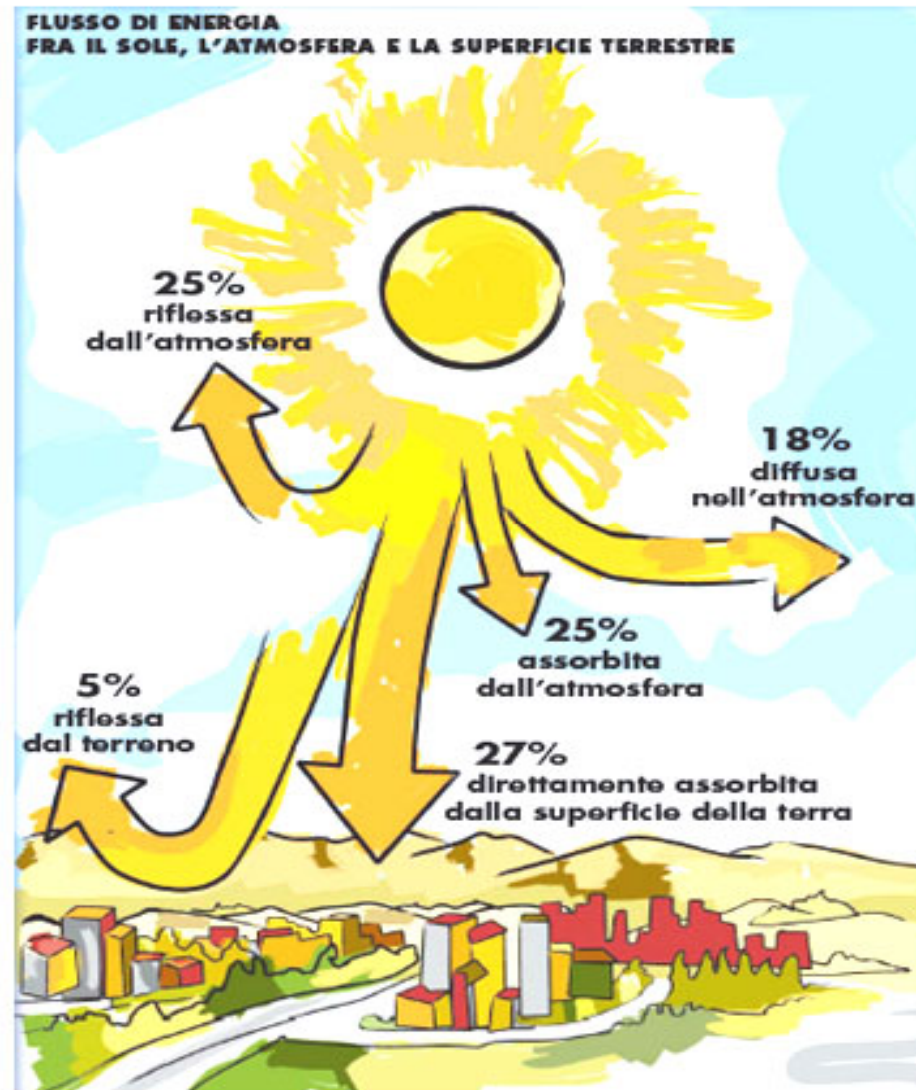
Heinrich Rudolf Hertz



# Cos' è la radiazione diretta

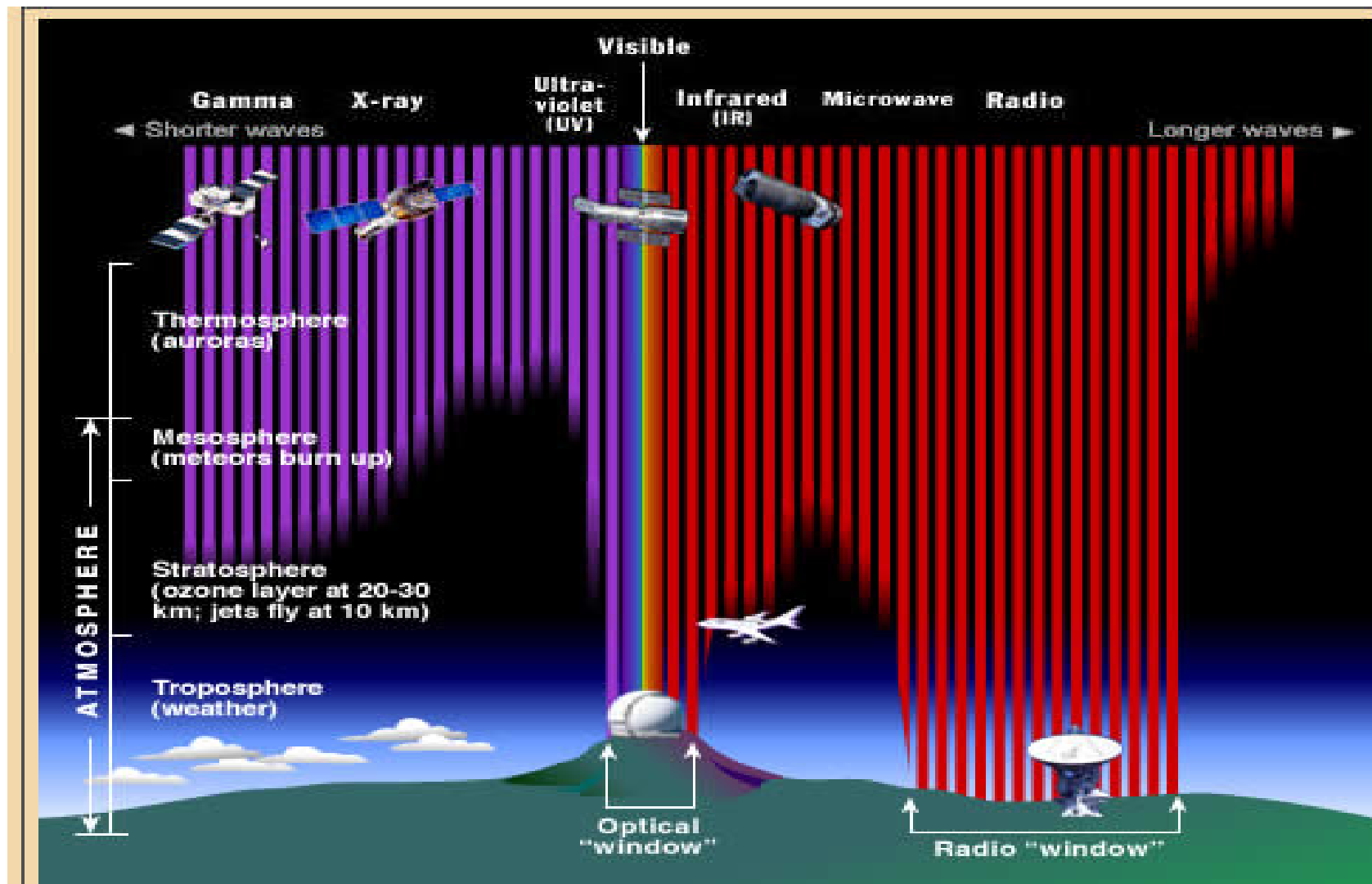
La radiazione solare si divide in *quattro parti* attraversando l'atmosfera:

- 1) riflessa verso lo spazio (nubi)
- 2) diffusa in tutte le direzioni (urto con  $N_2$ ,  $O_2$ , vapore,  $CO_2$ ,  $O_3$ )
- 3) assorbita e riemessa come IR in tutte le direzioni dalle molecole costituenti l'atmosfera
- 4) una parte raggiunge direttamente la superficie terrestre (radiazione diretta)  
 $2+3=$ radiazione diffusa

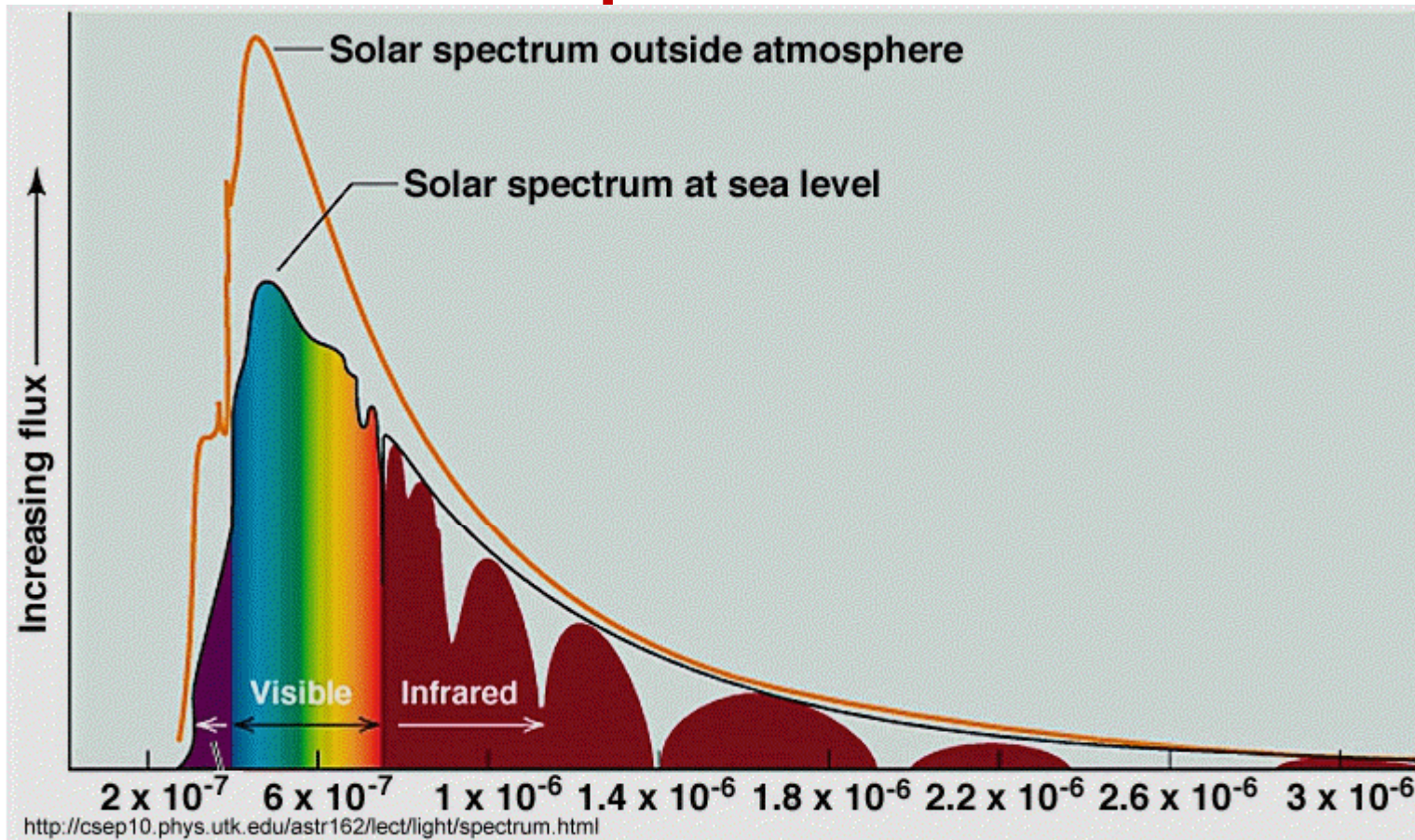


*Distribuzione dell'energia che arriva dal sole*

# Radiazione che arriva a terra: the optical window



# Lo spettro solare



Max intensità spettrale di radiazione emessa dal Sole è a 0.48 micron

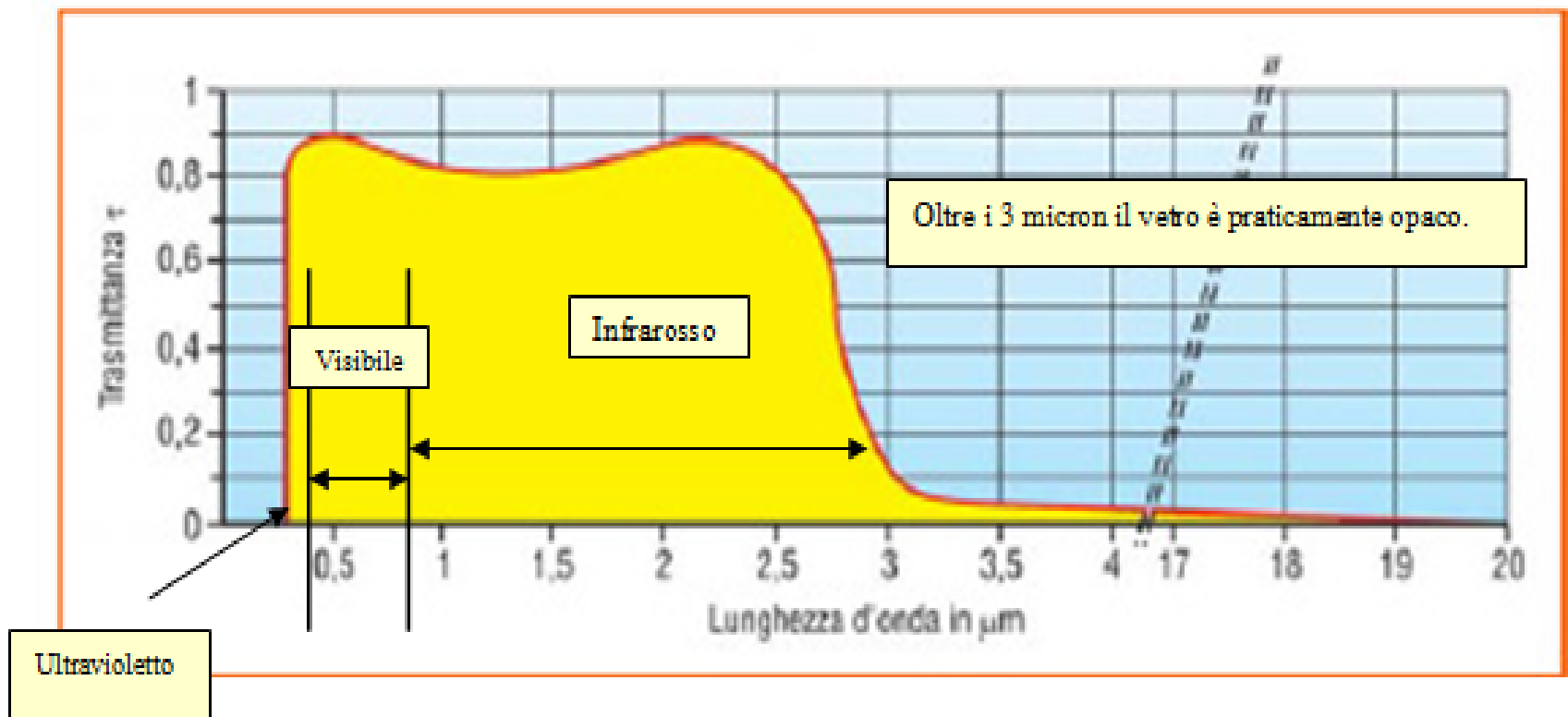
*Radiazione extraterrestre:*

- 7% UV ( $0,2 - 0,4 \mu\text{m}$ )
- 42% visibile ( $0,4 - 0,7 \mu\text{m}$ )
- 51% infrarosso ( $0,7 - 3 \mu\text{m}$ )



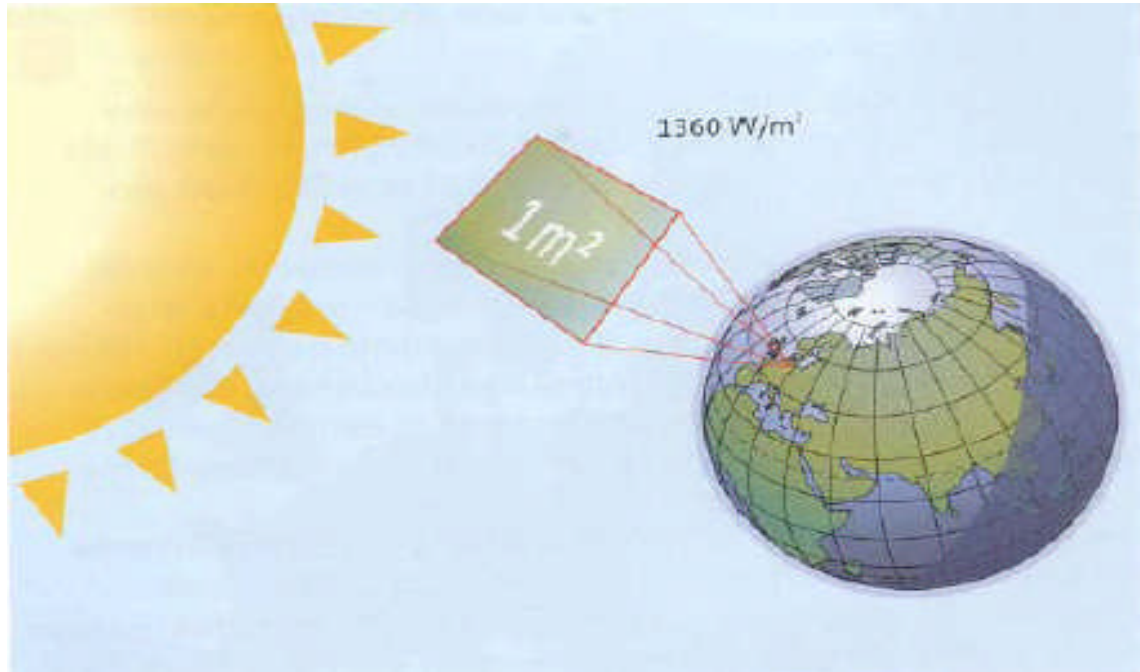
# Ecco la finestra di frequenza utilizzata dal FV (da 0.2 a 3 micron)

**Spettro di lavoro dei pannelli fotovoltaici.**



# Quanta energia arriva dal Sole

(costante solare =  $1350 \text{ W/m}^2$ )



- L'energia che arriva dal Sole per ogni secondo (potenza) appena al di fuori dell'atmosfera terrestre su ogni metro quadro di superficie è  $1350 \text{ W/m}^2$

# Valore effettivo dell'irraggiamento al suolo nelle condizioni più favorevoli (mezzogiorno, T=25° C)

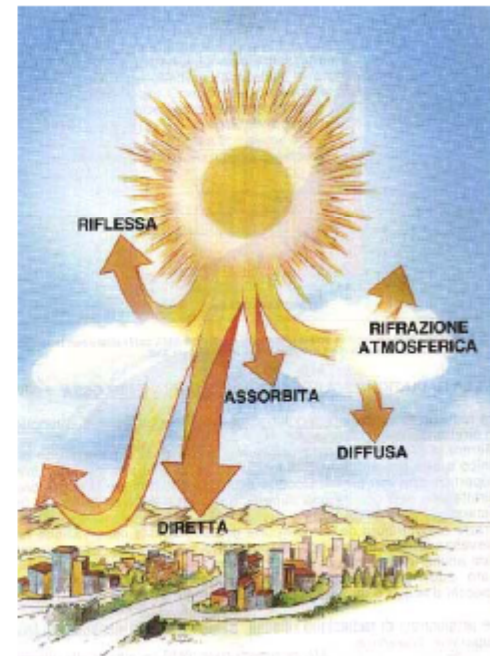
- Sulla superficie terrestre si registra un valore della potenza **inferiore rispetto alla costante solare**, a causa dei fenomeni di assorbimento e riflessione che hanno luogo nel percorso attraverso l'atmosfera

- Sia nelle normative di riferimento che nella pratica impiantistica, il **valore massimo** della radiazione disponibile istantaneamente al suolo si assume pari a circa

**1 kW/m<sup>2</sup>**

In una giornata nuvolosa tale valore scende anche fino a

**100 W/m<sup>2</sup> !!**



**Quando c'è il Sole il valore oscilla nell'anno fra 400 e 1200 kW**

# Valore medio annuale

- In effetti, mediamente, nell'arco dell'anno avremo un valore sensibilmente più bassi ed infatti *dalle misure sappiamo* che in **centro Italia** (Link: <http://clisun.casaccia.enea.it/Pagine/TabellaRadiazione.htm#RadiazioneTabella>)

***mediamente l'energia radiante annuale che arriva al suolo*** è di circa

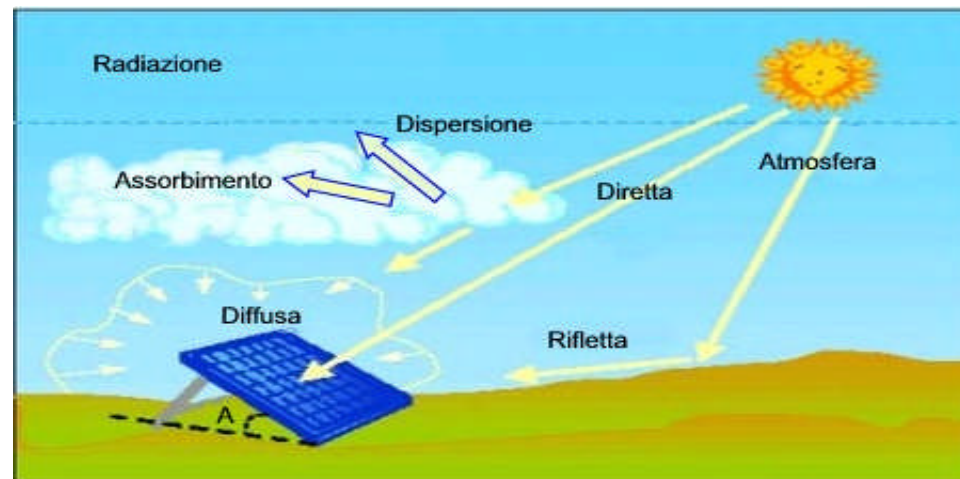
$$5300 \text{ MJ/m}^2 = 1470 \text{ kWh/m}^2$$

# Energia messa a disposizione...

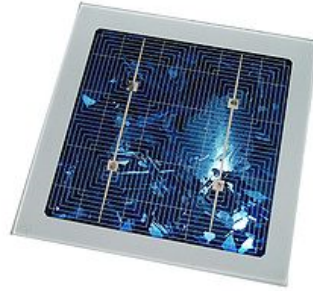
- Se spalmiamo questo dato annuale di  $5300 \text{ MJ/m}^2$  per la durata dell'anno ( $31.5 \times 10^6 \text{ s}$ ) avremo un parametro di riferimento di  $170 \text{ W/m}^2$ . Cioè è come se avessimo per un anno costantemente 24 ore al giorno una intensità radiante di  $170 \text{ W/m}^2$  mentre sappiamo che questo valore oscilla in realtà fra inverno ed estate (in presenza di luce, di notte è zero!) da 400 a  $1200 \text{ W/m}^2$ .
- Considerando una superficie di riferimento di  $8 \text{ m}^2$  avremo una energia radiante messa a disposizione dal sole di circa  $(1470 \times 8) = \underline{\underline{12000 \text{ kWh}}}$ .

# Fattore di conversione

- Ora sappiamo che una superficie di 8 m<sup>2</sup> di pannelli fotovoltaici (1 kW) producono nelle nostre zone circa **1200 kWh** per anno, ciò significa che il fotovoltaico al momento (anno 2011) è capace di convertire in energia elettrica circa l'10% dell'energia radiante disponibile in natura.



# I pannelli fotovoltaici



10 x 10cm  
oppure 15 x 15

In condizioni standard di riferimento (irraggiamento pari a 1000 W/m<sup>2</sup> e temperatura pari a 25°C) è possibile prelevare ai suoi capi una tensione di 0,5 V.

L'erogazione di corrente continua è pari a circa 3 Ampere, mentre la potenza di picco generata è così pari a 1,5 Watt.



Le celle fotovoltaiche forniscono valori di tensione e corrente limitati in rapporto ai valori richiesti dagli apparecchi utilizzatori: esse sono pertanto collegate elettricamente in serie a formare una struttura robusta e maneggevole detta modulo fotovoltaico.

Più moduli fotovoltaici sono generalmente montati su una stessa struttura di sostegno costituendo un pannello.

*I moduli (pannelli) più comuni hanno potenza di circa 200 Wp a 32 V, raggiunti in genere impiegando 54/60 celle fotovoltaiche*



# Il modulo fotovoltaico

## Il modulo fotovoltaico



### **Primi moduli (per sistemi autonomi)**

36 celle in serie (4x9 o 3x12)

40-50 Watt

0.5 m<sup>2</sup>

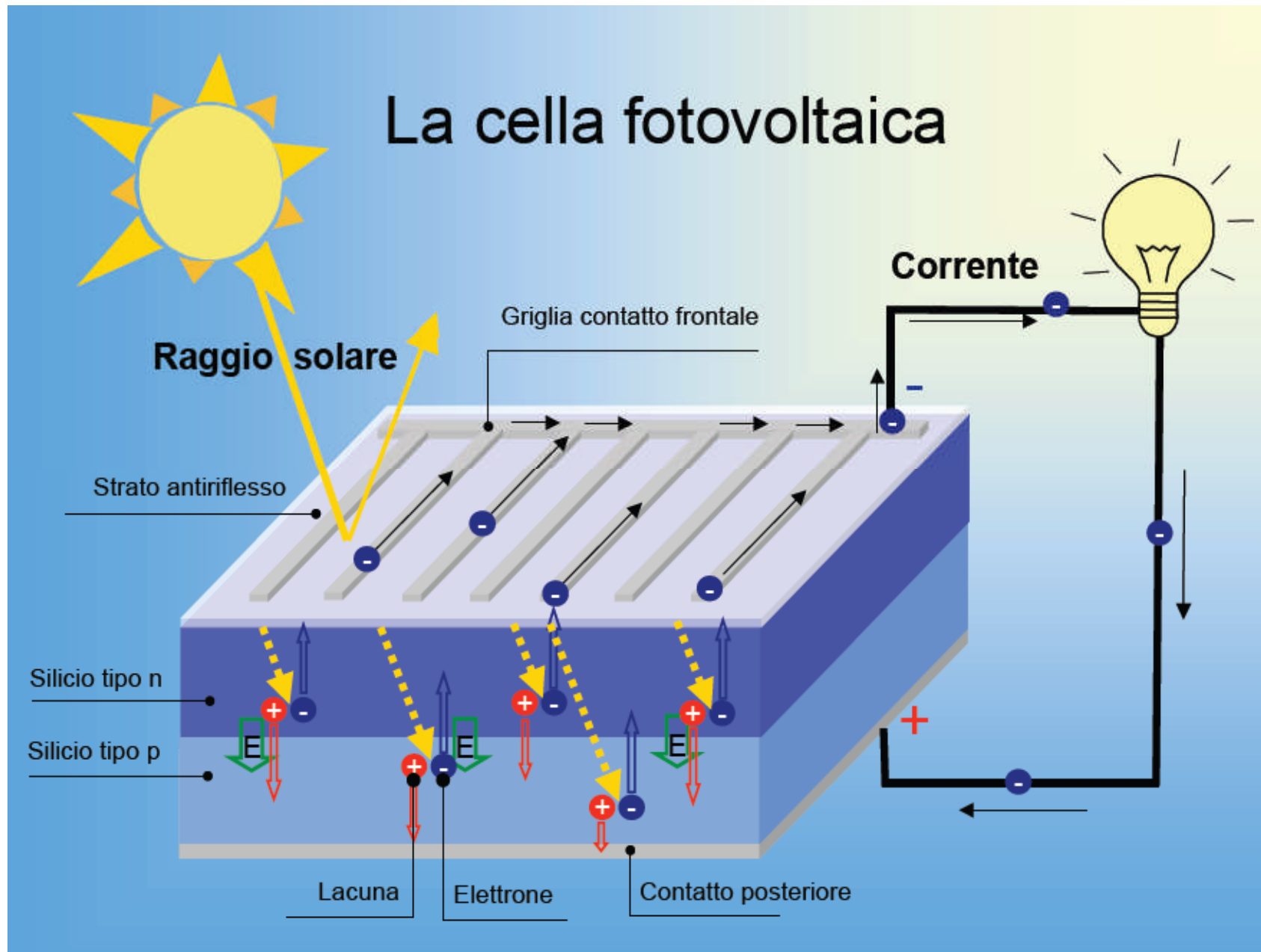
### **I moduli oggi :**

1. Minimoduli o tegole solari (2-12 celle / 2-50 Watt)
2. Tradizionali allacciati alla rete (100-200 Watt)  
(no. celle: multipli di 36)
3. Per facciate (100-300 Watt)  
(no. celle: variabile, secondo caratteristiche facciata)





# La cella fotovoltaica



# Parametri: potenza installata → energia -zona del pescarese-

Vediamo i parametri di conversione

Potenza(watt) → Energia( (joule) ANNUA

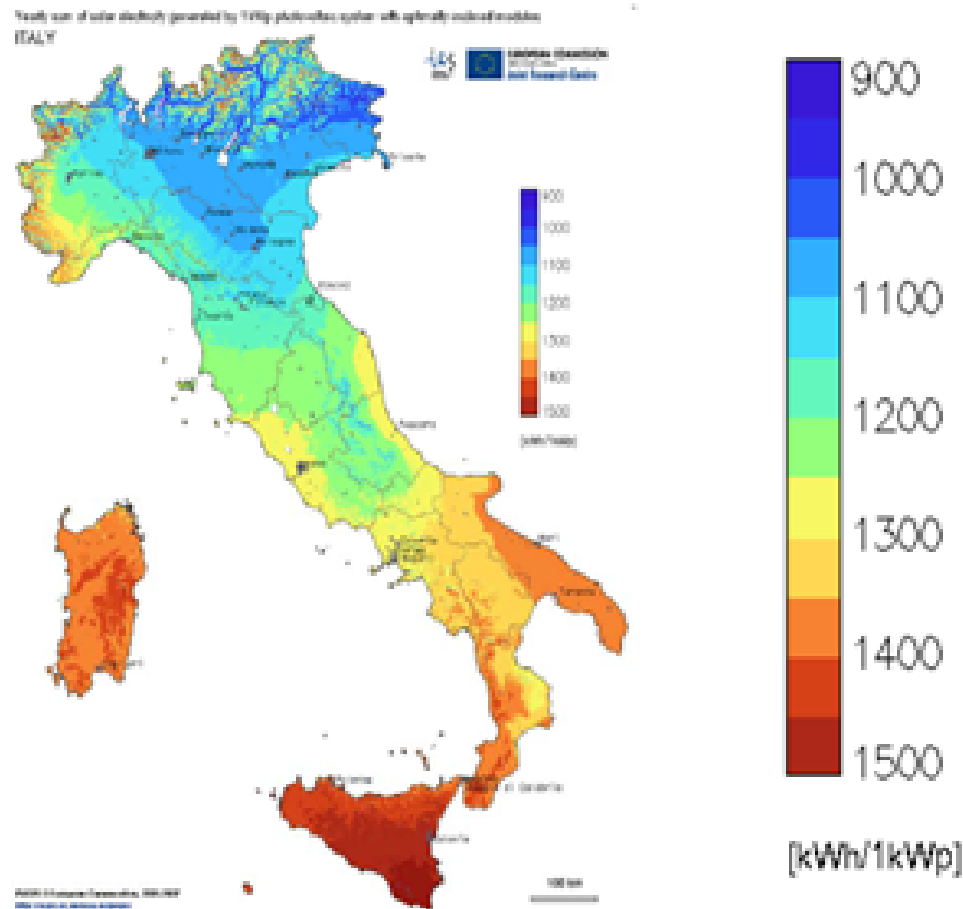
- **Impianto da 1 kW** → *energia erogata* **1200 kWh**

(Link: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php?lang=it&map=europe>)

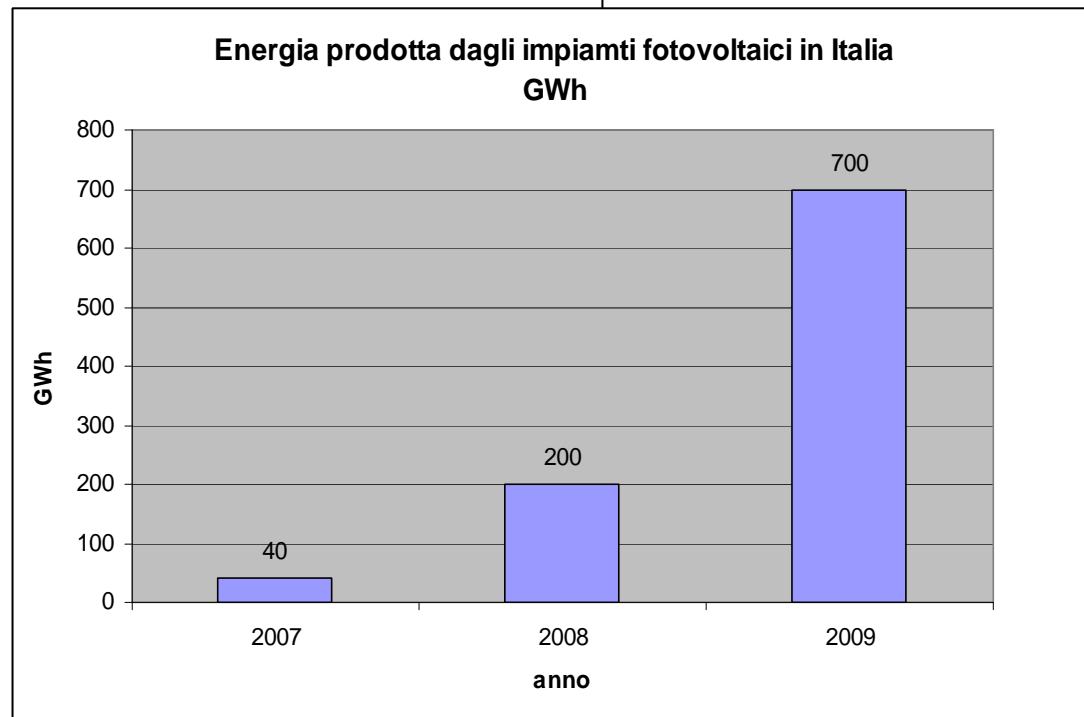
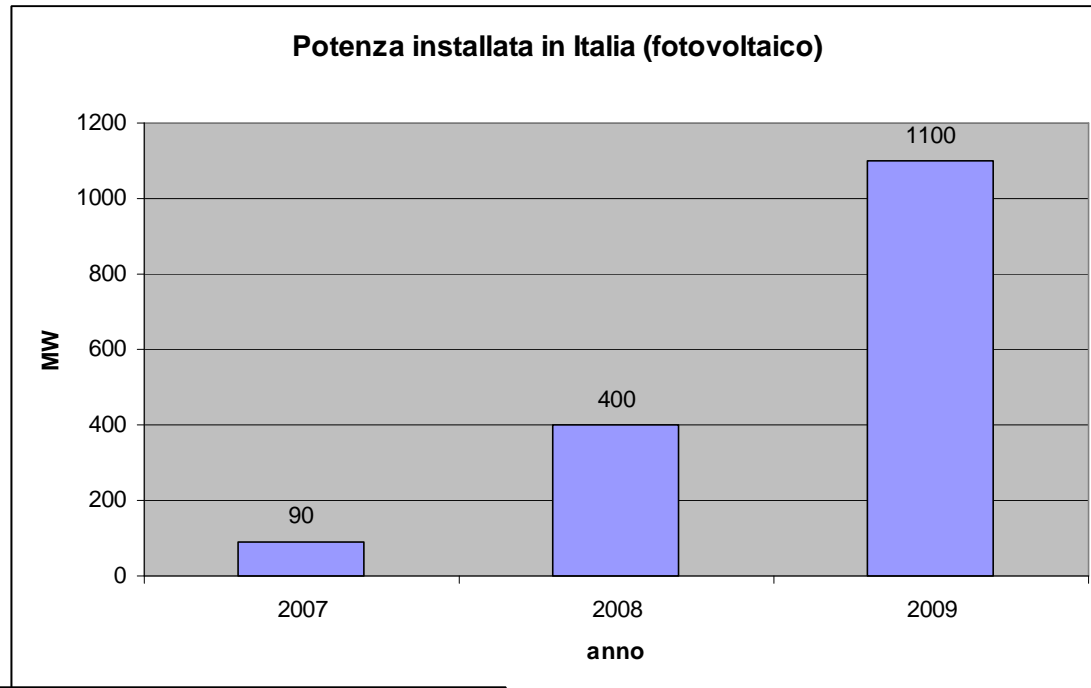
(Link: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php?lang=it&map=europe>)

# Irraggiamento italiano

Il diagramma riporta  
la resa annuale in  
kWh per 1 kWp  
installato con  
pannelli orientati in  
maniera ottimale



Ricordarsi che un impianto di 1 kW produce *al massimo*, nelle nostre zone, 1200 kWh/anno

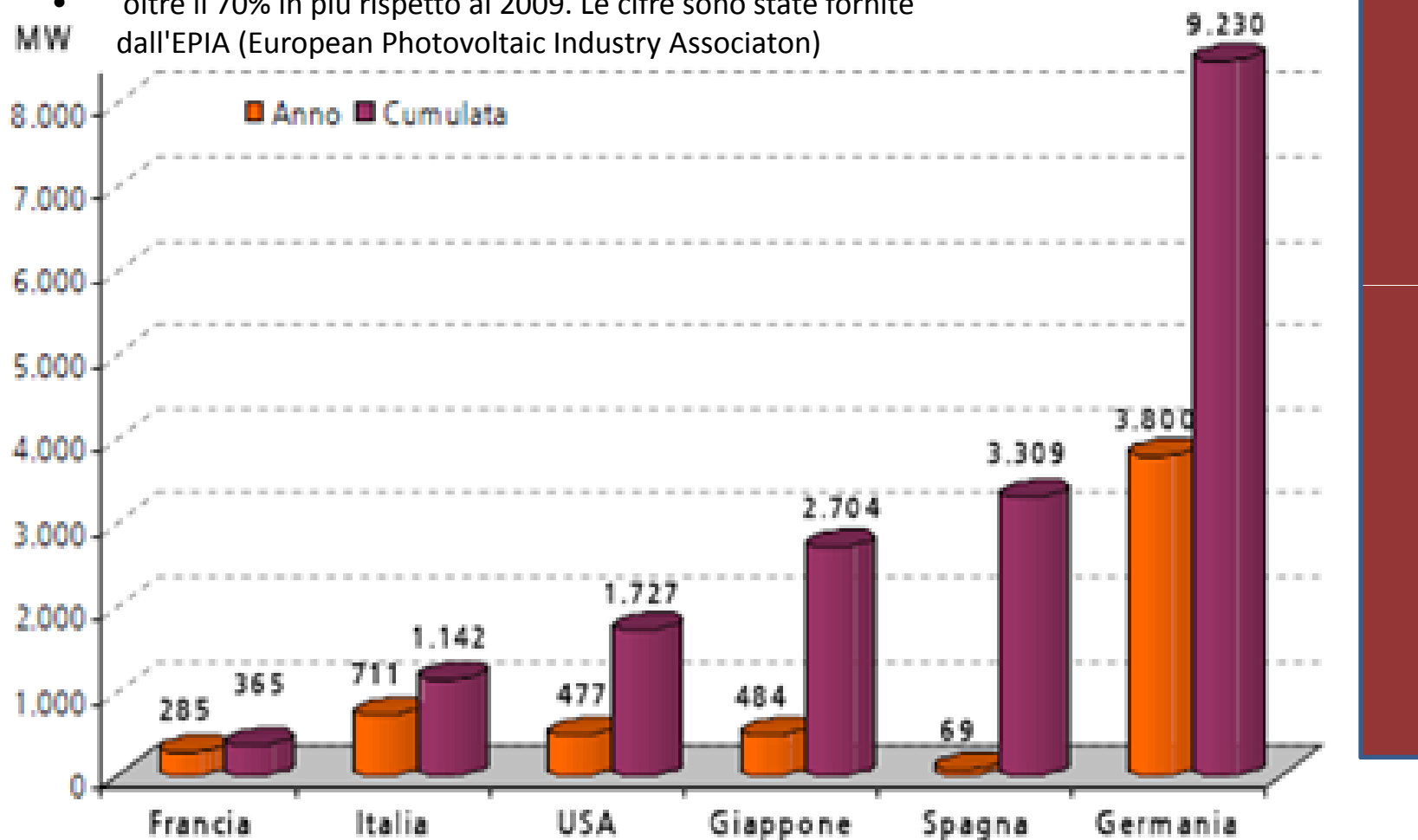


## Potenza degli impianti fotovoltaici installata nell'anno 2009 e cumulata a fine 2009 nei principali paesi

- Nel 2010 sono stati **installati** nel **mondo** 16 GW da fotovoltaico più del doppio rispetto al 2009.

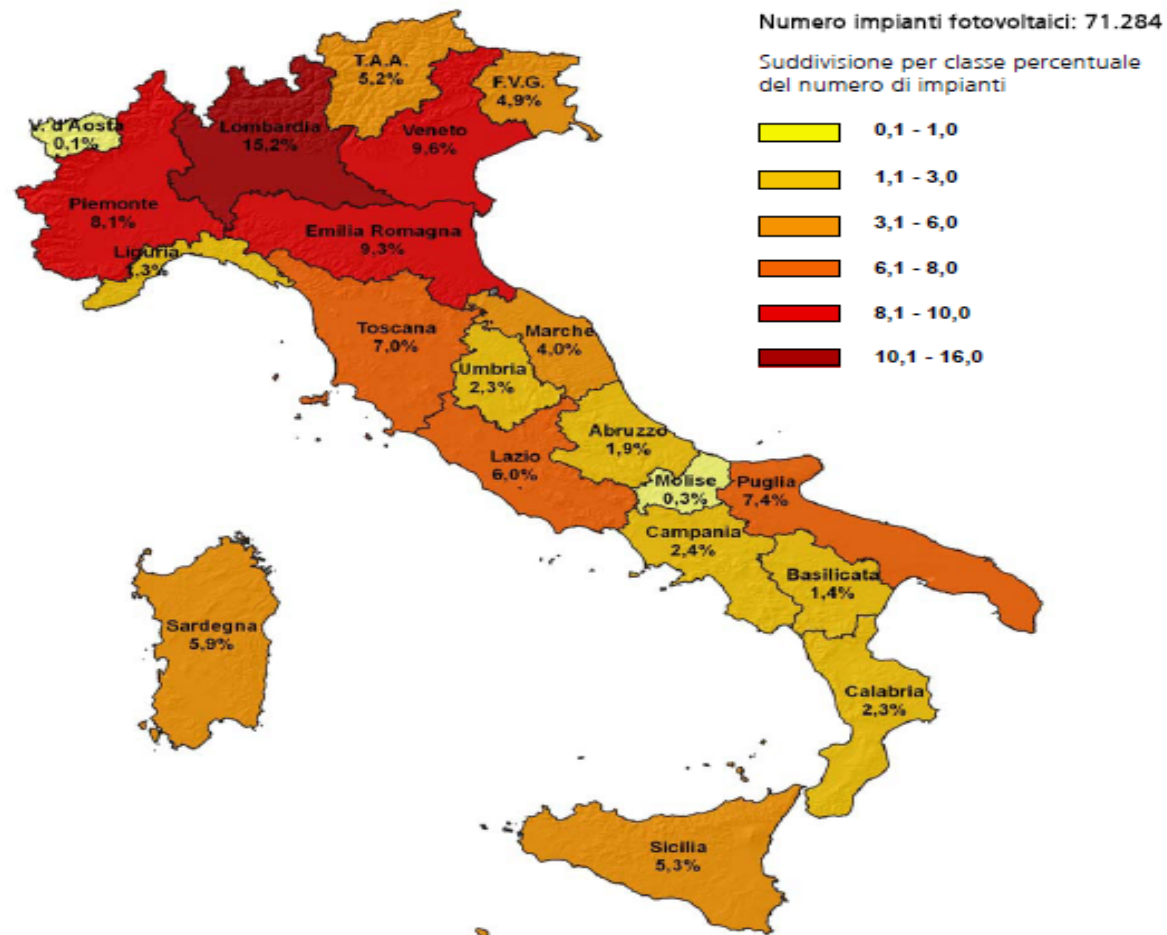
**La potenza totale globale è salita così a 40 GW:**

- oltre il 70% in più rispetto al 2009. Le cifre sono state fornite dall'EPIA (European Photovoltaic Industry Association)



# Numero di impianti al 2009

Distribuzione regionale % del numero impianti al 2009



Il più grande impianto su tetto è quello costruito sugli stabilimenti General Motors a Saragozza, in Spagna, con una potenza di 12 MW.



A gennaio 2011 gli impianti fotovoltaici più grandi al mondo sono:

1) Sarnia, Ontario, Canada **97 MW**



2) Montalto di Castro, Italia **84 MW** - (Gruppo Vona)  
Sup. occupata circa 80 Ha.



3) Solarpark - Finsterwalde, Germania **81 MW**



4) Rovigo, Italia **70 MW** - (SunEdison) - 80 Ha su area industriale dismessa.





**Grazie per l'attenzione**

