Rinnovabili e miglioramenti

Prof. a contratto Ing. Alessandro Cavalletti

Energie rinnovabili & miglioramenti

"TAKE AS YOU GET"

Il miglioramento deve migliorare la situazione ante → costi e benefici

Rinnovabili o alternative ?

- Solare:
    - * Termico
    - * Fotovoltaico
    - * Pompe di calore solar assistite
- Idroelettrico
- Eolico
- Biomasse

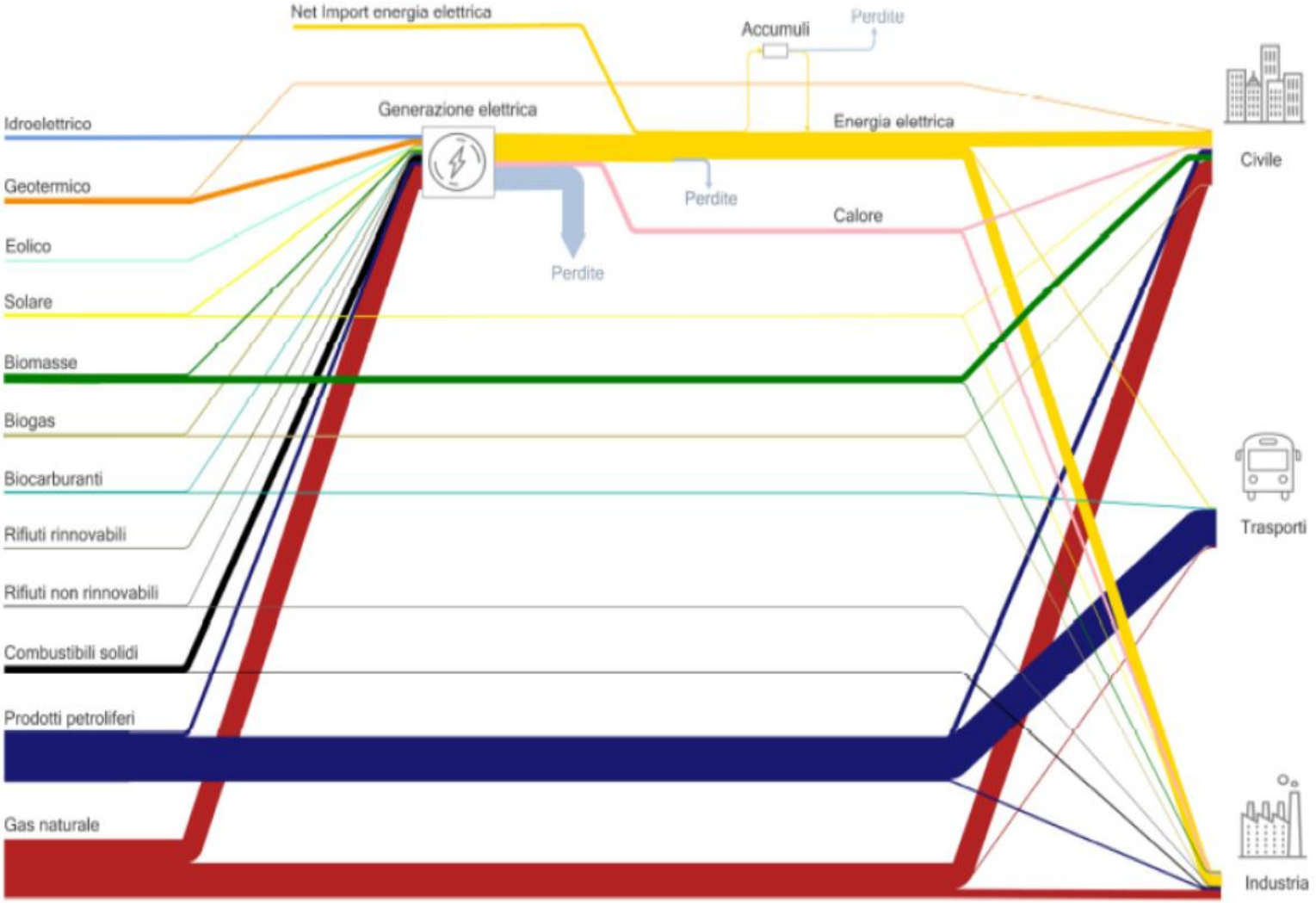
P/I	Descrizione	U.M.	R	NR	Estremi intervallo di ammissibilità dove $p = 0$		Peso p	Ulteriori criteri di valutazione e relativi valori di riferimento
					x_2	x_3	$p_2^- \equiv p_3^+$	
Classe raggiungibile	Classe raggiungibile se si realizzano gli interventi adottati (4)	--	✓	✓	--	--	3	Il peso è attribuito se la classe raggiungibile è migliorativa rispetto a quella attuale di almeno tre livelli.

O se classe post miglioramento peggiore di quella ante..

Bilancio energetico Italia 2018

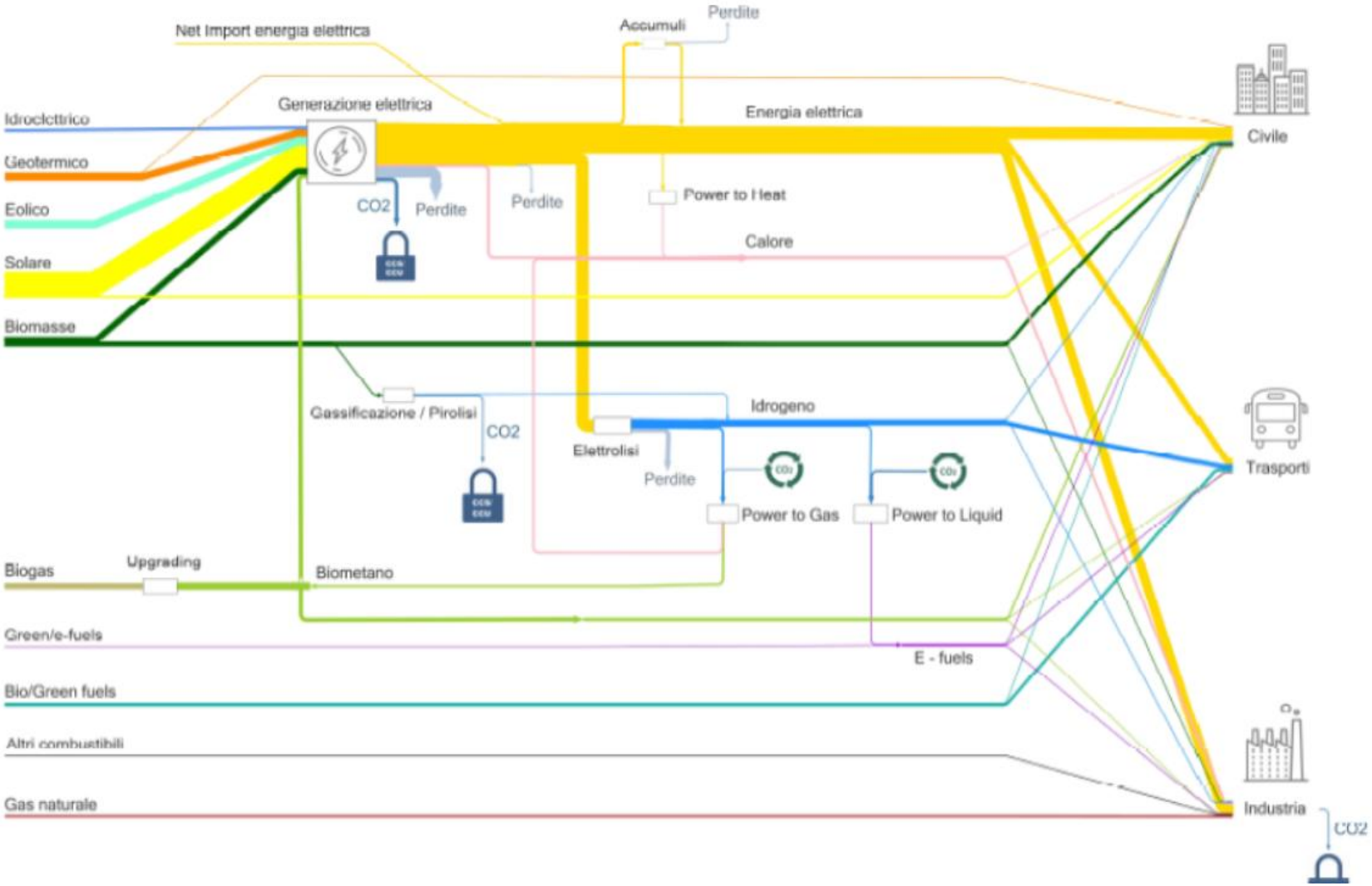
Fonte: Eurostat

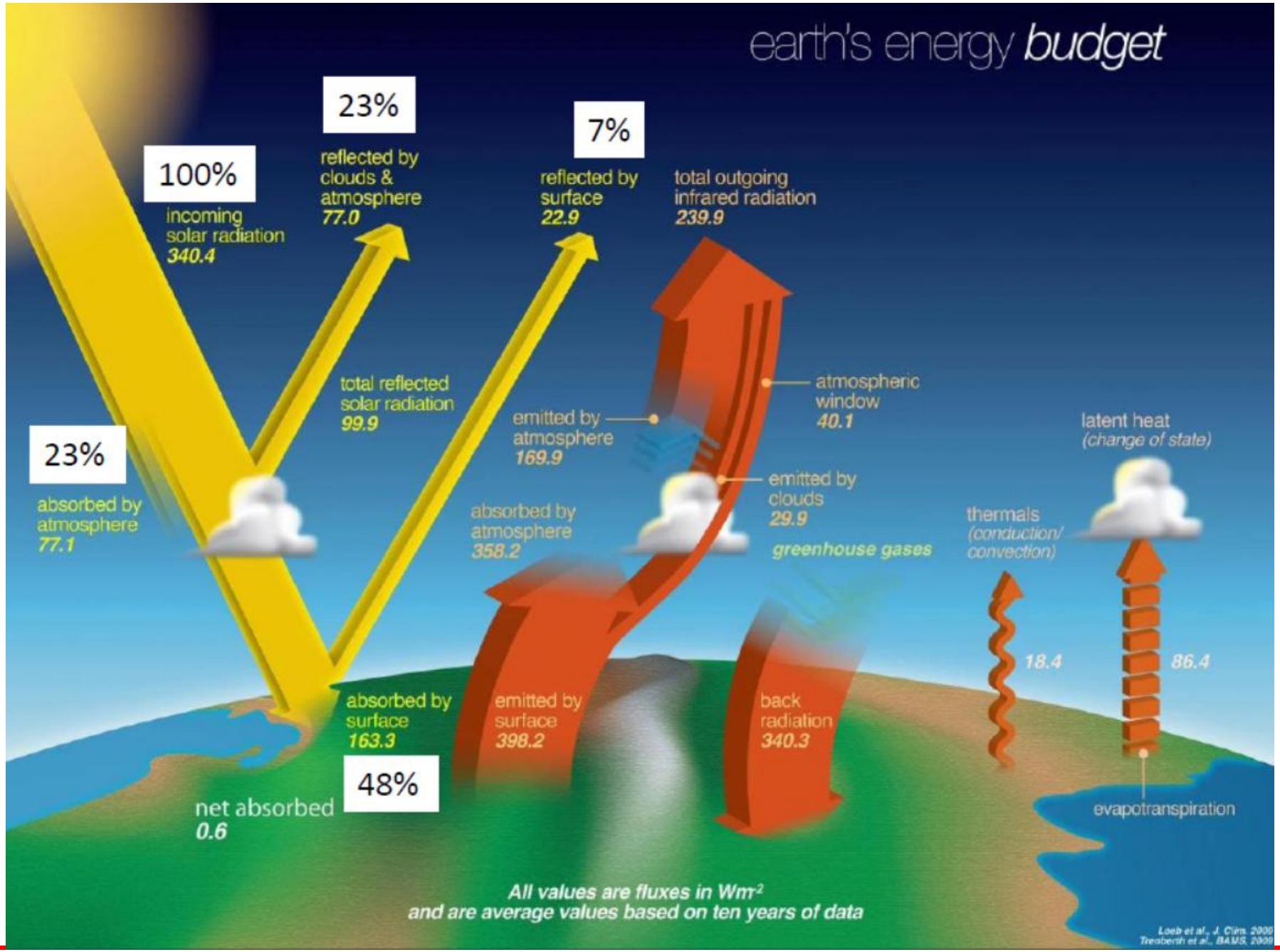
L'utilizzo delle fonti rinnovabili per la decarbonizzazione



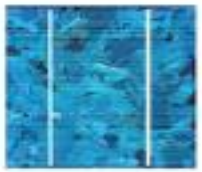
L'utilizzo delle fonti rinnovabili per la decarbonizzazione

Bilancio energetico Italia 2050
Scenario di decarbonizzazione
Fonte: RSE



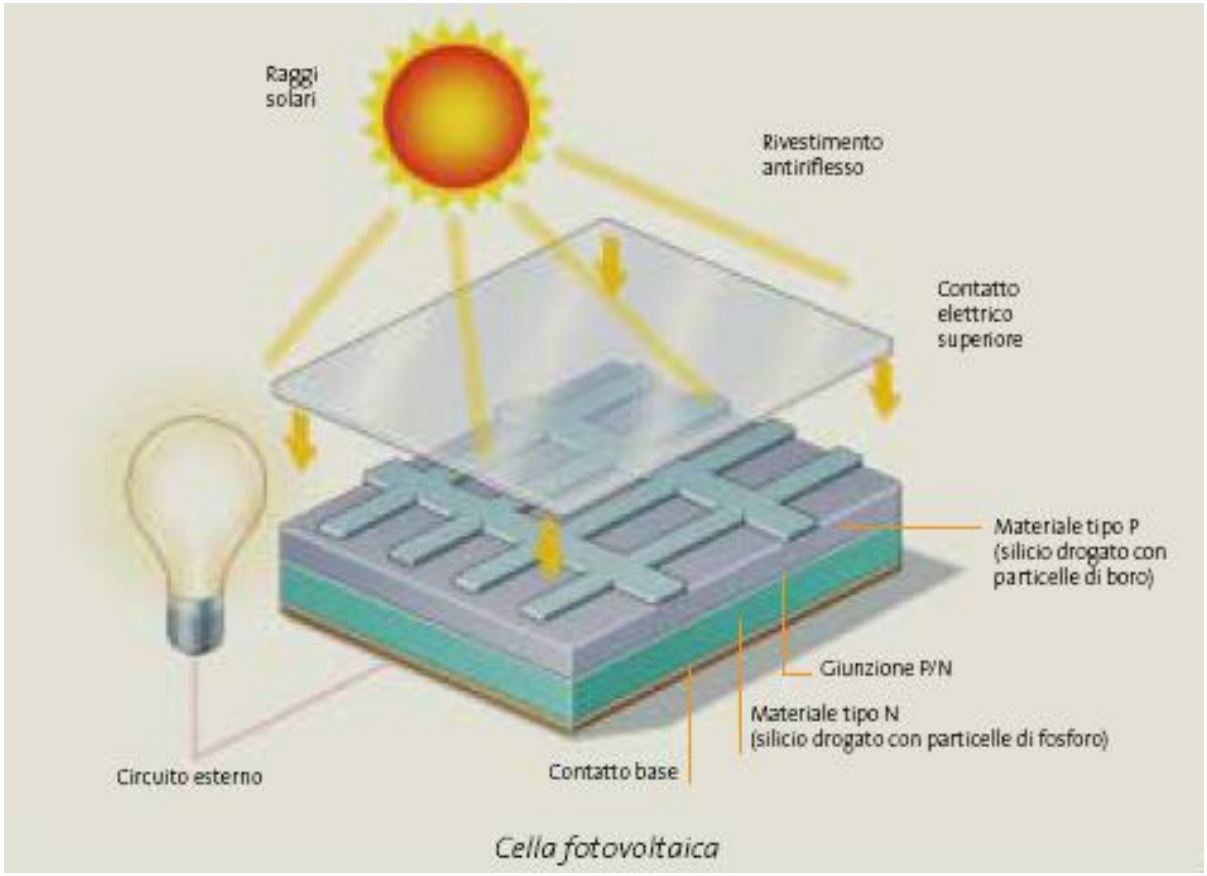

earth's energy budget
100%
incoming
solar radiation
340.4
23%
reflected by
clouds &
atmosphere
77.0
7%
reflected by
surface
22.9
total outgoing
infrared radiation
239.9
total reflected
solar radiation
99.9
23%
absorbed by
atmosphere
77.1
emitted by
atmosphere
169.9
atmospheric
window
40.1
emitted by
clouds
29.9
absorbed by
atmosphere
358.2
greenhouse gases
latent heat
(change of state)
thermals
(conduction/
convection)
18.4
86.4
absorbed by
surface
163.3
emitted by
surface
398.2
back
radiation
340.3
48%
net absorbed
0.6
evapotranspiration
All values are fluxes in Wm-2
and are average values based on ten years of data

Il componente di base di un impianto fotovoltaico è la cella fotovoltaica





1.5 Watt di potenza,
corrente di 3 Ampère
tensione di 0.5 Volt in condizioni standard,
Ossia a 25 °C con radiazione di 1000 W/m^2 e angolo di 48°.



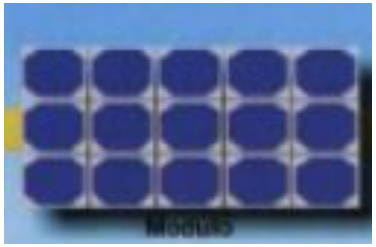
Cella fotovoltaica

ASSEMBLAGGI

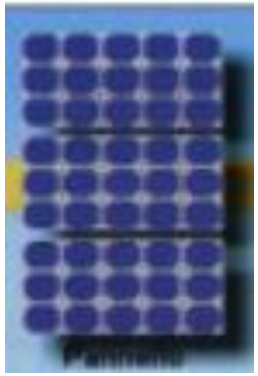
-CELLA



-MODULO (PIU CELLE)



-PANNELLO (PIU MODULI)



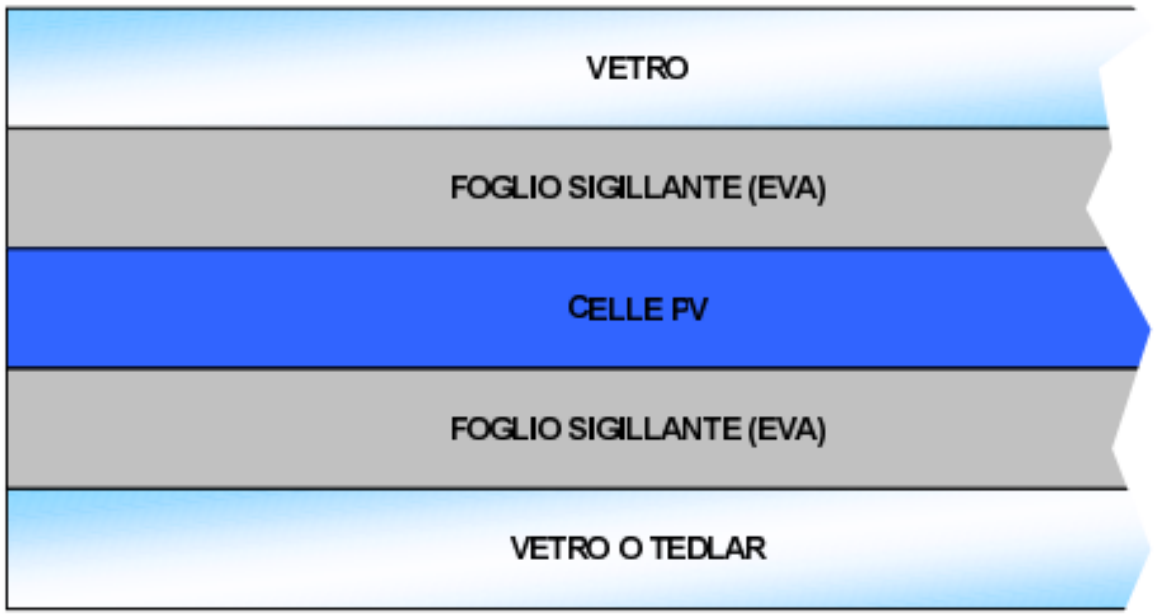
-STRINGA (PIU PANNELLI)





-GENERATORE (PIU STRINGHE)

Nella realizzazione del modulo si proteggono le celle dagli agenti atmosferici mediante la realizzazione di un *sandwich* composto:



vetro di protezione **altamente trasparente**

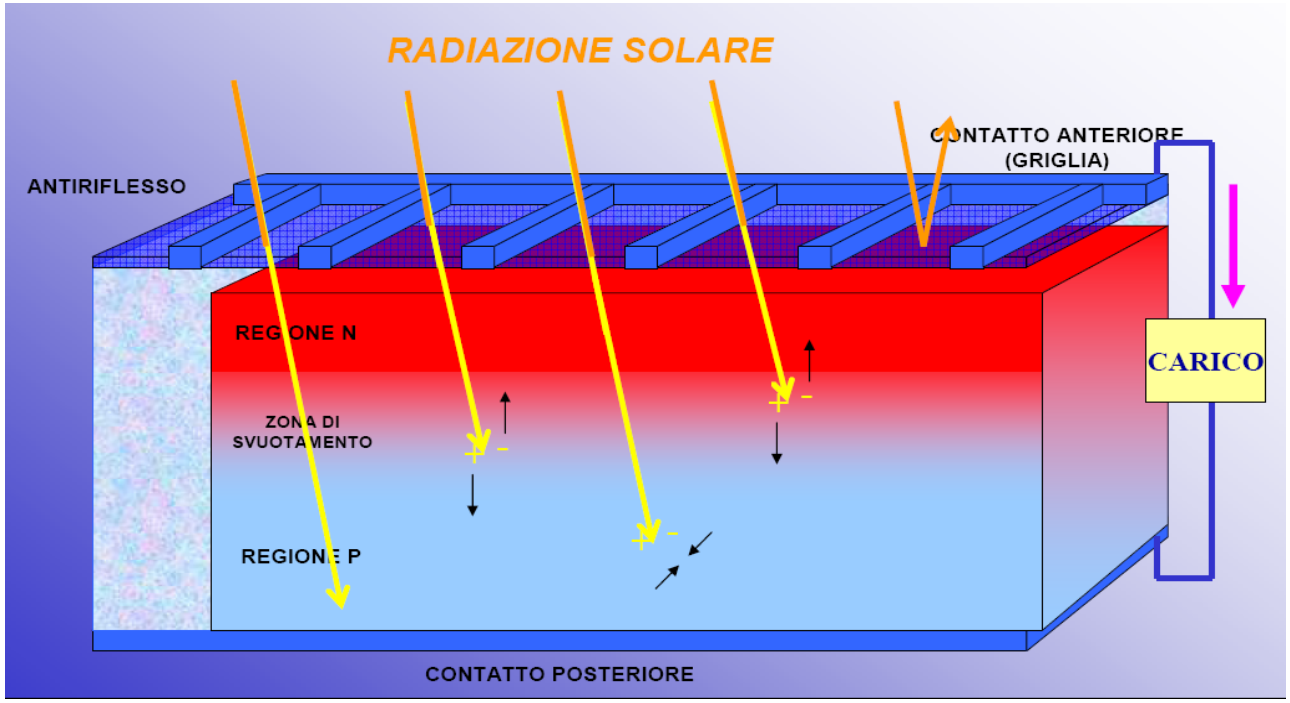
vinilacetilato (EVA)

vinilacetilato (EVA)

polivinile fluorato (*Tedlar*)

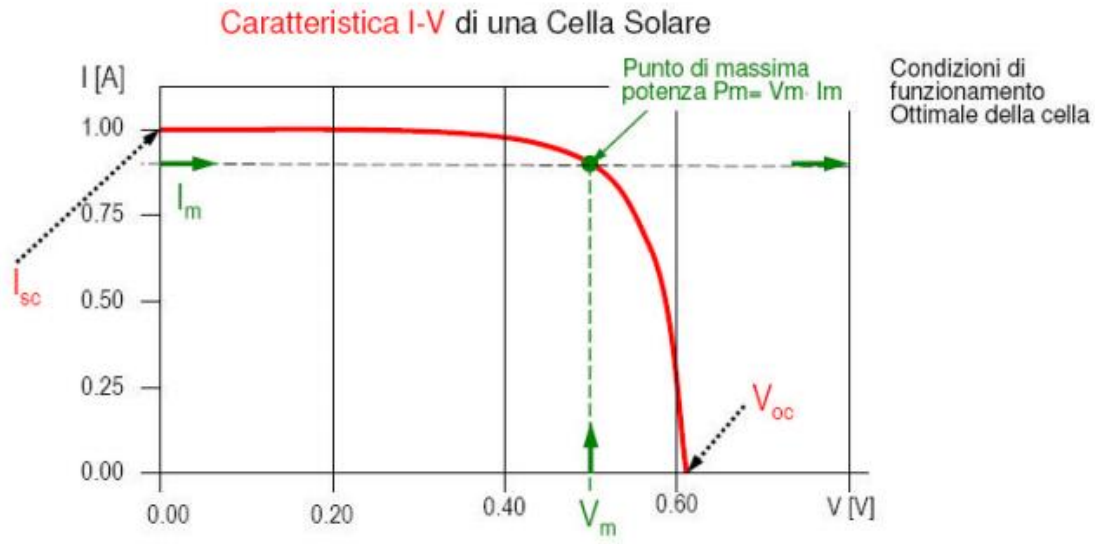
EFFETTO FOTOVOLTAICO

1. **Flusso luminoso** investe il reticolo cristallino di un semiconduttore
2. Transizione in banda di **conduzione** di un certo numero di elettroni
3. Uguale numero di lacune che passa in banda di **valenza**.
4. Disponibili dei **portatori di carica**, che possono essere sfruttati per generare una corrente. Sotto l'influenza del campo elettrico esistente, tali portatori vengono separati e vengono inviati verso le estremità della cella.

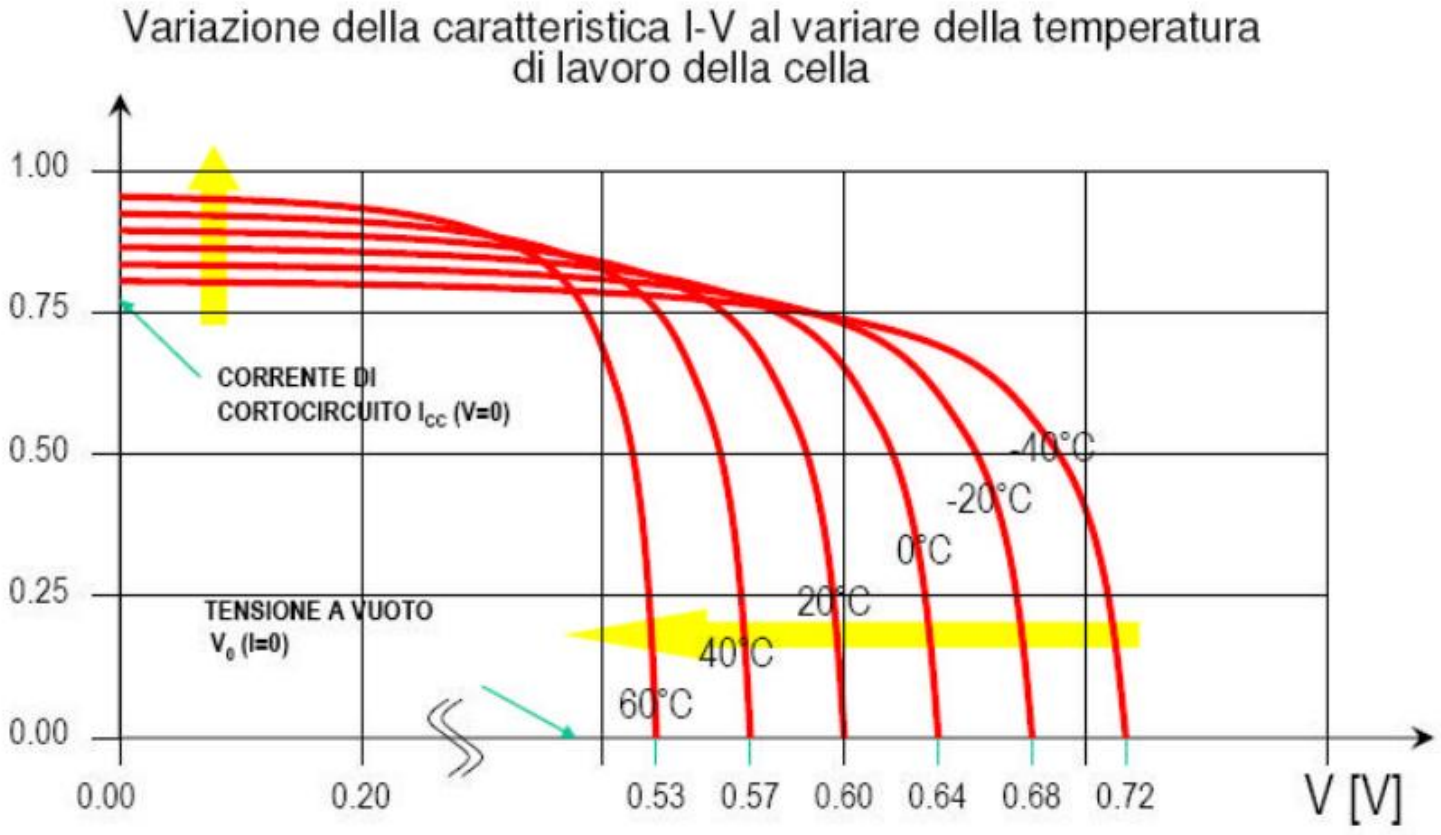


Perdite di efficienza

- Per contenuto energetico: rispetto all'energia solare,
  - il **24%** dell'energia solare ha un'energia inferiore a 1.1 eV → incapace di produrre l'effetto fotovoltaico.
  - il **32%** della radiazione è caratterizzato da lunghezza d'onda superiore a quella limite e pertanto risulta inutile ai fini dell'effetto fotovoltaico
- Perdite per resistenza
- Perdite di derivazione:



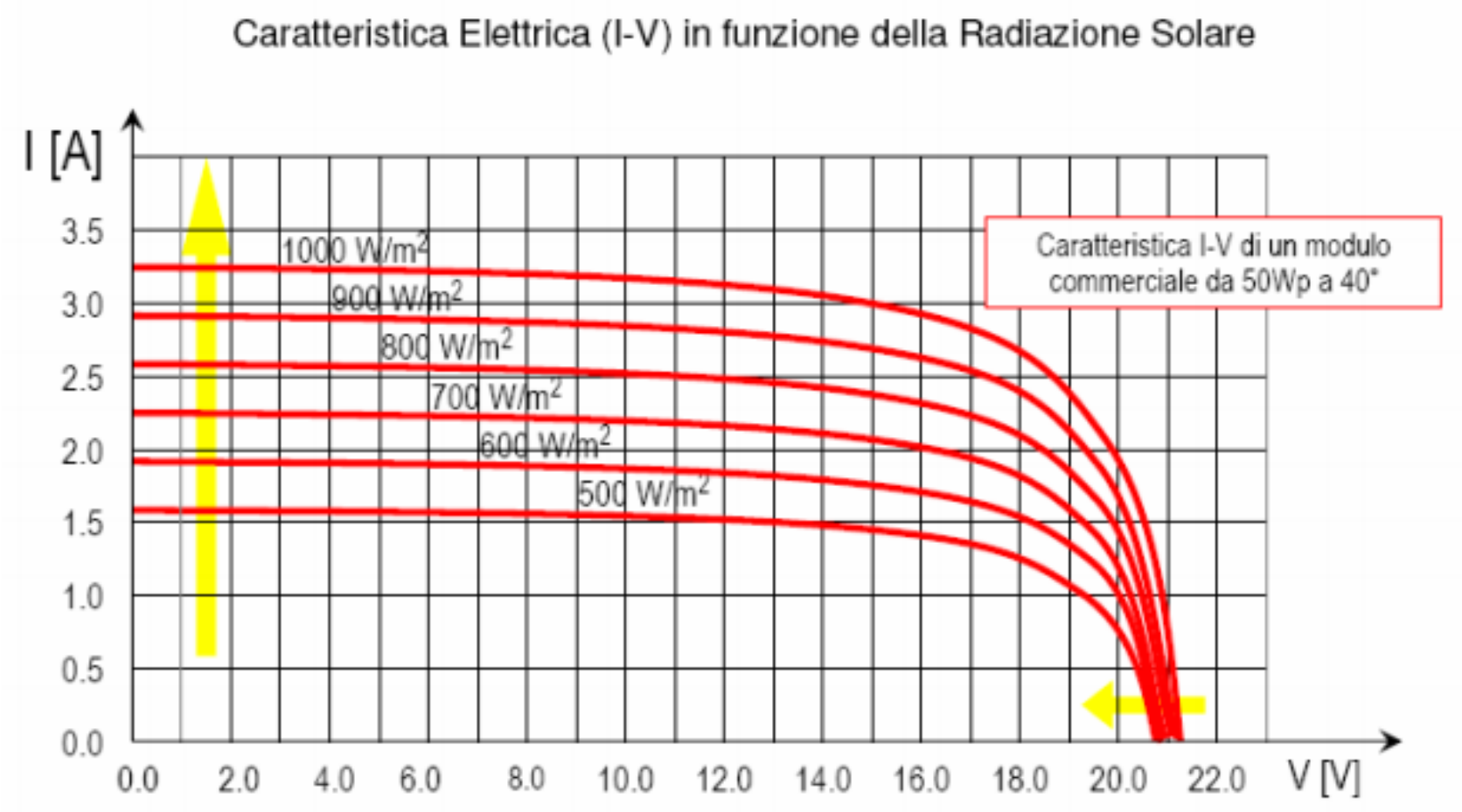
INFLUENZA DELLA TEMPERATURA



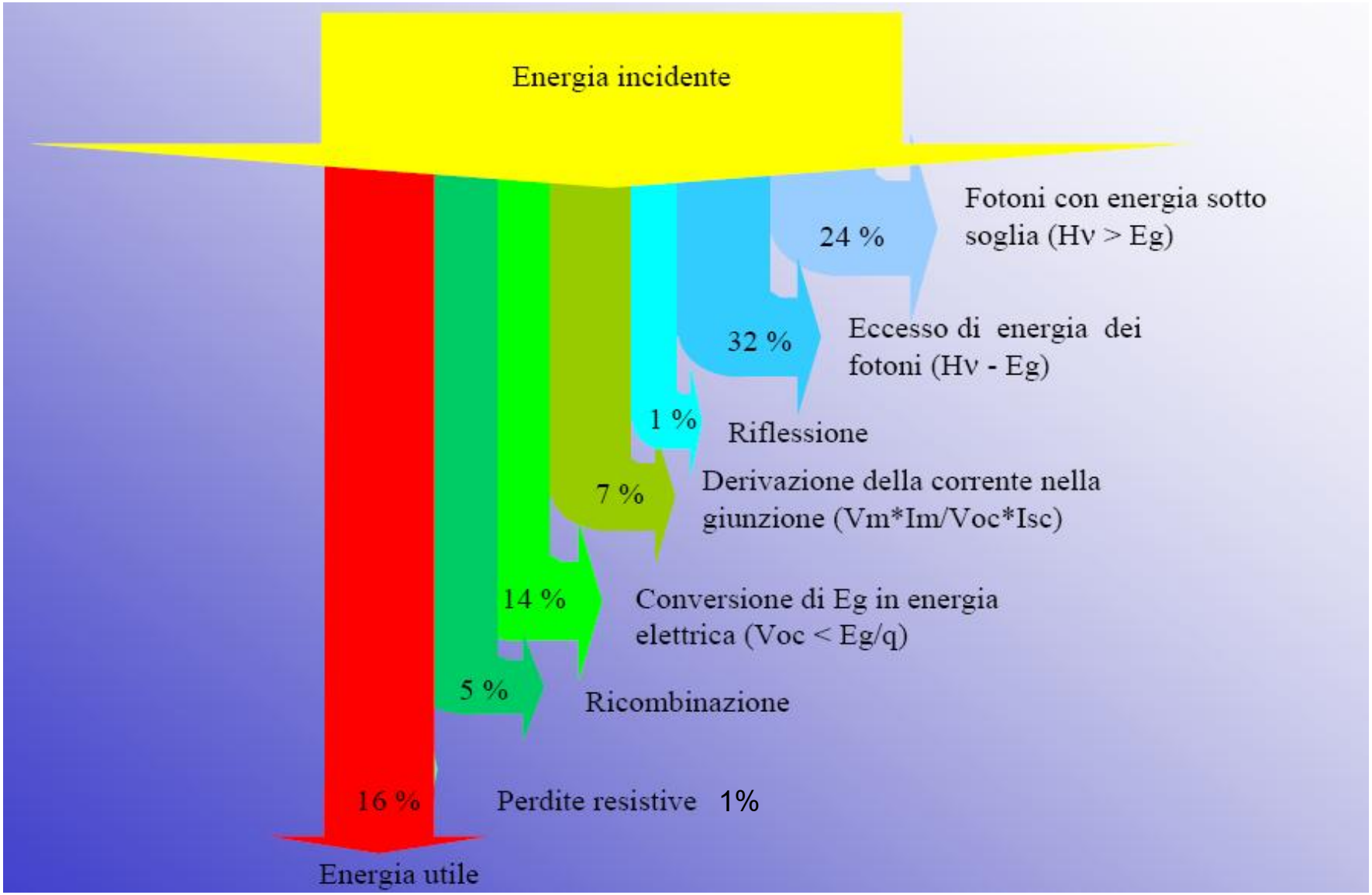
Aumento di T (da O° a 50°C) → aumenta R → produce alta I con V basso

Aumento di T (da O° a 50°C) → aumenta R → produce bassa I con V alto

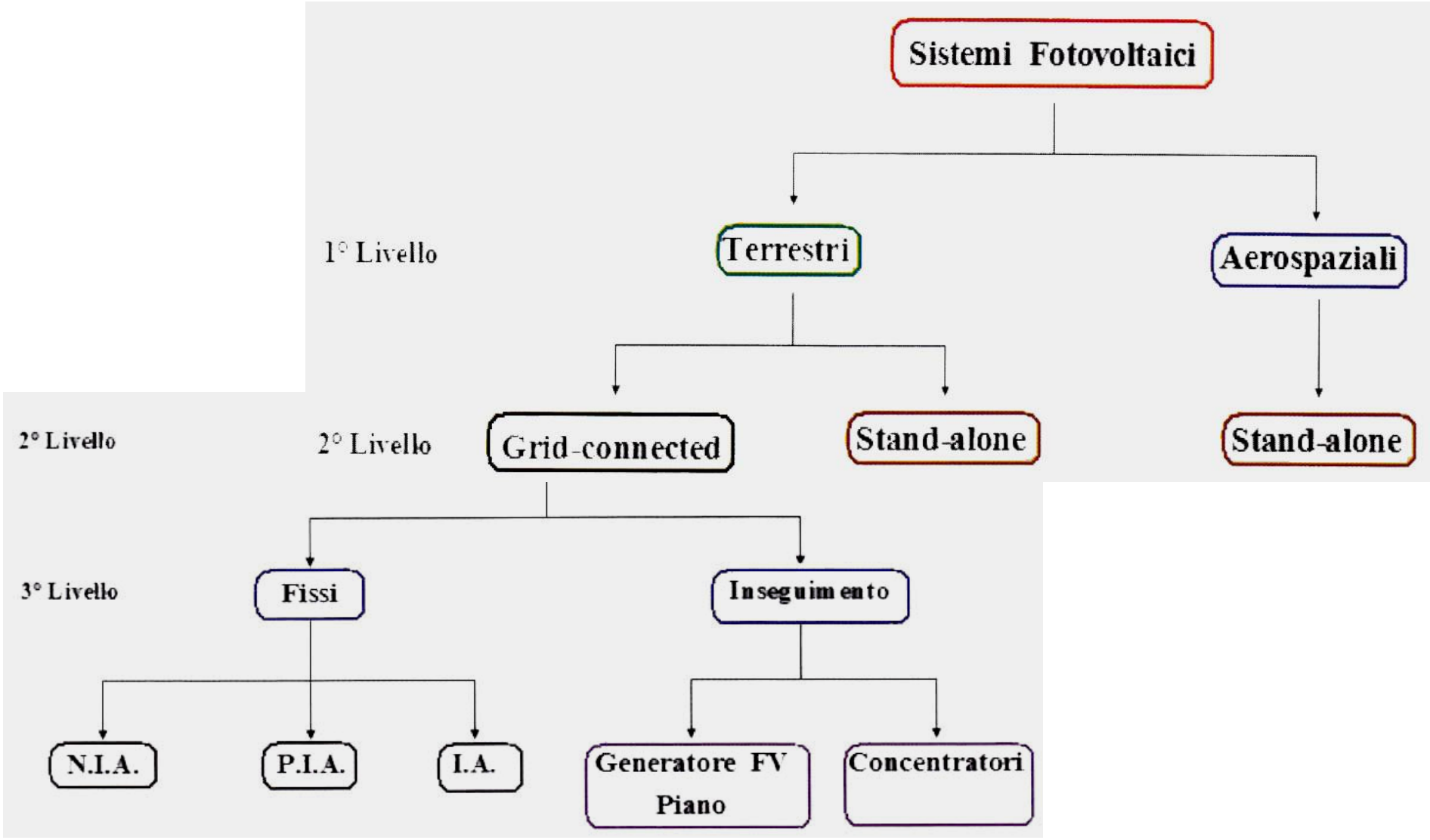
Variazione della curva caratteristica al variare dell'irraggiamento.



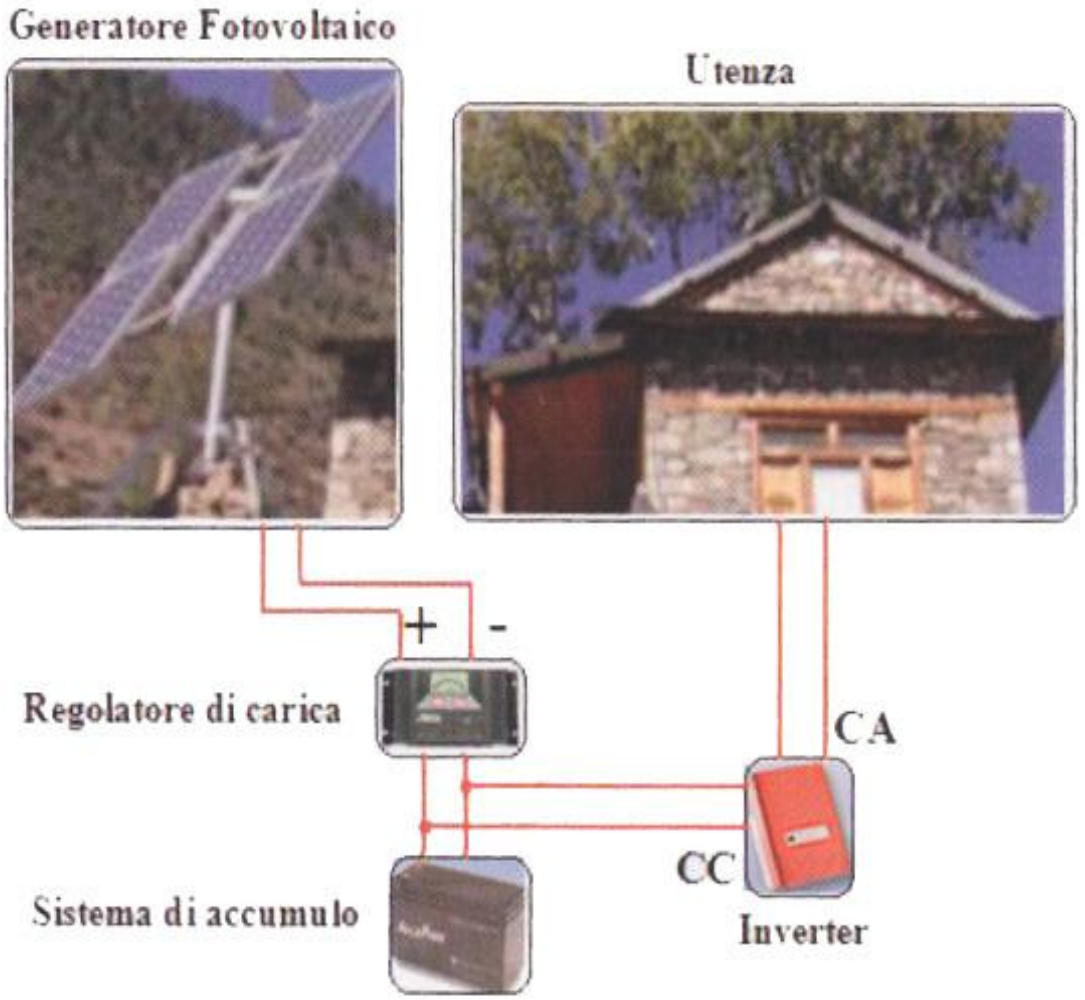
RENDIMENTO PANNELLO SOLARE



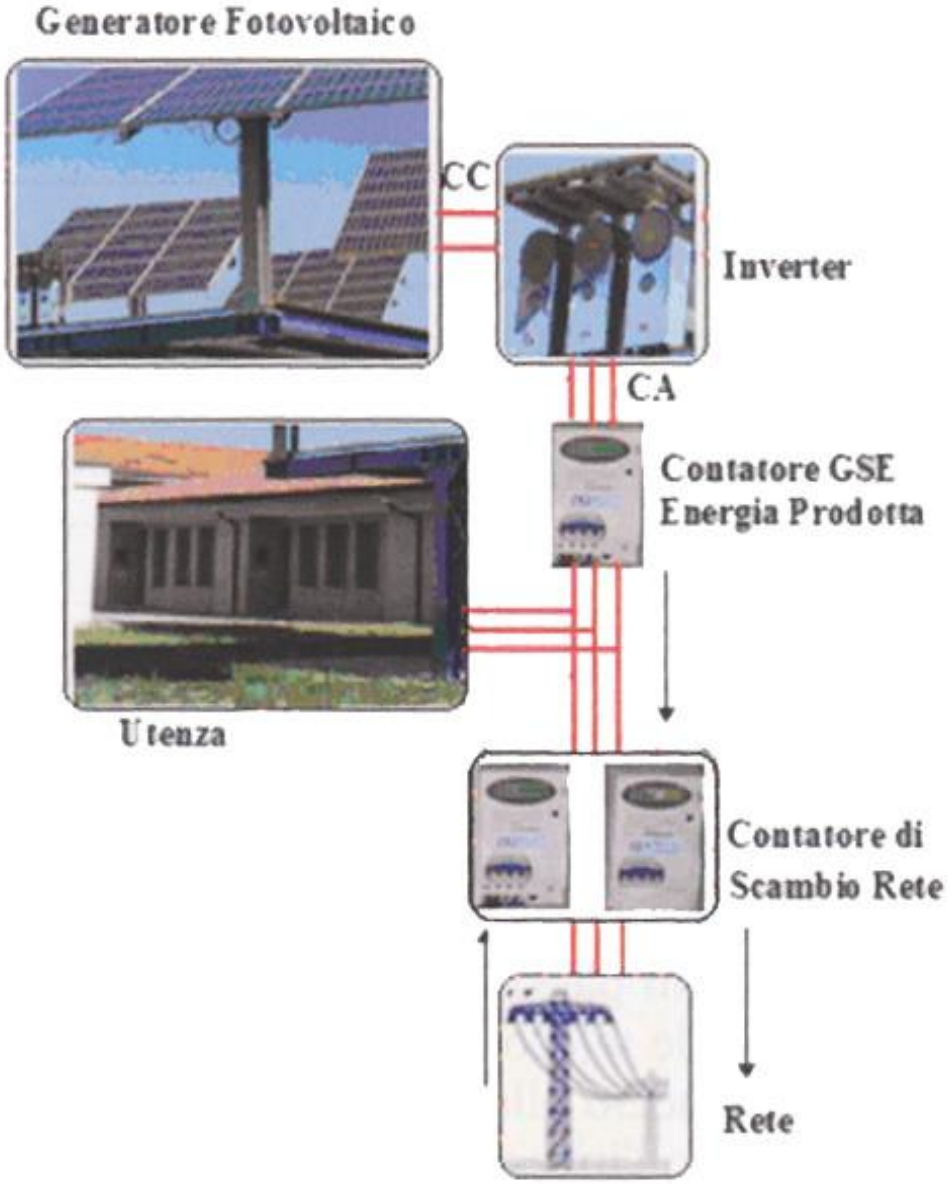
CLASSIFICAZIONE DEI SISTEMI FOTOVOLTAICI



STAND-ALONE:
impianti isolati, che alimentano utenze remote, difficilmente raggiungibili dall'elettrificazione consueta. Questa tipologia può trovarsi in strutture come le baite, le stazioni ripetitrici per le telecomunicazioni collocate in zone montane e ovunque i costi per portare l'allaccio alla rete di distribuzione dell'energia elettrica siano talmente elevati da non giustificarne la realizzazione. Il carico richiesto dall'utenza è soddisfatto dall'alimentazione diretta nelle ore diurne delle giornate terse, mentre durante la notte o le giornate coperte il fabbisogno di elettricità viene alimentato da un sistema di accumulo.



GRID-CONNECTED:
impianti connessi alla rete di distribuzione elettrica; quest'ultima funziona da accumulatore "ideale" (di capacità infinita) dalla quale si può attingere energia nelle ore notturne o nelle giornate con livelli di insolazione non sufficienti a soddisfare le necessità dell'utenza. Nelle ore di Sole, il sistema è alimentato direttamente dal generatore fotovoltaico e le eventuali eccedenze vengono immesse in rete. A questa tipologia di impianti veniva applicato un **sistema incentivante**



FISSI

Per quanto riguarda i sistemi fissi è possibile distinguerli in:

- N.I.A.: impianti Non Integrati Architettonicamente;
- P.I.A.: impianti Parzialmente Integrati Architettonicamente;
- I.A.: impianti Integrati Architettonicamente, identificati spesso dall'acronimo BIPV (*Building Integrated PhotoVoltaics*), in cui il generatore fotovoltaico ha anche la funzione di componente costruttivo della struttura.

INSEGUIMENTO SOLARE

Nel caso dei sistemi ad inseguimento solare, il generatore fotovoltaico è disposto su un *tracker* che ha la funzione di orientarlo verso il disco solare, cercando di minimizzare l'angolo di incidenza con cui la radiazione solare impatta sul piano dei moduli, aumentando così la producibilità nelle giornate terse.

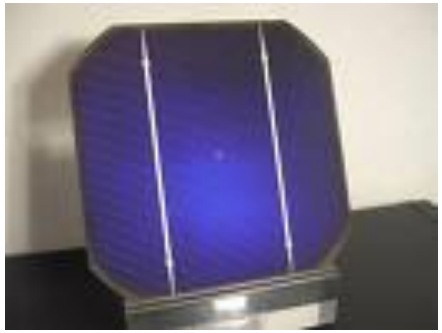
Gli inseguitori, a loro volta, possono essere di tipo classico, cioè con il campo fotovoltaico a geometria piana, oppure a concentrazione; questi ultimi hanno il compito di captare e concentrare la radiazione solare sulle celle fotovoltaiche, grazie all'uso di sistemi ottici rifrattivi, come le lenti *Fresnel* (lenti prismatiche) o sistemi ottici riflessivi che utilizzano specchi.

→ SILICIO MONOCRISTALLINO

• BUONI RENDIMENTI(15%) MA COSTI ELEVATI

• CELLE DI COLORE UNIFORME

• FORME QUASI OBBLIGATE CIRCOLARI O OTTAGONALI



→ SILICIO POLICRISTALLINO (13 %)

• COSTI MINORI

• POSSIBILI PERSONALIZZAZIONI PER FORME

• COLORAZIONI DIVERSE: COLORE SFUMATO



→ SILICIO AMORFO

• STRATO SOTTILE (1-2 MICRON) SU SUPPORTO DIVERSO: COSTI BASSI -> RENDIMENTI BASSI (5%)



Moduli Trasparenti

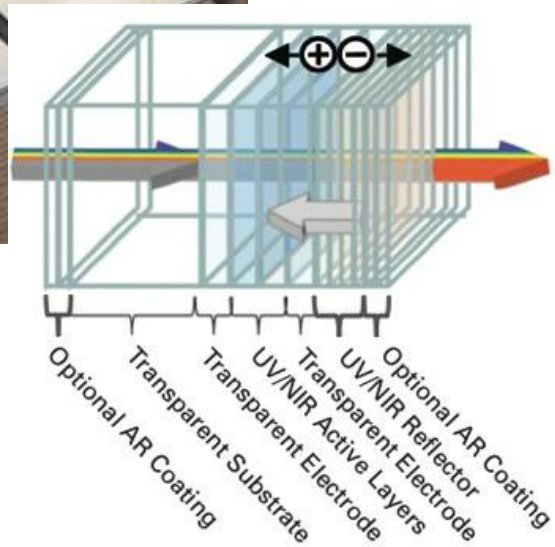
È possibile realizzare vetrate trasparenti tramite moduli fotovoltaici realizzati mediante la posa di strisce di film sottile ottenendo varie trasparenze a seconda della loro fittezza.

I moduli di questo tipo possono essere utilizzati come elementi costruttivi per **vetrate, finestre, tetti trasparenti e ogni altro tipo di superficie vetrata verticale e inclinata**.

Le celle fotovoltaiche incise dal laser sono in grado di generare elettricità e al tempo stesso di schermare i raggi solari, incluse le dannose radiazioni UV, partecipando quindi alla riduzione di energia necessaria per il condizionamento d'aria del locale (tabelle seguenti).
Nella creazione dei moduli semitrasparenti, le celle sono fissate con una resina tra due lastre di vetro distanziate di circa 2 mm tra l'una e l'altra. I cavi della corrente in uscita sono solitamente fatti passare attraverso dei corridoi creati nella cornice, in modo da rimanere nascosti, oppure si utilizzano i *junction boxes* di connessione.
Nei casi in cui la facciata trasparente debba anche soddisfare requisiti di isolamento termico, il modulo solare è integrabile in un doppio vetro, ottenendo valori di dispersione termica molto bassi.

Fotovoltaico trasparente





Rendimenti 2-5%

LE TIPOLOGIE DI STRUTTURE DI ANCORAGGIO

→ **Sistema di ancoraggio P.I.A. (impianti parzialmente integrati architettonicamente) per tetti a falde:** l'ancoraggio si realizza mediante il dispiegamento ed il fissaggio di guide metalliche sulla falda, che permettono la posa del generatore fotovoltaico



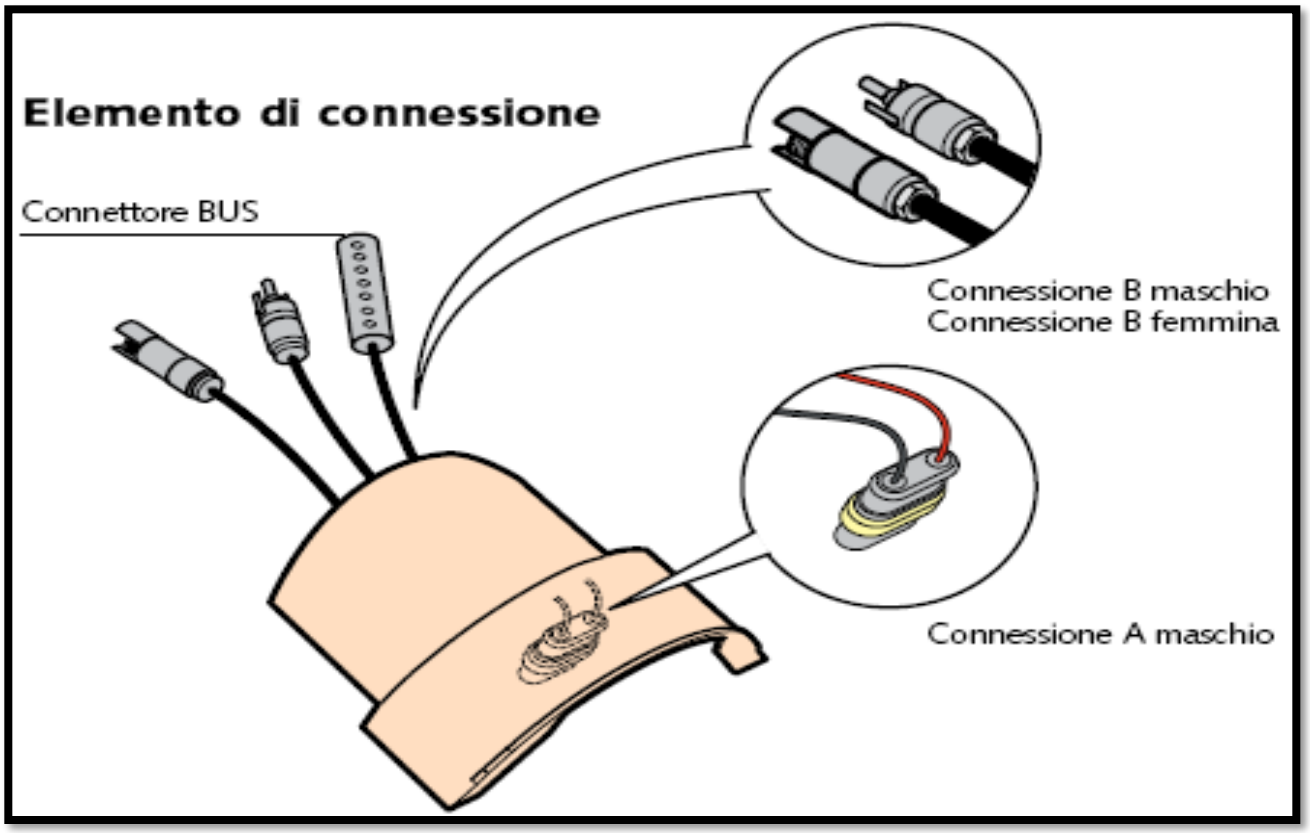
→ **Sistema di ancoraggio I.A. (impianti integrati architettonicamente) per tetti a falde:** questo sistema prevede l'integrazione diretta di moduli fotovoltaici con telaio nella copertura del tetto



LA TEGOLA FOTOVOLTAICA



Il sistema può essere posizionato su **qualsiasi tipo di copertura** proprio come se fosse una normale tegola in laterizio e, quindi, può essere installato su tetti in legno, in cemento o su listelli.
In relazione alla dimensione e alla forma della falda di tetto scelta per allocare l'impianto, le tegole fotovoltaiche possono essere disposte in diversi modi. La modularità del sistema offre la possibilità di configurare impianti con potenze maggiori o minori di quelle standard, grazie anche agli speciali kit di integrazione da 0.1 kWp e da 0.2 kWp.



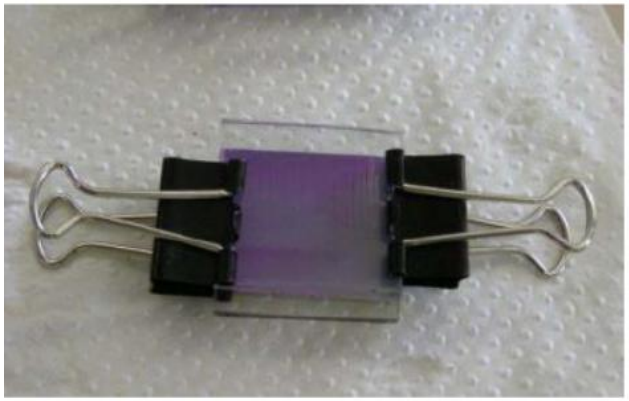
Il funzionamento del modulo fotovoltaico è gestito mediante circuiti elettronici, attraverso i quali è possibile monitorare la funzionalità e la resa dell'impianto e gestire l'esclusione dal sistema delle eventuali tegole malfunzionanti. I circuiti sono alloggiati all'interno di un'apposita **scatola di giunzione impermeabile presente sia nell'elemento di connessione sia nella parte inferiore della cella fotovoltaica.**

Altri «pannelli» «solari»

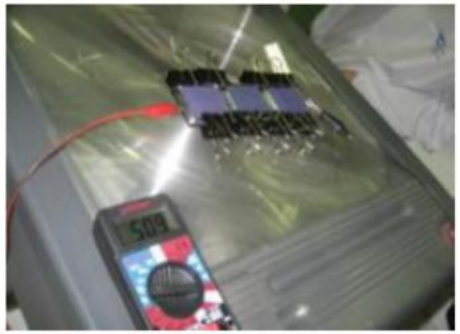
La cella al «mirtillo» → usa coloranti naturali legati al biossido di titanio TiO_2 → impatto ben diverso sull'ambiente.

Diversi possibili coloranti fotosensibili, migliori quelli che assorbono bene nello spettro del visibile e in parte in infrarosso e ultravioletto

La luce solare eccita gli elettroni che passano dalla banda di valenza a quella di conduzione creando il passaggio di corrente



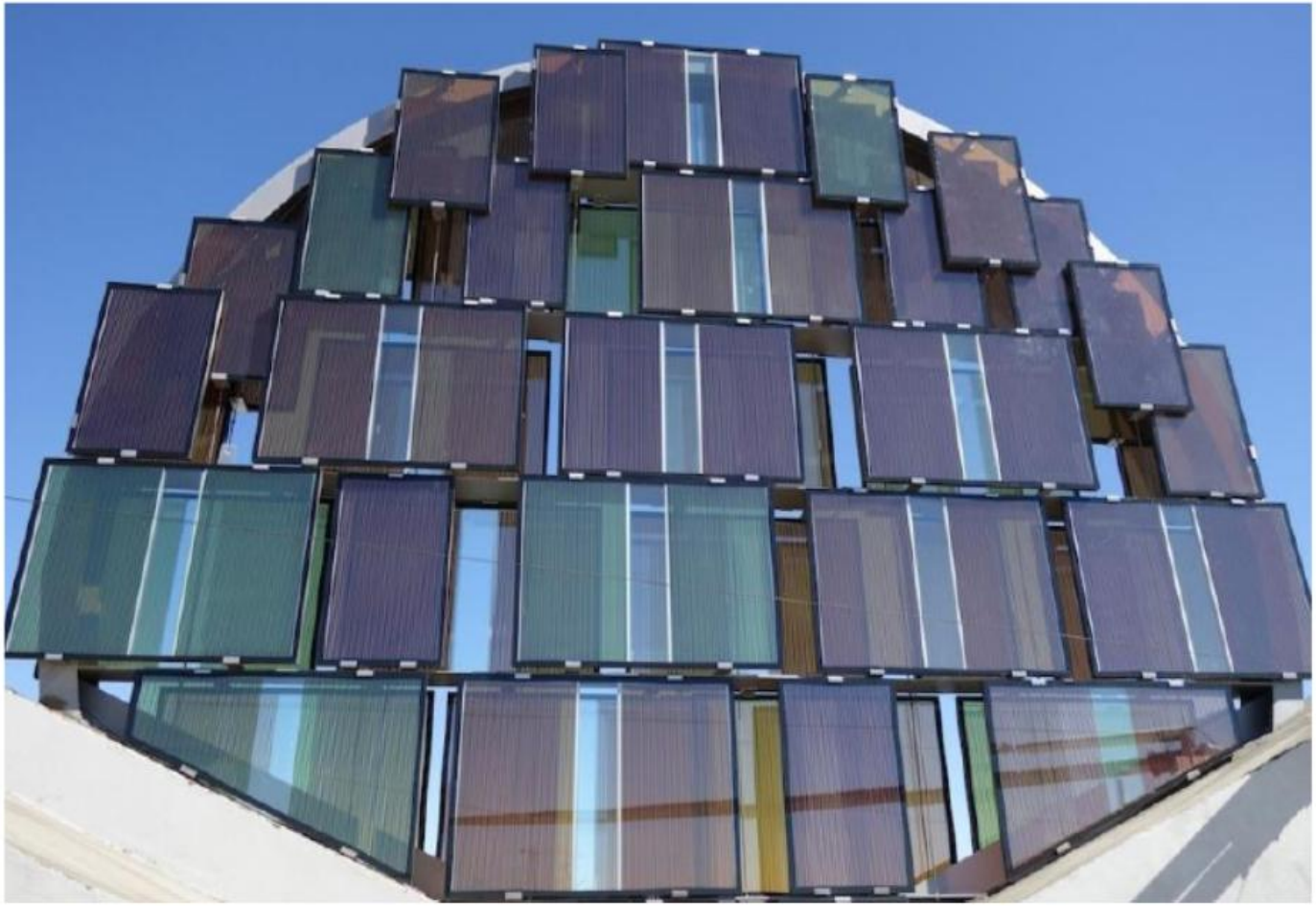




https://farelaboratorio.accademiadellescienze.it/esperimenti/scienze/60

Altri «pannelli» «solari»

Padiglione Austria Milano EXPO 2015



Approccio UNI-TS 11300-4 (2016) – produzione FV

$$E_{el,pv,out} = \frac{(E_{pv} \cdot W_{pv} \cdot f_{fv})}{I_{ref}}$$

E_{pv} irradiazione solare mensile incidente sull'impianto FV [kWh/m^2] – UNI TR ~~11328-1~~ → UNI 10349-1:2016 – atlanti e informazioni climatiche

W_{pv} potenza di picco riferita alla superficie del campo per una irradianza di 1 kW/m^2 alla temperatura di 25 °C

I_{ref} irradianza solare di riferimento 1 kW/m^2

f_{pv} fattore di efficienza dell'impianto fotovoltaico integrato nell'edificio

f_{pv} = f(impianto conversione da CC ad AC, T_{es} dei moduli)

Grado di ventilazione dei moduli FV	f_{pv} [-]
Moduli non ventilati	0,70
Moduli moderatamente non ventilati	0,75
Moduli molto ventilati o con ventilazione forzata	0,90

Approccio UNI-TS 11300-4 – potenza di picco W_{pv}

Preferibilmente determinata da condizioni di prova.

In assenza di dati

$$W_{pv} = K_{pv} \cdot A_{pv}$$

K_{pv} fattore di potenza di picco (dipende dal tipo di modulo FV) – [kW/m^2]

A_{pv} superficie netta di captazione dell'impianto FV [m^2]

Grado di ventilazione dei moduli FV	K_{pv} [kW/m^2]
Silicio mono cristallino	0,150
Silicio multi cristallino	0,130
Film sottile di silicio amorfo	0,060
Altri strati di film sottile	0,035
Film sottile di diseleniuro di indio-rame-gallio (CiGS)	0,105
Film sottile di telluto di cadmio (CdTe)	0,095

I valori dei rendimenti fornito dai produttori sono riferiti a:

- radiazione solare incidente 1000 W/m^2
- Temperatura costante della cella : 25°C
- Massa d'aria 1,5

I Watt prodotti vendono detti **Watt di picco** Wp ossia

Quando le condizioni standard sono rispettate!!!!!

Approccio UNI-TS 11300-4 (2016) – produzione FV

Energia che raggiunge la superficie –kWh/m²

$$E_{el,pv,out} = \frac{(E_{pv} \cdot K_{pv} \cdot f_{fv} \cdot A_{pv})}{I_{ref}}$$

Superficie captante

$$E_{el,pv,out} \approx G \cdot \eta \cdot A$$

Moduli	Non ventilati	Moderatamente non ventilati	Molto ventilati o con ventilazione forzata
Silicio mono cristallino	0.11	0.11	0.14
Silicio multi cristallino	0.09	0.10	0.12
Film sottile di silicio amorfo	0.04	0.05	0.05
Altri strati di film sottile	0.02	0.03	0.03
Film sottile di diseleniuro di indio-rame-gallio (CiGS)	0.07	0.08	0.09
Film sottile di telluto di cadmio (CdTe)	0.07	0.07	0.09

Confronto produzione FV con fabbisogni UNI TS 11300-5

Per ogni generatore elettrico (es cogeneratore, pannello FV)

- fino al massimo alla copertura totale del fabbisogno

- su base mensile, si calcola

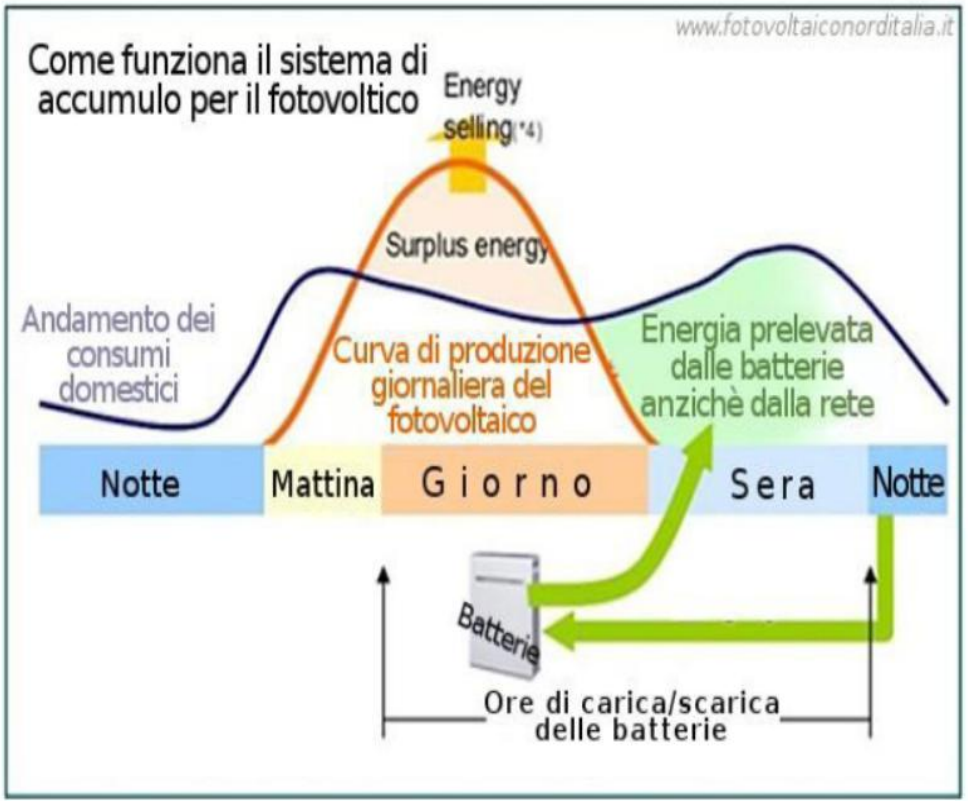
a) Fabbisogno di energia elettrica $W_{in,m}$ [kWh]

b) Produzione energia elettrica in situ

$W_{prod,m} = W_{prod,os,m} + W_{prod,CG,m}$ [kWh]

Rinnovabili Cogeneratore

c) $W_{used,m} = \min(W_{in,m} ; W_{prod,m})$



Limiti stima copertura FV con fabbisogni UNI TS 11300-5

Limite	Considerazioni
Condizioni meteo?	I dati di irraggiamento rappresentano delle medie storiche; il valore medio riportato tiene pertanto mediamente conto della nuvolosità del sito
Sfasamento temporale tra produzione e fabbisogno? (O.G. giorni o anche settimane o mesi)	In condizioni **standard**, si assume che lo sfasamento sia minimo e comunque gestibile tramite le batterie
Ombreggiamenti?	Non vengono tenuti in considerazione, sia derivati da costruzioni sia da fattori orografici. Come se, **in condizioni standard**, i pannelli fossero sempre in posizione ottimale, con minime ostruzioni
Influenza degli accumuli?	La dimensione degli accumuli non viene considerata **in condizioni standard** in quanto si assume la taglia come ottimale a garantire le ipotesi di cui sopra

Generatore fotovoltaico

Descrizione e caratteristiche tecniche

Info aggiuntive diagnosi

Metodo di calcolo	UNI/TS 11300-4
Superficie captante	450,000 m²
Modalità inserimento dati	Conosco la potenza di picco
Tipo di pannello	Silicio monocristallino
Potenza di picco	85,000 kW
Inclinazione	0 °
Orientamento	0 °
Integrazione moduli	Moduli non ventilati
Efficienza sistema	0,700

Albedo medio mensile

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

Albedo medio annuo 0,20

☑ Pannelli disposti all'infuori della copertura oppure aderenti o integrati nei tetti con la stessa inclinazione e orientamento della falda

Superficie in Italia occupata dal FV – 2024 SNP ambiente

- quasi 18,000 ettari – 9950 MW

- installazione FV al suolo

  → Puglia 6130 ettari (34% di tutti gli impianti nazionali)

  → Emilia Romagna (1700 ettari)

  → Lazio (1600 ettari)

  …

  → Trentino (11 ettari)

  → Valle d'Aosta (1,3 ettari)

  → Liguria (0,2 ettari)





1 MW ≈ 1,8 ettari = 18'000 m^2

1 kW ≈ 18 m^2

Agrivoltaico es. patate, luppolo, lattuga, spinaci, fave, more, lamponi e fragole

Superficie in Italia occupata dal FV – 2024 SNP ambiente

Fotovoltaico a terra = perdita suolo usabile per altre destinazioni e con rischio effetti negativi impermeabilizzazione

Installazione su superfici di suolo già utilizzate? (es coperture capannoni etc)

Compatibilità pannelli con comignoli, impianti di condizionamento, ombreggiamento orografico e per edifici vicini, vincoli paesaggistici e di tutela storica.

Ca 49-64% dei tetti possono essere sfruttati (studi Centro Comune di Ricerca della Commissione Europea)

Ulteriore riduzione del 60% per distanza necessaria tra i pannelli per la manutenzione





Tetto fotovoltaico Roma – 5 ha – 4,2 MW

Superficie in Italia occupata dal FV – 2024 SNP ambiente

Italia: superficie tetti disponibile ca 3875 km²

49% = 1898 km² ≈ 2000 km²

Rid del 60%

800 km²

Tra 44 MW e 80 MW

65% = 2518 km² ≈ 2500 km²

Rid del 60%

1000 km²

Tra 55 MW e 100 MW

1 kW ≈ 18 m²

(GSE per tetti piani riporta

1 kW ≈ 10 m²)

Superficie in Italia occupata dal FV – 2024 SNP ambiente

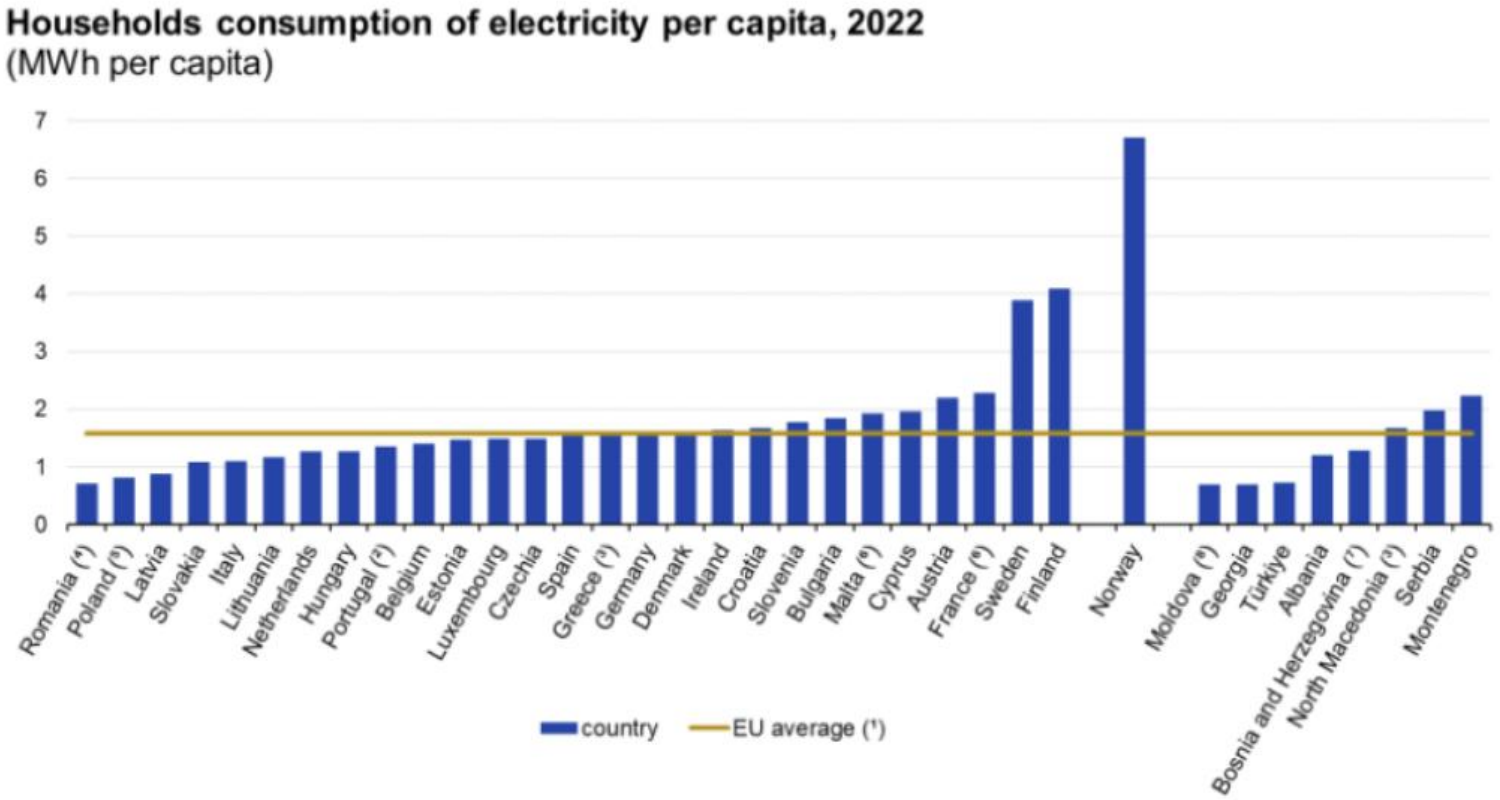




Italia: superficie tetti disponibile ca 3875 km² → tra 40 e 100 MW

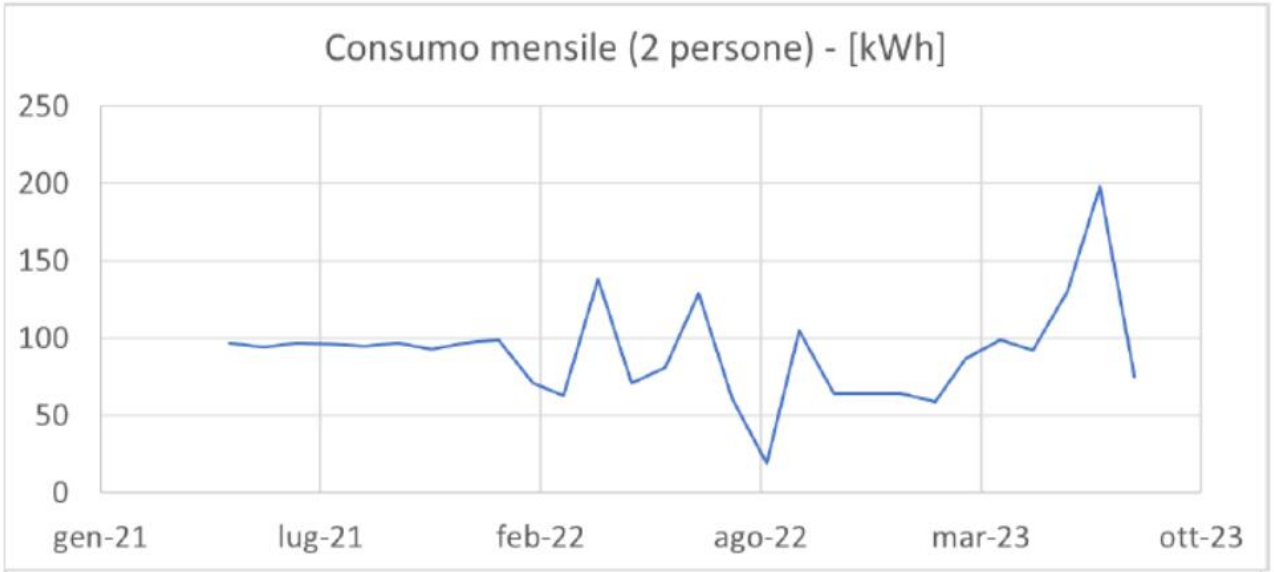
Già installati 9950 MW → aumento di ca 1% rispetto alla potenza già installata
E rispetto ai consumi?

Superficie in Italia occupata dal FV



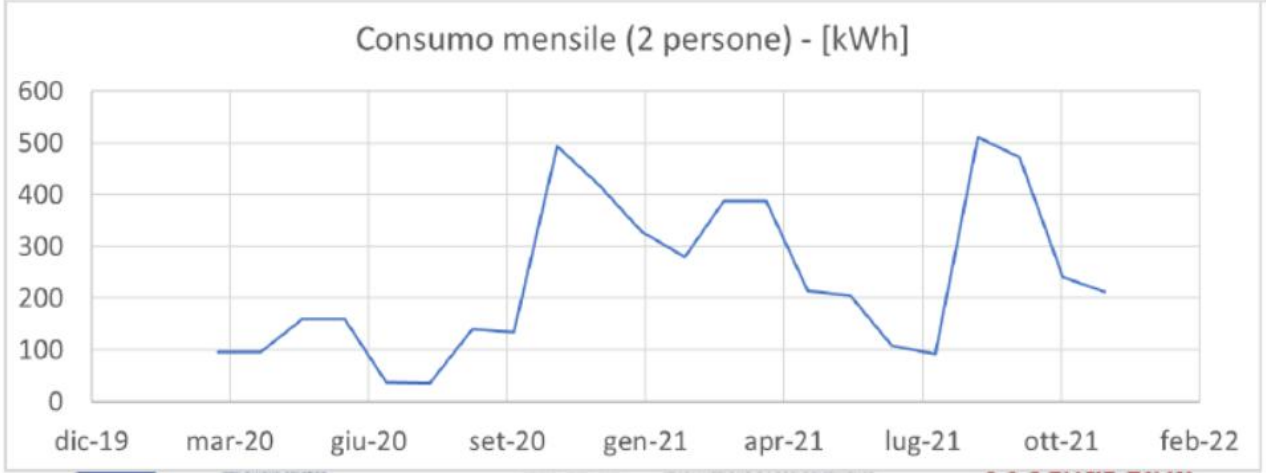
Italia 1,1 MWh/persona/anno = 1’100 kWh/persona/anno

Superficie in Italia occupata dal FV



Prima casa, riscaldamento metano, climatizzazione in pdc

Tot 1000-1200 kWh/anno



Seconda casa,
solo elettrico,
climatizzazione in pdc

Tot 3000-3500 kWh/anno

Superficie in Italia occupata dal FV

Tirando le somme…

Domanda
Fabbisogno sistema Italia 1’748’701 GWh annui
Di cui riconducibili al residenziale 64’900 GWh annui

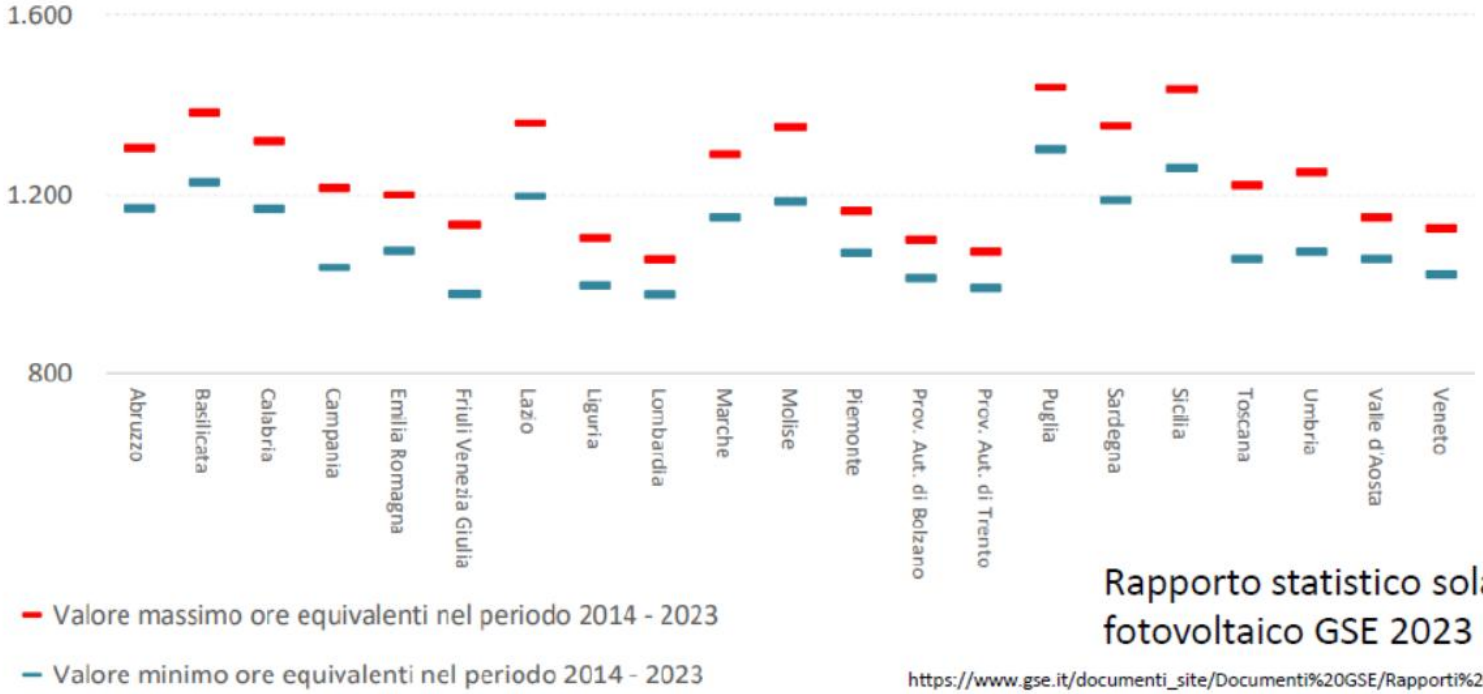
Offerta
Potenza totale installata 9950 MW = 9,95 GW ≈ 10 GW
Potenza installabile su coperture 0,1 GW

Quante ore in media funziona un impianto FV nell’anno?

Superficie in Italia occupata dal FV

Ore equivalenti di utilizzazione degli impianti nel periodo 2014-2023

Rapporto statistico solare fotovoltaico GSE 2023



Nota 1500/365 = 4 h/ gg

Rapporto statistico solare fotovoltaico GSE 2023

https://www.gse.it/documenti_site/Documenti%20GSE/Rapporti%20statistici/Solare%20Fotovoltaico%20-%20Rapporto%20Statistico%202023.pdf

Superficie in Italia occupata dal FV

Senza tenere conto dello sfasamento dei consumi!

Fotovoltaico	Potenza [MW]	Ore funzionamento annuali [h]	Energia prodotta [GWh]
Attuale	9950	1500	14'925
Espandibile su coperture esistenti	100	1500	150

Fabbisogno sistema Italia 1'748'701 GWh annui
Di cui riconducibili al residenziale 64'900 GWh annui

Fotovoltaico	Energia prodotta [GWh]	% copertura fabbisogno totale	% copertura fabbisogno residenziale
Attuale	14'925	0,9%	23%
Espandibile su coperture esistenti	150	<< 0,1%	0,2%

Pannelli orizzontali vs verticali

Genova

Sud

No ostacoli

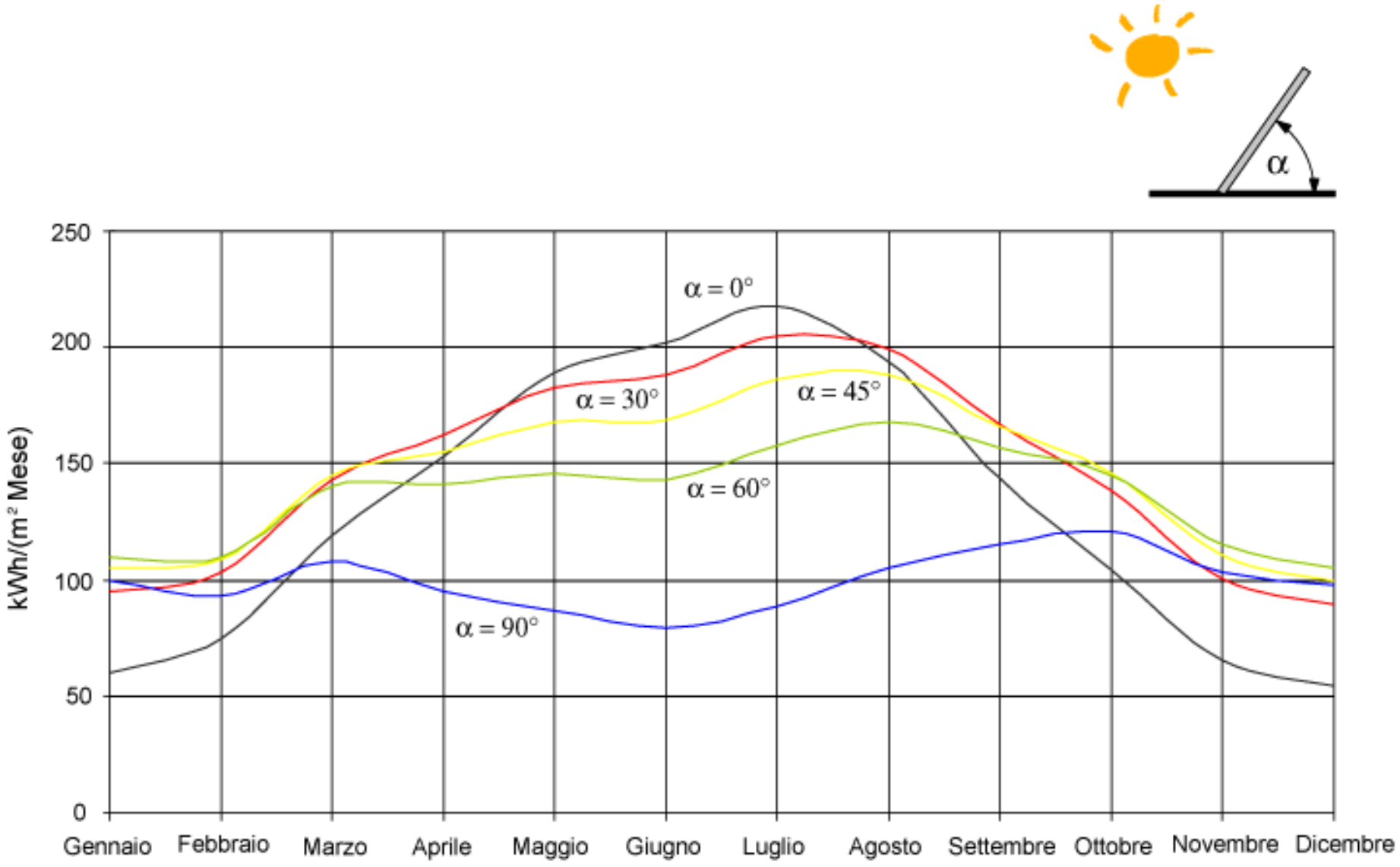
http://www.solaritaly.enea.it/CalcRggmmIncl/Calcola1.php?Lat=44%B024.7%27&Lon=8%B056.0%27

	Radiazione solare media giornaliera mensile		
	Orizzontale [kWh/m^2/gg]	Verticale [kWh/m^2/gg]	Var %
Gennaio	1.33	2.17	-39%
Febbraio	2.13	2.65	-20%
Marzo	3.31	3.01	10%
Aprile	4.63	2.97	56%
Maggio	5.63	2.81	100%
Giugno	6.45	2.82	129%
Luglio	6.73	3.02	123%
Agosto	5.76	3.24	78%
Settembre	4.23	3.31	28%
Ottobre	2.54	2.77	-8%
Novembre	1.46	2.08	-30%
Dicembre	1.08	1.82	-41%
Totale [kWh/m^2]	1381	994	39%



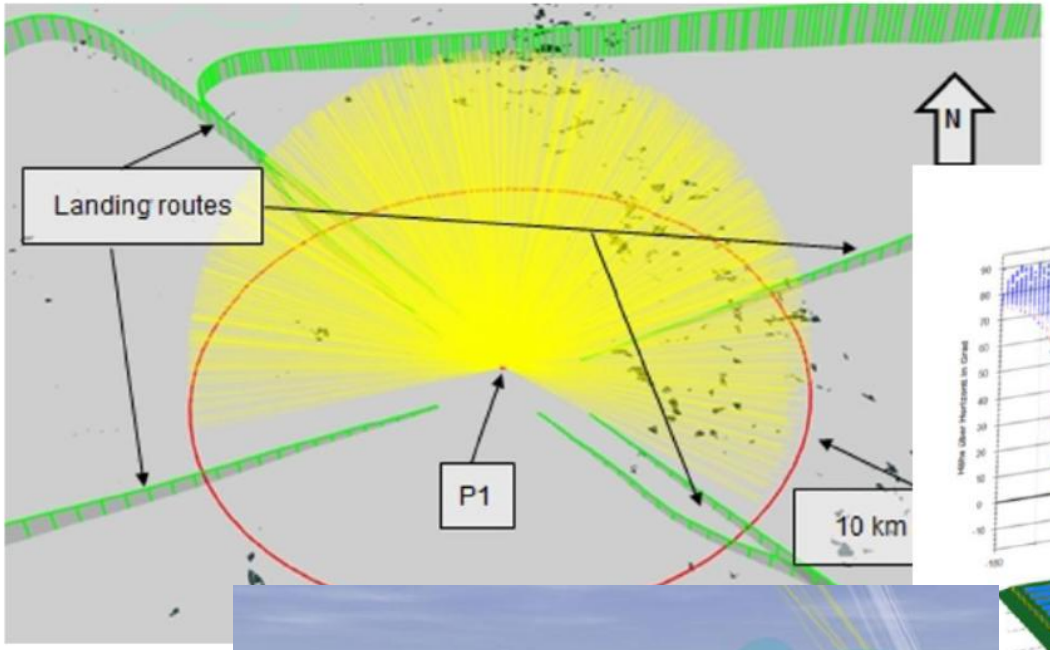


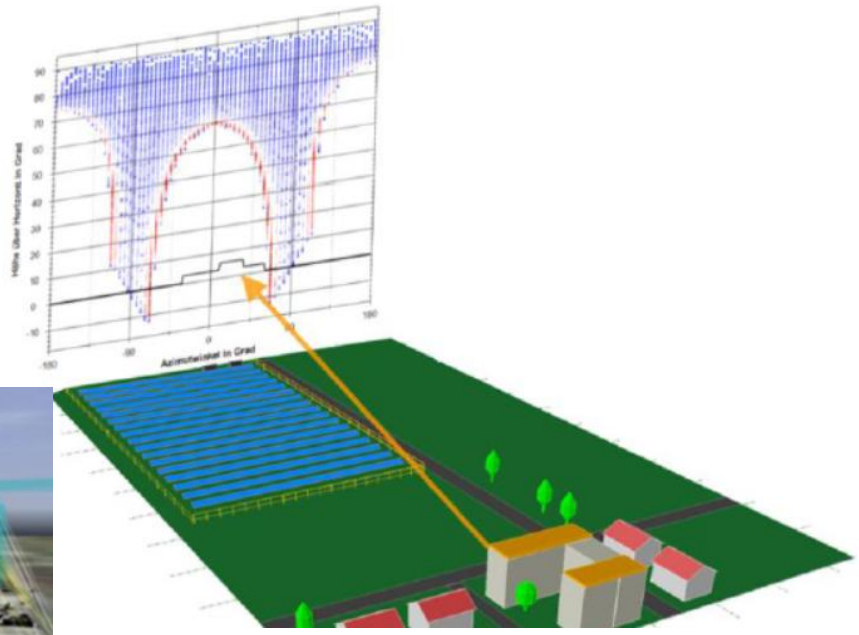
+40% su produzione annuale! Ma quando?

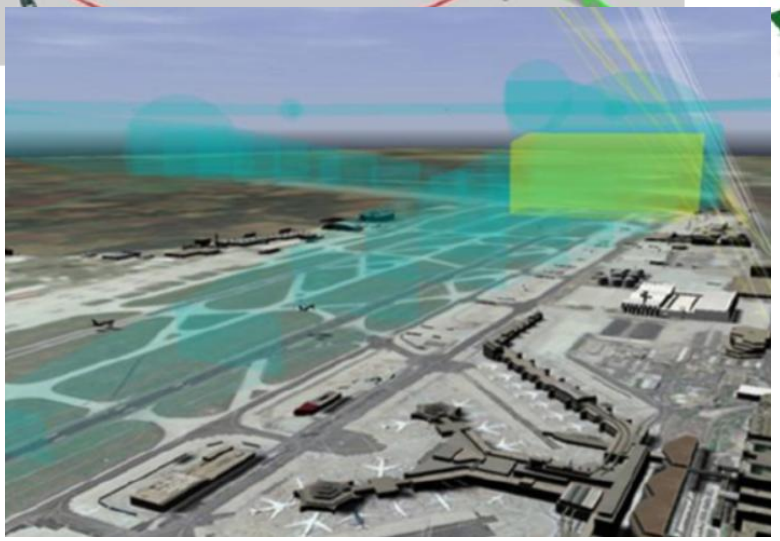

α
250
200
150
100
50
0
kWh/(m² Mese)
α = 0°
α = 30°
α = 45°
α = 60°
α = 90°
Gennaio
Febbraio
Marzo
Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre
Ottobre
Novembre
Dicembre

Avere sempre una visione a 360°…

Pannelli solari e abbagliamento







Pannelli solari e statica

Principali requisiti

Le strutture portanti, ai fini del soddisfacimento dei livelli di prestazione contro l'incendio di cui al DM 9 marzo 2007, dovranno essere verificate e documentate tenendo conto delle variate condizioni dei carichi strutturali sulla copertura, dovute alla presenza del generatore fotovoltaico, anche con riferimento al DM 14-1-2008 «Norme tecniche per le costruzioni»

Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni – CNR-DT 207/2008

L'azione del vento locale sui singoli elementi può arrivare anche a 200 -300 kg/m² come carico di suzione!



Approfondimento: pannelli FV e Prevenzione Incendi – DCPSTAE 14030 - 2025

Attenzione!

NB1 Impianto fotovoltaico a servizio di una attività soggetta a CPI = '*un impianto* ***incorporato*** *nell'attività soggetta, indipendentemente dall'utilizzatore finale*'

Impianto i cui moduli ricadono, anche parzialmente, nel volume delimitato dalla superficie cilindrica verticale avente come generatrice la proiezione in pianta del fabbricato, inclusi aggetti e sporti di gronda

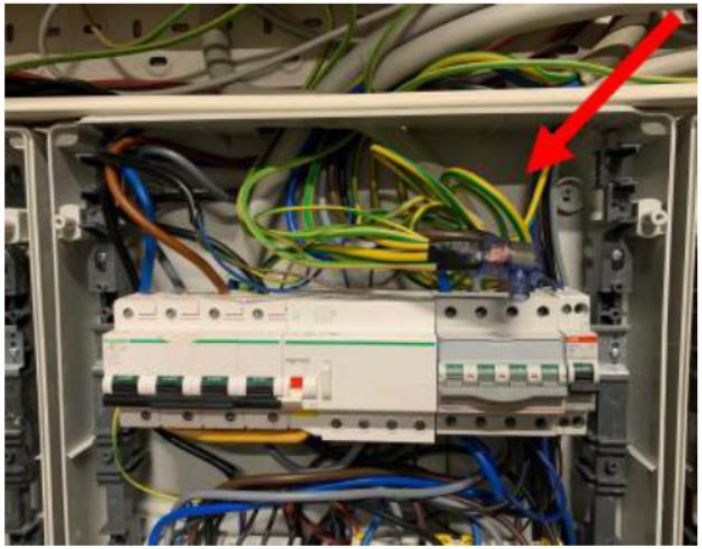





Vigili del Fuoco

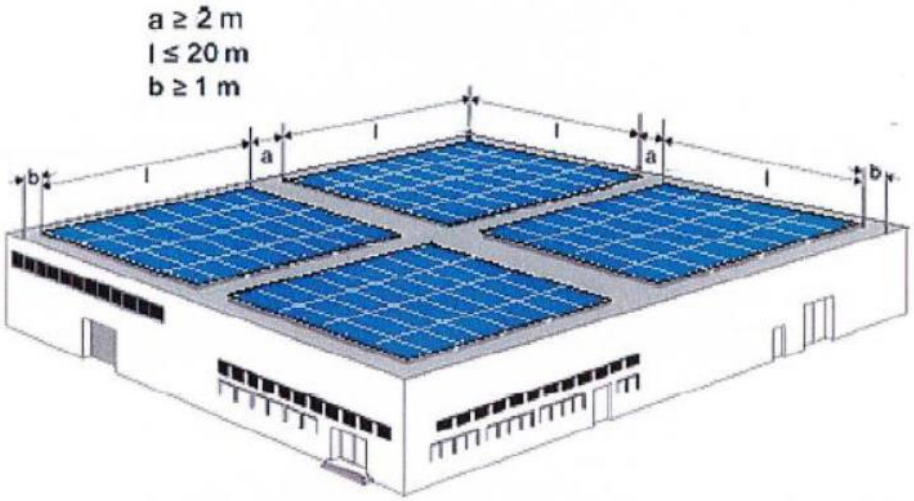


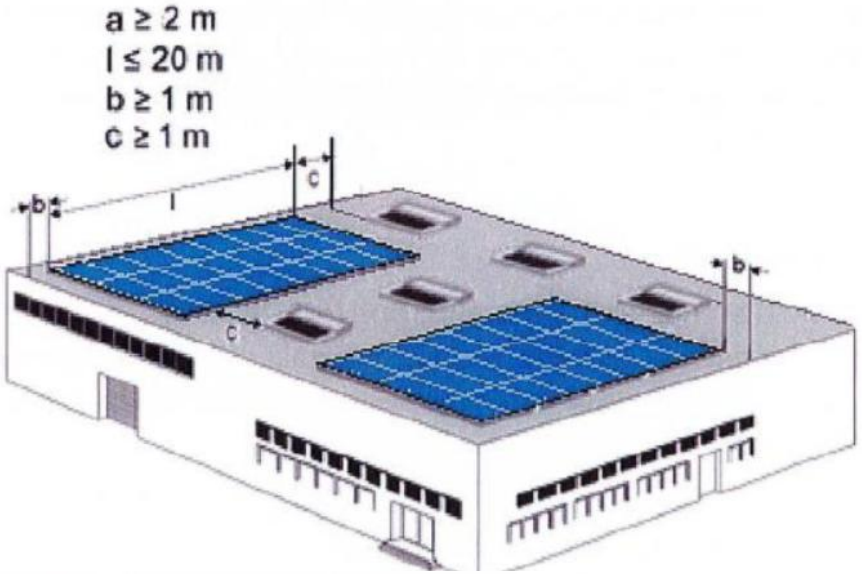






- Accesso agevole





Principali requisiti

- Accesso agevole



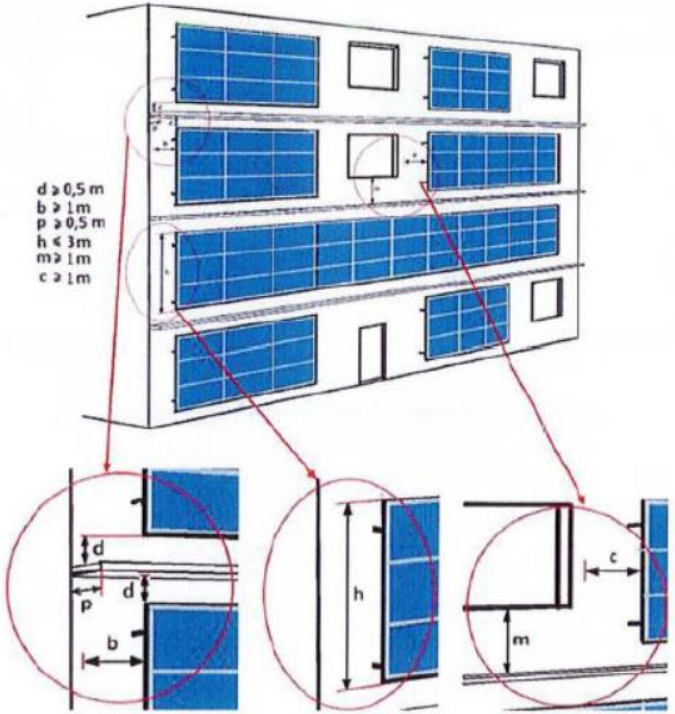


Figura 11 – Esempi di distanziamento sottoinsiemi di pannelli in facciata

Pannelli solari e statica

Pannelli = sovraccarico permanente – compatibilità con struttura sottostante?

Pannelli FV 15-20 kg/m²

Solai in legno 20-50 kg/m² → +50-100% del peso

Solai in laterizio e CA 240-300 kg/m² → +7-8% del peso

Solaio in legno + coppi 80-100 kg/m² → +20-25% del peso

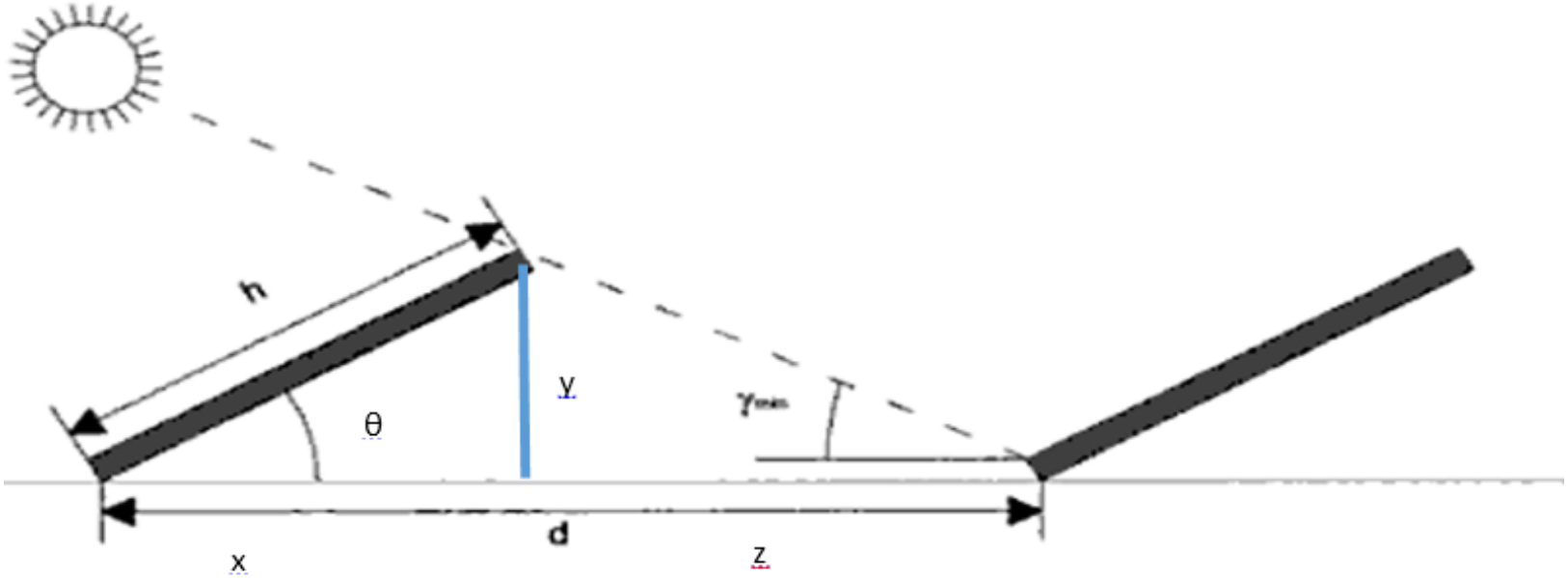
Tettoia in ondulato 25-40 kg/m² → +50-80% del peso

Condizioni meteorologiche

• In una giornata nuvolosa la radiazione è pressoché totalmente diffusa; in una giornata serena con clima secco, viceversa, predomina la componente diretta, che può arrivare fino al 90% della radiazione totale

Radiazione solare	Condizioni atmosferiche							
	Cielo sereno	Nebbia	Nuvoloso	Disco solare giallo	Disco solare bianco	Sole appena percettibile	Nebbia fitta	Cielo coperto
								
globale	1000 W/m^2	600 W/m^2	500 W/m^2	400 W/m^2	300 W/m^2	200 W/m^2	100 W/m^2	50 W/m^2
diretta	90%	50%	70%	50%	40%	0%	0%	0%
diffusa	10%	50%	30%	50%	60%	100%	100%	100%

RICOPRIMENTO RECIPROCO DI COLLETTORI SOLARI



$x = h \cos \theta$

$y = h \sin \theta$

$z = y / tg\ \gamma_{min} = h \sin \theta / tg\ \gamma_{min}$

$d = x + z = h \cos \theta + h \sin \theta / tg\ \gamma_{min}$ divido per d e pongo $s = h/d$ (sfruttamento della superficie orizzontale)

$1 = s \cos \theta + s \sin \theta / tg\ \gamma_{min}$ $\quad 1 - s \cos \theta = s \sin \theta / tg\ \gamma_{min}$

$\gamma_{min} = arctg\ (s \sin \theta / (1 - s \cos \theta))$

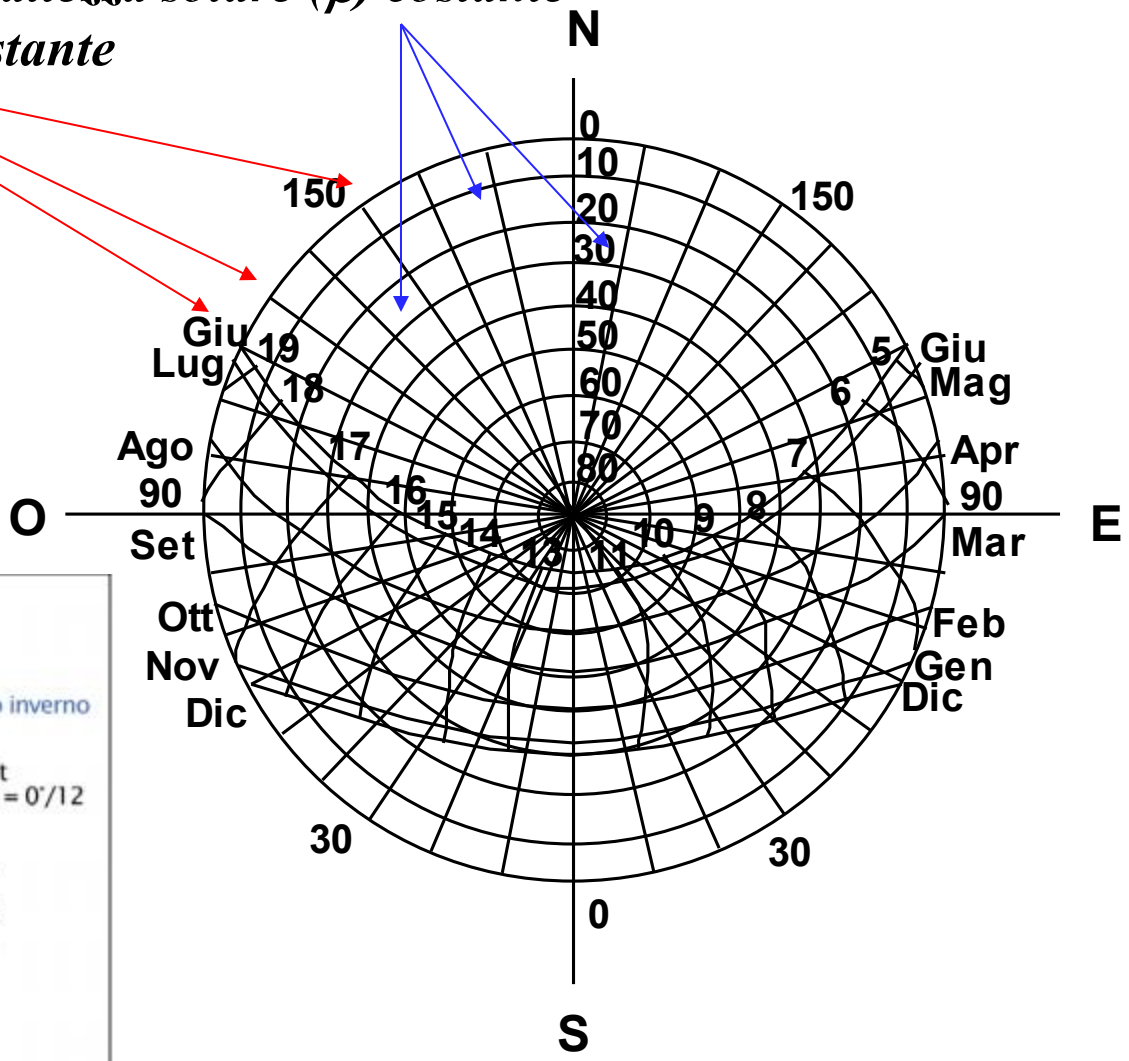
ESEMPIO 1 Per cui se h=2 m e s = 50% $\theta = 45°$ $\gamma_{min} = 28°$ (medio inverno)

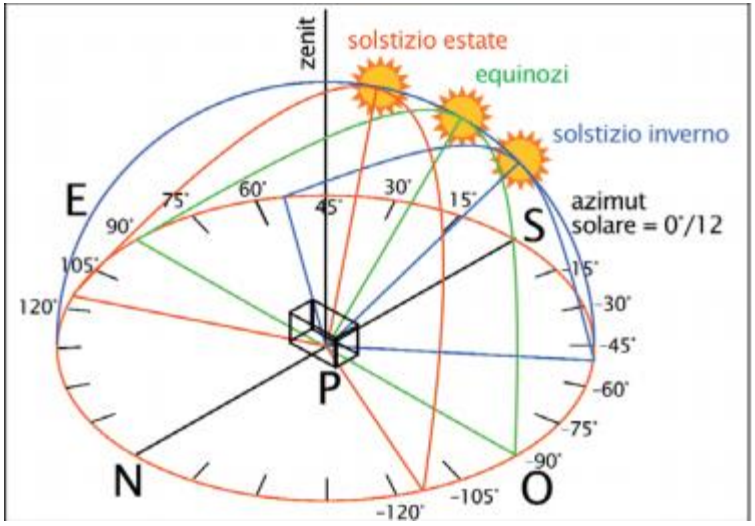
ESEMPIO 2 Se h=2 m $\theta = 45°$ $\gamma_{min} = 45°$ (media annuale alla ns latitudine) d = 2.82 m e s =70 %

DIAGRAMMI POLARI ***determinazione del soleggiamento***

cerchi concentrici => linee ad altezza solare (β) costante

raggi => azimut solare (Ψ) costante





ESEMPIO

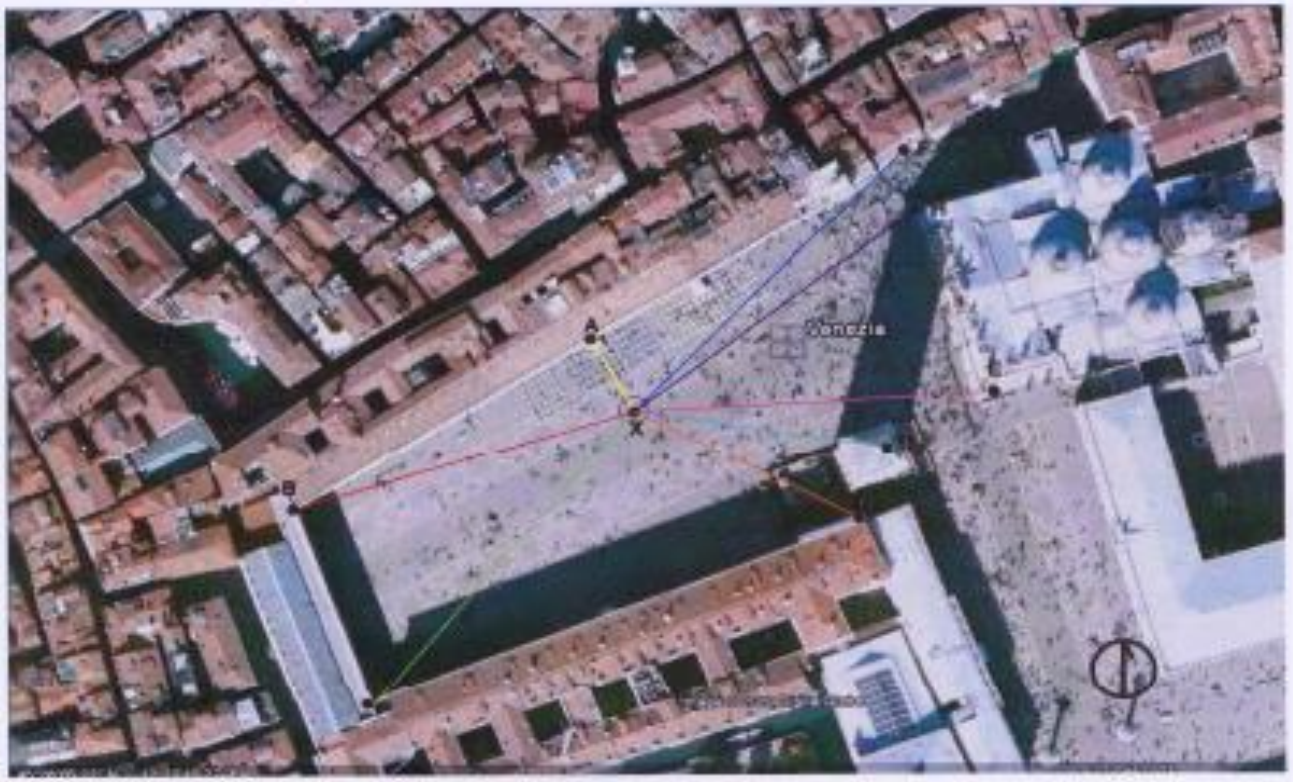
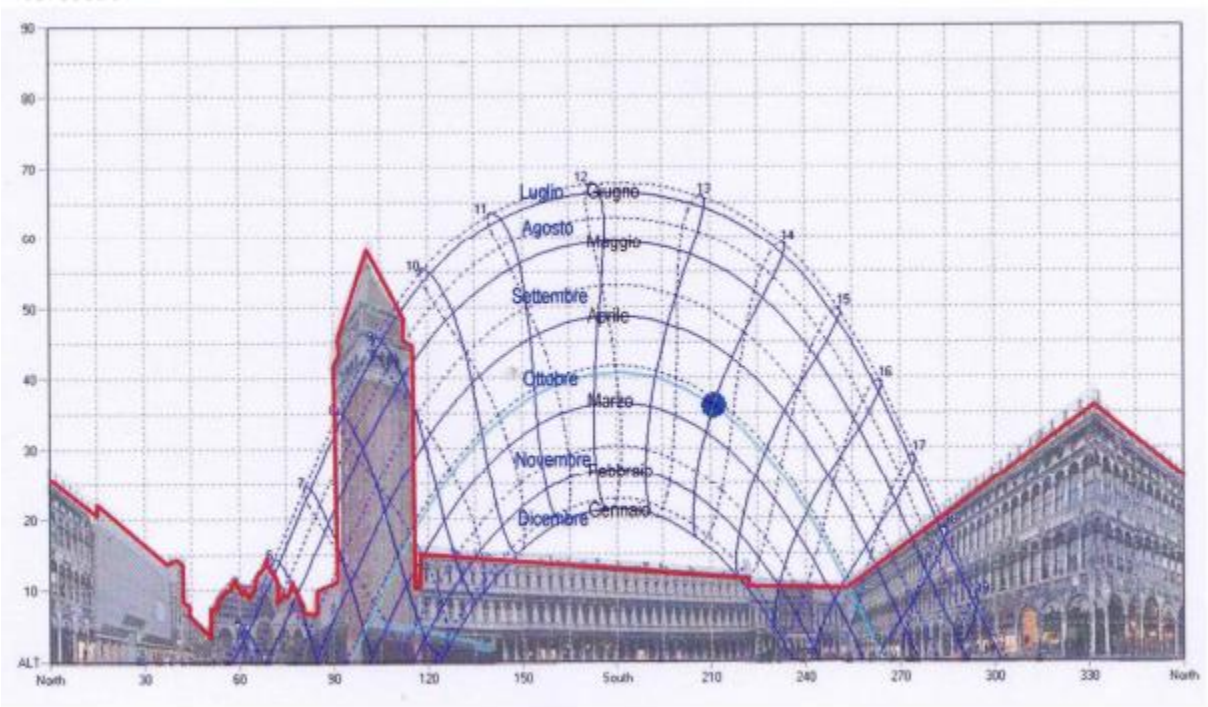


Fig. - Foto aerea di piazza San Marco con i diversi punti considerati

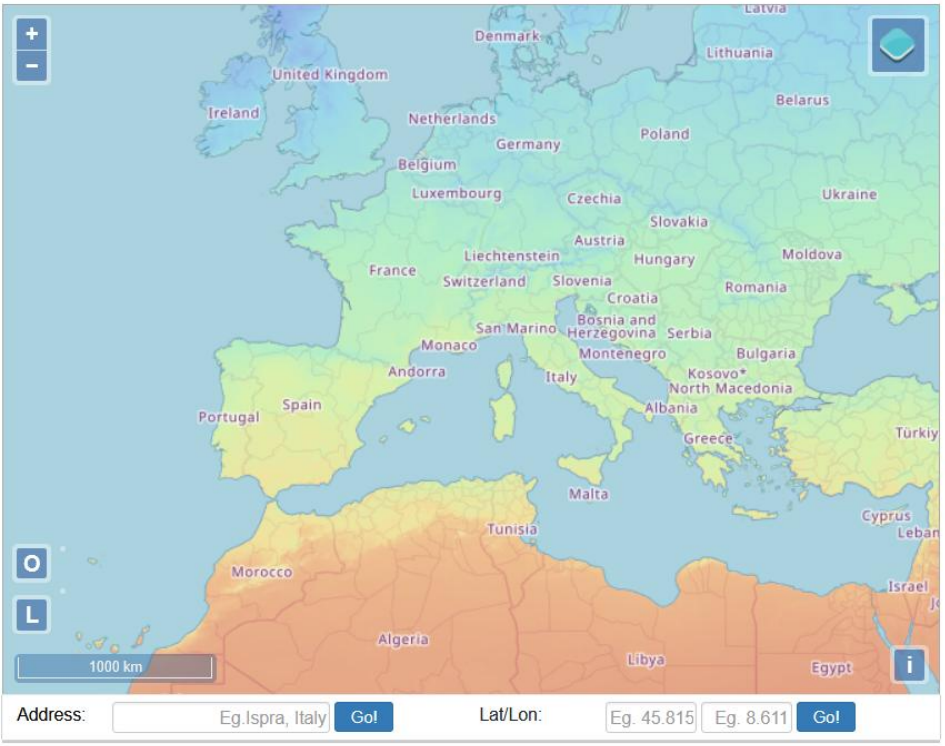
Punto	Distanza da X [m]	angolo azimut [°]	angolo dell'altezza [°]	Altezza [m]
A	22.2	332	36	16.3
B	88.5	253	10	16.3
C	101.4	220	12	21.0
D	62.3	99	58	99.0
E	87.9	87	10	16.3
F	95.3	44	10	16.3
G	61.6	118	15	16.3
H	87.4	52	11	16.3

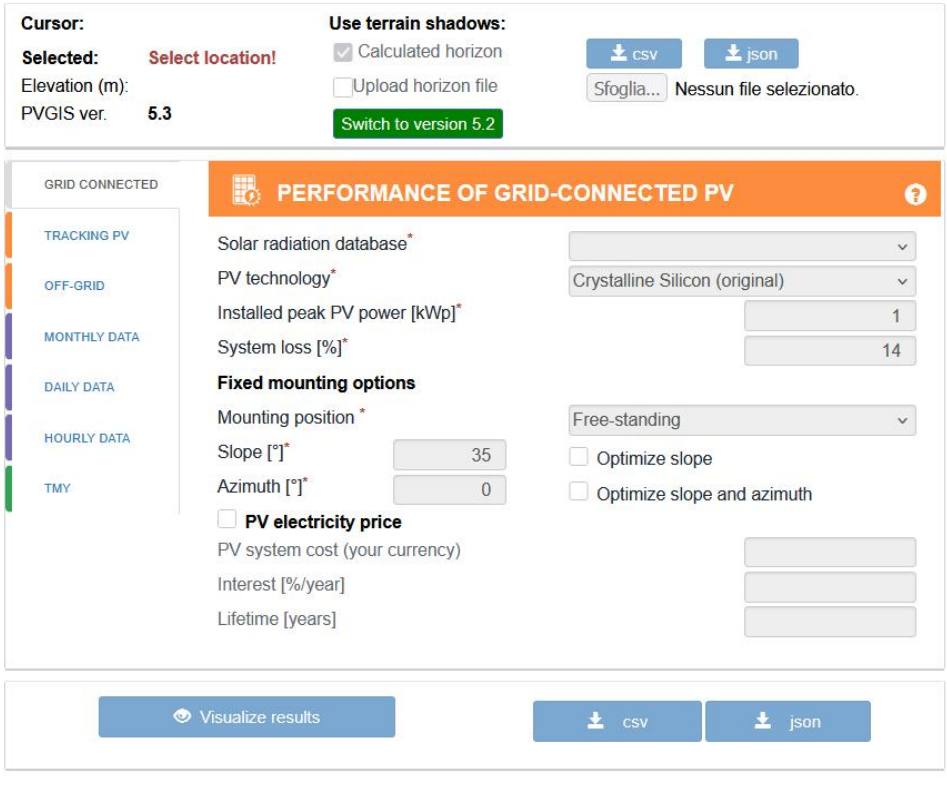
Tab. A - Tabella con le coordinate dei punti considerati

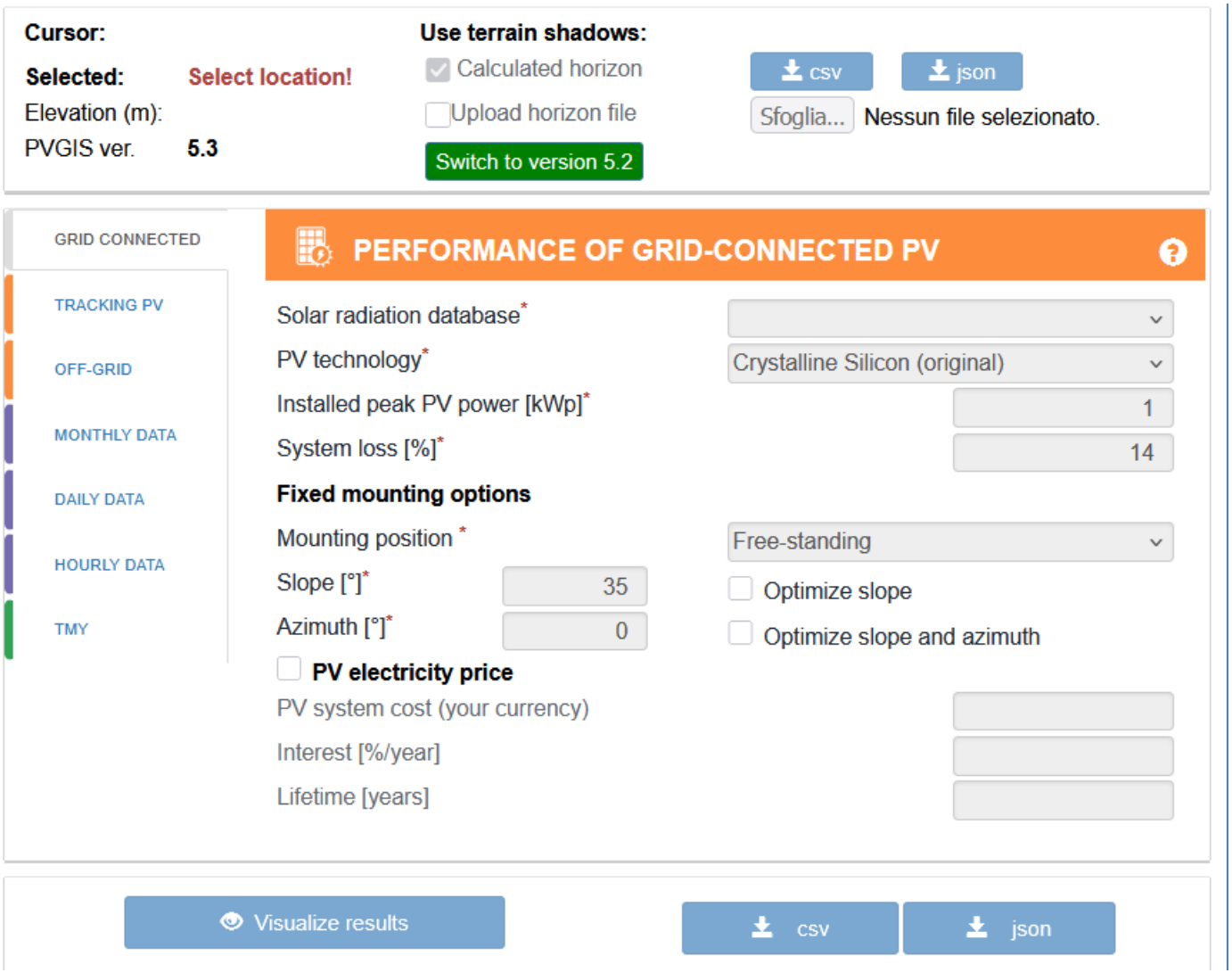

90
80
70
60
50
40
30
20
10
ALT
Luglio
Giugno
Agosto
Maggio
Settembre
Aprile
Ottobre
Marzo
Novembre
Febbraio
Dicembre
Gennaio
11
12
13
14
15
16
17
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
North
30
60
90
120
150
South
210
240
270
300
330
North

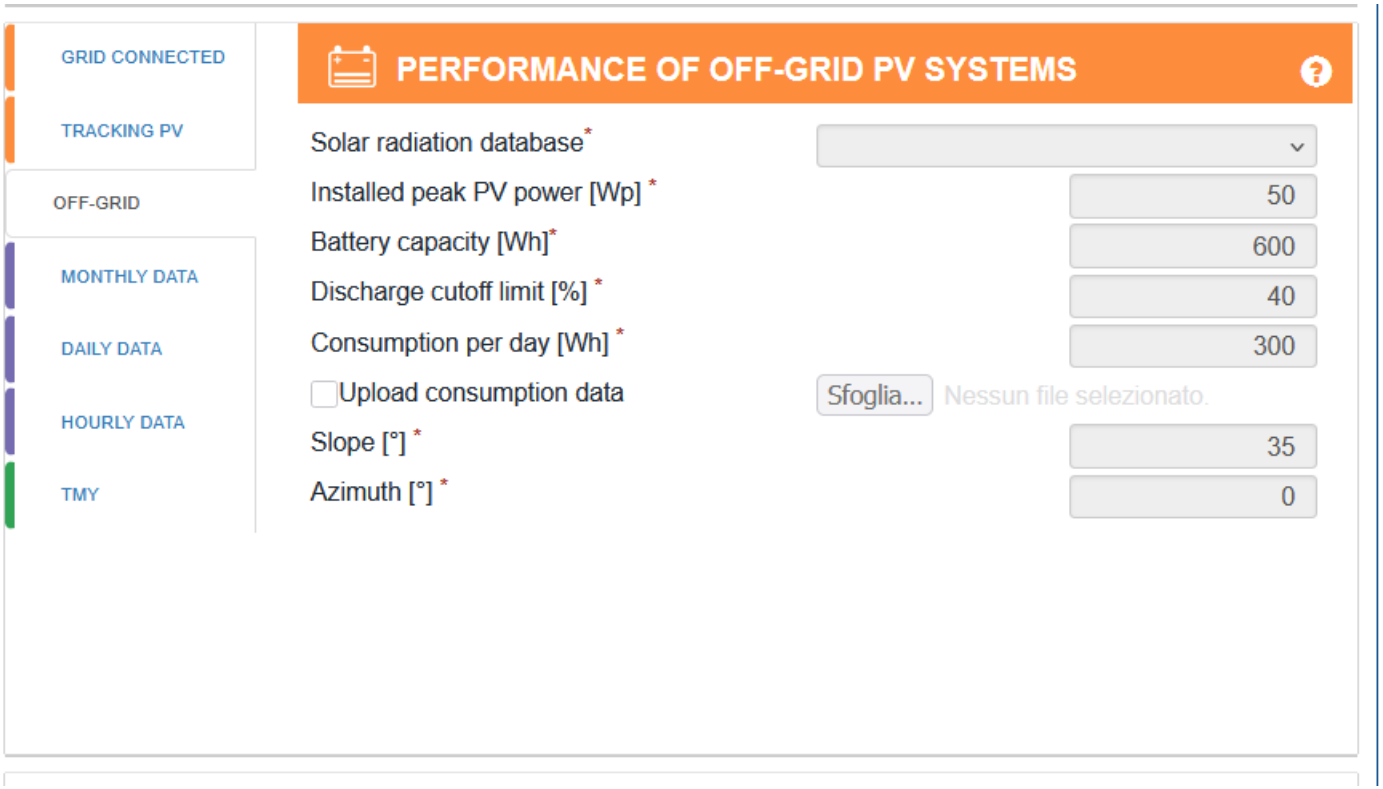
Un sito ufficiale per la stima della producibilità FV (gratis..)

PVGIS
https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html






Cursor:
Selected:
Select location!
Elevation (m):
PVGIS ver.
5.3
Use terrain shadows:
Calculated horizon
Upload horizon file
Switch to version 5.2
csv
json
Sfoglia...
Nessun file selezionato.
GRID CONNECTED
TRACKING PV
OFF-GRID
MONTHLY DATA
DAILY DATA
HOURLY DATA
TMY
PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV
Solar radiation database*
PV technology*
Crystalline Silicon (original)
Installed peak PV power [kWp]*
1
System loss [%]*
14
Fixed mounting options
Mounting position *
Free-standing
Slope [°]*
35
Azimuth [°]*
0
Optimize slope
Optimize slope and azimuth
PV electricity price
PV system cost (your currency)
Interest [%/year]
Lifetime [years]
Visualize results
csv
json


GRID CONNECTED
TRACKING PV
OFF-GRID
MONTHLY DATA
DAILY DATA
HOURLY DATA
TMY
PERFORMANCE OF OFF-GRID PV SYSTEMS
Solar radiation database*
Installed peak PV power [Wp] *
50
Battery capacity [Wh]*
600
Discharge cutoff limit [%] *
40
Consumption per day [Wh] *
300
Upload consumption data
Sfoglia...
Nessun file selezionato.
Slope [°] *
35
Azimuth [°] *
0

SITO ENEA: http://www.solaritaly.enea.it/CalcComune/Calcola.php

ENEA Fonti Rinnovabili

Atlante italiano della radiazione solare

Home | Chi siamo | Archivio | Calcoli | Previsioni | Prodotti | Contatto

Home
Chi siamo
Cosa c'è nel sito

Archivio on line
Calcoli
Previsioni
Prodotti

Documentazione
Strumenti
Collegamenti utili

Informazioni sul sito

Novità
Previsioni orarie r.solare

Contatto

Home > Calcoli

Calcoli

In questa sezione sono messe a disposizione alcune procedure per il *calcolo in linea della radiazione solare per diverse orientazioni della superficie captante.* Per tutte le procedure i dati di input sono costituiti:

- dai valori della *radiazione solare globale, al livello del suolo, su superficie orizzontale,* estratti dalle mappe ricavate dall'ENEA usando immagini satellitari di copertura nuvolosa. Le mappe hanno una risoluzione spaziale di 2.5 km x 2.5 km circa e sono relative alla media quinquennale 1995-1999;
- dalle coordinate geografiche della località per la quale l'utente richiede il calcolo.

Calcoli eseguibili in linea:

1. Radiazione globale giornaliera media mensile (Rggmm), al suolo, su superficie **orizzontale**
   Aprire *questa pagina* per maggiori dettagli.
2. Radiazione globale giornaliera media mensile (Rggmm), al suolo, su superficie **inclinata**
   La procedura si attiene a quanto prescritto dalla Norma UNI 8477/1 recante istruzioni per il *"Calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia. Valutazione dell'energia raggiante ricevuta"*, ma utilizza le mappe di *Rggmm* su piano orizzontale calcolate dall'ENEA; consente – tra l'altro – di valutare anche l'effetto dovuto alla presenza di ostacoli che in determinate ore del giorno possono schermare i raggi del sole [*altri dettagli*].
3. Radiazione globale giornaliera media mensile (Rggmm), al suolo, su superficie **normale**
   Il calcolo è riferito ad una superficie captante che ruota continuamente in modo da mantenersi sempre perpendicolarmente ai raggi del sole. Aprire *questa pagina* per maggiori dettagli.

Radiazione solare globale giornaliera media mensile (Rggmm), su superficie inclinata

Il calcolo è effettuato in corrispondenza di una località assegnata e con riferimento ad una superfice di orientazione nota; coordinate geografiche della località ed angoli che definiscono l'orientazione della superficie ricevente sono scelti dall'utente.

E' possibile richiedere il calcolo per un solo mese oppure il profilo per tutti e dodici i mesi dell'anno.

E' possibile tener conto dell'eventuale presenza di ostacoli (ombreggiamenti dovuti a manufatti vicini, configurazioni particolari del suolo ecc.) che intercettano i raggi *diretti* sole-superficie. In questo caso - poichè il sole si sposta durante il giorno e la posizione degli ostacoli può essere tale da fermare i raggi solari *diretti* in alcune ore e non in altre - occorre indicare gli intervalli orari in cui essi sono effettivamente intercettati. Tali intervalli vanno riferiti al giorno medio mensile e ovviamente differiscono a seconda del mese considerato.

La procedura si attiene a quanto prescritto dalla Norma **UNI 8477/1** recante istruzioni per il *"Calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia. Valutazione dell'energia raggiante ricevuta"*; però il dato della *Rggmm* **su piano orizzontale**, che occorre conoscere preventivamente per poter effettuare il calcolo, non è preso dalla Norma **UNI 10349**, che lo riporta per i soli capoluoghi provinciali, bensì estratto dalle mappe ricavate dall'ENEA. Tali mappe esprimono la *Rggmm* su piano orizzontale, con una risoluzione spaziale di 2.5 km x 2.5 km circa, e sono stimate a partire dalle immagini satellitari di copertura nuvolosa acquisite dall'ente europeo EUMETSAT; sono pubblicate sul sito dell'Archivio Climatico dell'ENEA, dove pure sono riportati i valori medi mensili per circa 1600 località italiane. Le mappe utilizzate per il calcolo sono relative alla media quinquennale 1995-1999.

Radiazione solare globale giornaliera media mensile su superficie inclinata

Media quinquennale 1995÷1999

Input per il calcolo:

*Leggere prima le brevi **istruzioni** per l'immissione dei dati.*
*C'è anche la pagina delle **definizioni** delle grandezze coinvolte nel calcolo*

Posizione della località:
Latitudine (esempio: 42°02'36"): Longitudine (esempio: 12°18'28"):

Trova le coordinate con Google Maps

Angoli che definiscono la posizione della superficie ricevente:
Azimut (esempio: -10°00'00"):
Inclinazione rispetto al piano orizzontale (esempio: 30°00'00"):

Modello per il calcolo della frazione della radiazione diffusa rispetto alla globale:

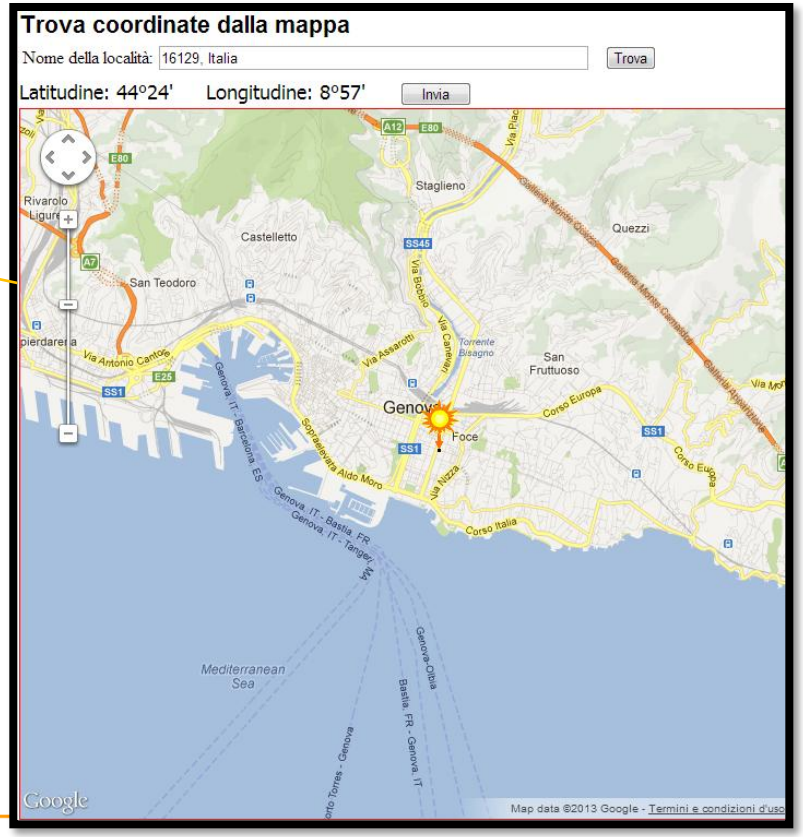
- (•) ENEA-SOLTERM
- ( ) UNI 8477
- ( ) Iqbal

Coefficiente di riflessione del suolo (0÷1; esempio: 0.25):

Unità di misura per la R.g.g.m.m.: kWh/m2

Effettuare il calcolo per: tutti i mesi

Calcola



Radiazione solare globale giornaliera media mensile su superficie inclinata

Media quinquennale 1995÷1999

Dati già immessi:

- Latitudine: 44°24.2'; longitudine: 8°56.8'
- Azimut: 0°00'00"
- Inclinazione rispetto al piano orizzontale: 30°00'00"
- Modello per il calcolo della frazione della radiazione diffusa rispe
- Coefficiente di riflessione del suolo: 0.25
- Unità di misura: kWh/m2
- Calcolo per tutti i mesi

Completare i dati di input indicando mese per mese l'eventuale pr
casi di ostacolo 'Presente' - indicare pure gli istanti iniziale e finale
sole e la superficie:

[Formato dell'ora] [Nota]

Mese	Assente	Presente	Presente tutto il giorno	Ora di inizi
Gennaio	◉	○	○	
Febbraio	◉	○	○	
Marzo	◉	○	○	
Aprile	◉	○	○	
Maggio	◉	○	○	
Giugno	◉	○	○	
Luglio	◉	○	○	
Agosto	◉	○	○	
Settembre	◉	○	○	
Ottobre	◉	○	○	
Novembre	◉	○	○	
Dicembre	◉	○	○	

Calcola

Radiazione solare globale giornaliera media mensile su superficie inclinata

Media quinquennale 1995÷1999

Dati di input:

- Latitudine: 44°24.2'; longitudine: 8°56.8'
- Azimut: 0°00'00"
- Inclinazione rispetto al piano orizzontale: 30°00'00"
- Modello per il calcolo della frazione della radiazione diffusa rispetto alla globale: ENEA-SOLTERM
- Coefficiente di riflessione del suolo: 0.25
- Unità di misura: kWh/m2
- Calcolo per tutti i mesi

Risultato:

Mese	Ostacolo	Rggmm su sup.incl.		Errore
Gennaio	assente	2.69	kWh/m2	
Febbraio	assente	3.22	kWh/m2	
Marzo	assente	4.63	kWh/m2	
Aprile	assente	4.98	kWh/m2	
Maggio	assente	5.43	kWh/m2	
Giugno	assente	5.94	kWh/m2	
Luglio	assente	5.96	kWh/m2	
Agosto	assente	5.41	kWh/m2	
Settembre	assente	4.60	kWh/m2	
Ottobre	assente	3.39	kWh/m2	
Novembre	assente	2.61	kWh/m2	
Dicembre	assente	2.00	kWh/m2	

Radiazione globale annua sulla superficie inclinata: 1550 kWh/m2
(anno convenzionale di 365.25 giorni)

COLLETTORE SOLARE PIANO

Collettore solare



a

Collettore solare scoperto



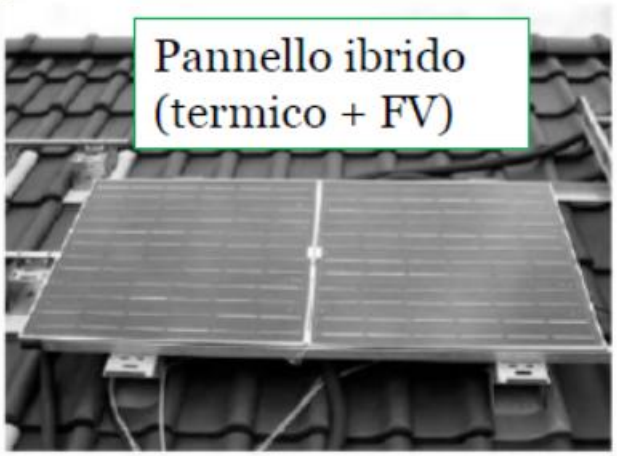
b

Pannello FV



c

Pannello ibrido (termico + FV)



d

CLASSIFICAZIONE DELLE TECNOLOGIE

Distinzioni per:

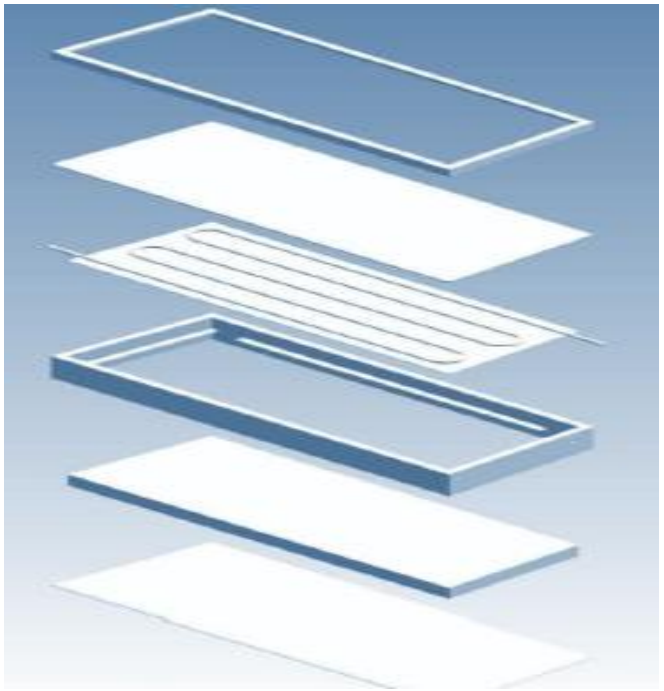
TECNOLOGIA UTILIZZATA:

circolazione **NATURALE** vs. circolazione **FORZATA**;

APPLICAZIONI :

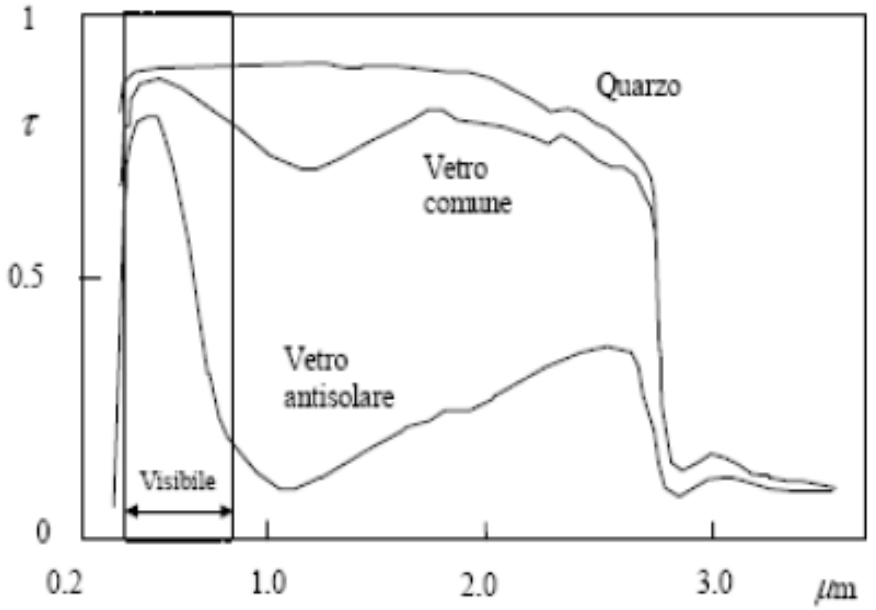
ACS		**IMPIANTO COMBINATO**
produzione di acqua calda sanitaria	vs.	produzione di ACS riscaldamento di ambienti

Il tipo di collettore più comune è il **pannello piano** costituito da: piastra assorbente, condotti percorsi dal fluido termovettore, lastra di copertura trasparente (può essere assente), isolamento termico posteriore e laterale, struttura di supporto e contenimento.



Il collettore solare è un dispositivo capace di convertire la **radiazione solare in energia termica**.

In esso si sfrutta il cosiddetto **effetto serra**: la radiazione solare (di bassa lunghezza d'onda $\lambda < 3\ \mu$) passa attraverso il vetro mentre la radiazione termica emessa dalla piastra captatrice (di alta lunghezza d'onda cioè con $\lambda > 3\ \mu$) resta bloccata dalla lastra di vetro.



Valori della trasmittanza in funzione della lunghezza d'onda della radiazione

TIPI DI COLLETTORI IN COMMERCIO:

- COLLETTORI PIANI:
  - senza concentratore
  - con concentratore





- COLLETTORI AD ARIA



- COLLETTORI SOTTOVUOTO



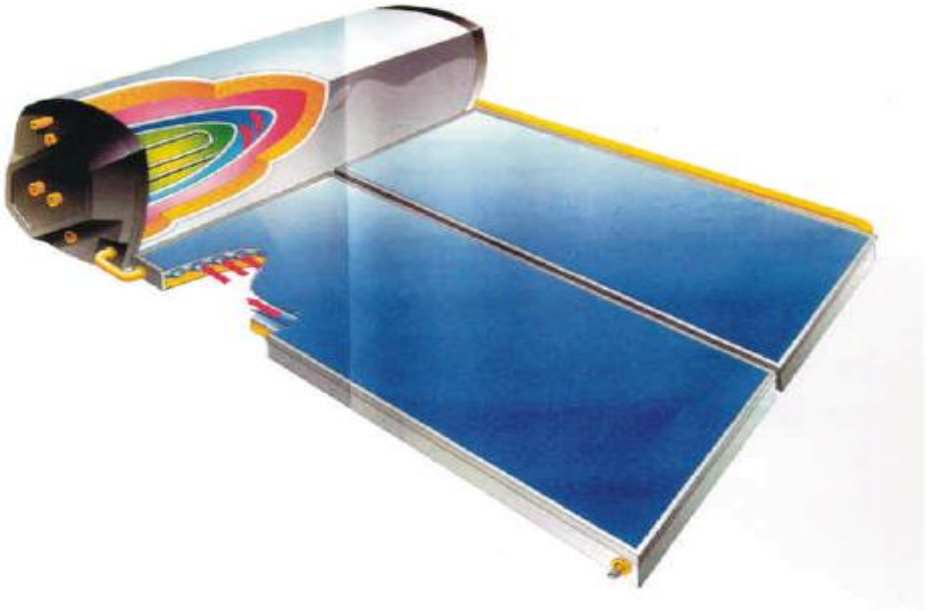
- COLLETTORI NON VETRATI



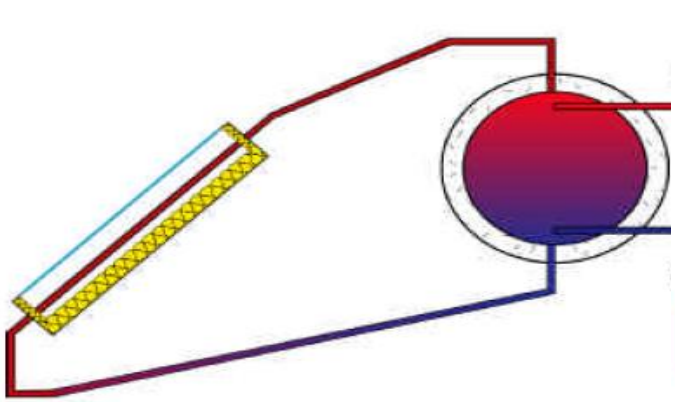
- COLLETTORI A CONCENTRAZIONE

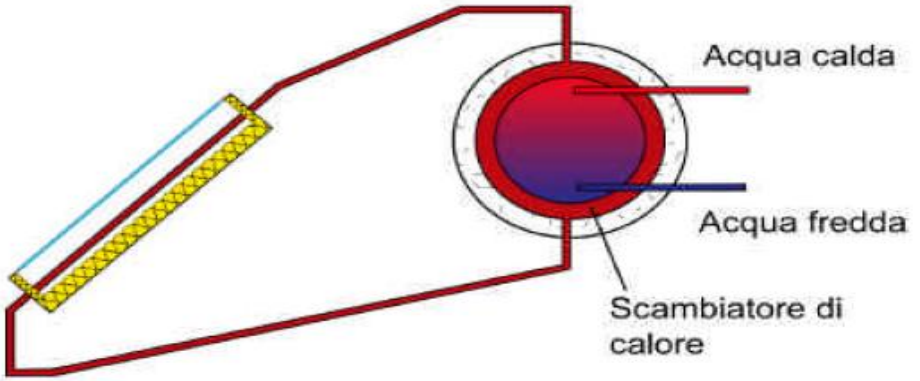
Impianto a circolazione naturale





Impianto a circolazione naturale





Impianto a un circuito

Impianto a doppio circuito

il fluido riscaldato, in quanto più leggero, risale verso l'alto, dove è presente il serbatoio di accumulo integrato al pannello

PANNELLI A CIRCOLAZIONE NATURALE

VANTAGGI:

1. prezzo contenuto
2. semplicità d'installazione
3. manutenzione limitata
4. nessun consumo per la regolazione del fluido (pompa e centralina)

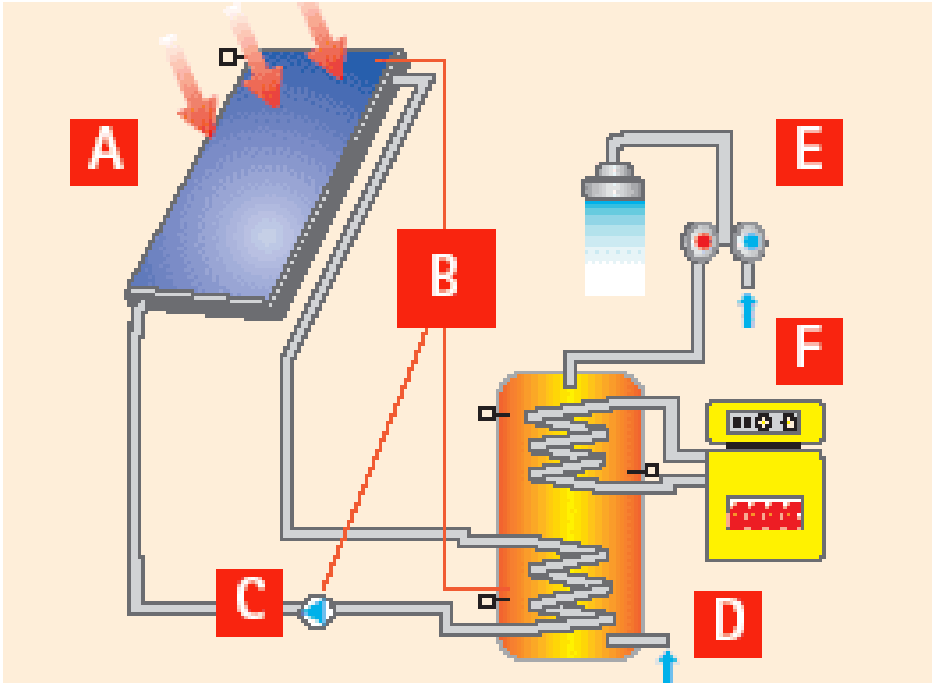
SVANTAGGI:

1. possibilità di congelamento dei tubi idrici sovratetto
2. esposizione del bollitore alle temperature esterne
3. peggior impatto visivo
4. lentezza della circolazione soprattutto con scarso irraggiamento



IMPIANTI A CIRCOLAZIONE FORZATA





IMPIANTI A CIRCOLAZIONE FORZATA

Circolazione forzata → necessaria se non possibile collocare il serbatoio in posizione sopraelevata rispetto al collettore.

In tal caso, l'ottimale **circolazione del fluido termovettore risulta essere esattamente opposta a quella che si creerebbe naturalmente** (in assenza di appositi dispositivi, il fluido caldo rimarrebbe in alto, nel collettore, mentre il fluido freddo stazionerebbe in basso, nei pressi del serbatoio d'accumulo).

Dispositivi aggiuntivi:

- **CIRCOLATORE** (dal serbatoio, collocato in basso, al collettore, collocato in alto)

- **VALVOLA DI NON RITORNO** che non permetta, in nessun caso, l'inversione della circolazione

- **CENTRALINA DI CONTROLLO**, corredata da appositi sensori della temperatura, che intervenga in maniera automatica sul circolatore al fine di regolare la circolazione del fluido termovettore ottimizzando il rendimento del sistema.

.

PANNELLI A CIRCOLAZIONE FORZATA

ACCUMULO : Si può installare dunque in un vano tecnico (solitamente in centrale termica) = meno dispersioni

SOLE → la **temperatura del fluido > temperatura del bollitore**

la centralina dà l'impulso alla pompa che mette in circolo il fluido termovettore trasferendo il calore dai collettori all'acqua nel bollitore;dopo una giornata soleggiata il boiler, avendo accumulato l'energia captata, è caldo. Se il soleggiamento è insufficiente si alternano periodi di funzionamento e pausa della pompa proporzionalmente alla potenza dell'irraggiamento;

TRAMONTO → temperatura del fluido < temperatura del bollitore

fluido all'uscita dei collettori si raffredda e la pompa si ferma. L'acqua calda contenuta nel boiler rimane in temperatura disponibile all'utenza per alcuni giorni.

Solitamente bollitore a **doppio scambiatore**: **solare sotto + integrazione (es. altre rinnovabili e/o caldaia più in alto secondo gerarchia) → effetto stratificazione acqua**

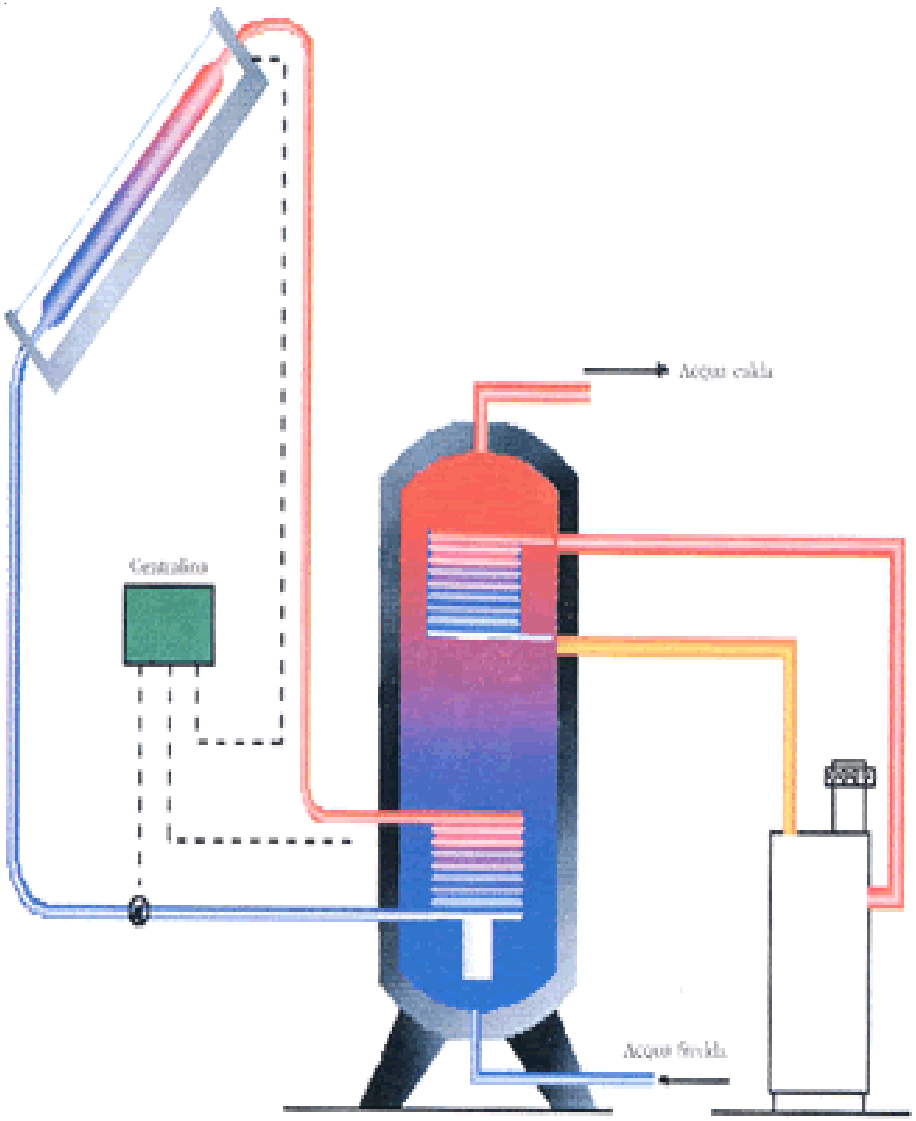
PANNELLI A CIRCOLAZIONE FORZATA

VANTAGGI

1. bollitore non esposto alle temperature esterne
2. tubazioni idriche e circuito primario senza percorsi sovratetto
3. integrazione architettonica ottimale
4. rapidità della circolazione del fluido anche con scarso irraggiamento
5. manutenzione limitata
6. notevole risparmio economico se il sistema è "pensato" in fase di progettazione dell'edificio

SVANTAGGI

1. spesa iniziale leggermente più onerosa
2. installazione più complessa nel retrofit
3. minimo consumo elettrico di pompa di circolazione (max 50W quando in funzione) centralina (3W a regime)



IMPIANTI PER LA PRODUZIONE DI ACS

Copertura del fabbisogno di ogni mese → impossibile o sottodimensiono o sovradimensiono: target di progetto: soddisfare il 100% del fabbisogno di ACS nei mesi estivi e il 40-80% del fabbisogno totale annuo. Nei mesi poco soleggiati è necessaria l'integrazione di una caldaia o di un integratore elettrico per portare l'acqua, parzialmente scaldata dal sistema solare, alla temperatura desiderata.

IMPIANTI COMBINATI (ACS + riscaldamento)

È composto, generalmente, da un insieme di pannelli solari, una caldaia tradizionale, un boiler per ACS ed un accumulatore. Il sistema è poi regolato da una centralina di smistamento e controllo.

EFFICIENZA DEI COLLETTORI PIANI

La funzione essenziale di un collettore è quella di trasformare l'energia radiante del sole in energia termica; il **bilancio termico** è il seguente:

$$I_b A_c (ta) = Q_a = Q_u + Q_p + Q_{acc}$$

$\mathbf{I_b}$ è l'intensità della radiazione solare globale incidente sul piano del collettore (W / m²).

$\mathbf{A_c}$ è l'area del collettore (m²).

(ta) è chiamato prodotto effettivo trasmissività-assorbimento.

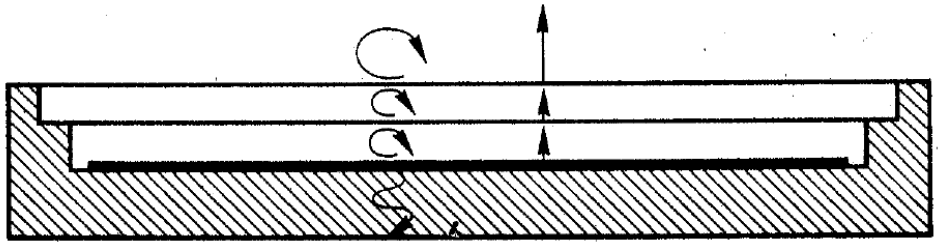
$\mathbf{Q_a}$ è la potenza termica assorbita dalla piastra (W).

$\mathbf{Q_u}$ è la potenza termica utile trasferita al fluido termovettore (W).

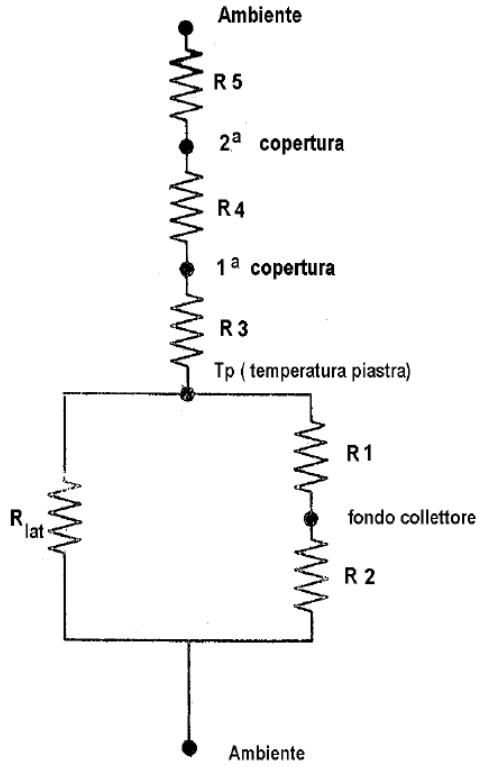
$\mathbf{Q_p}$ è la potenza perduta dal collettore verso l'esterno (W).

$\mathbf{Q_{acc}}$ è l'energia termica accumulata dal collettore nell'unità di tempo (W), nulla in condizioni di regime stazionario.

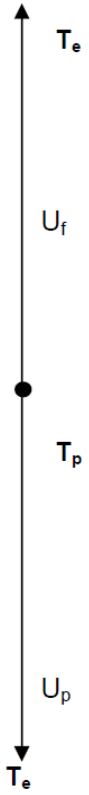
Potenza termica dispersa



Schema di collettore solare piano con 2 coperture trasparenti



Schema delle resistenze termiche



Il disperdimento del collettore può essere espresso introducendo due coefficienti:
uno che tiene conto della resistenza termica posteriore (U_p) ed uno che tiene conto
delle resistenze termiche frontali (U_f).

In alcuni casi si preferisce esprimere l'efficienza in funzione della temperatura media (t_m) del fluido tra l'ingresso e l'uscita di ingresso per cui la (7.14) assume la seguente forma:

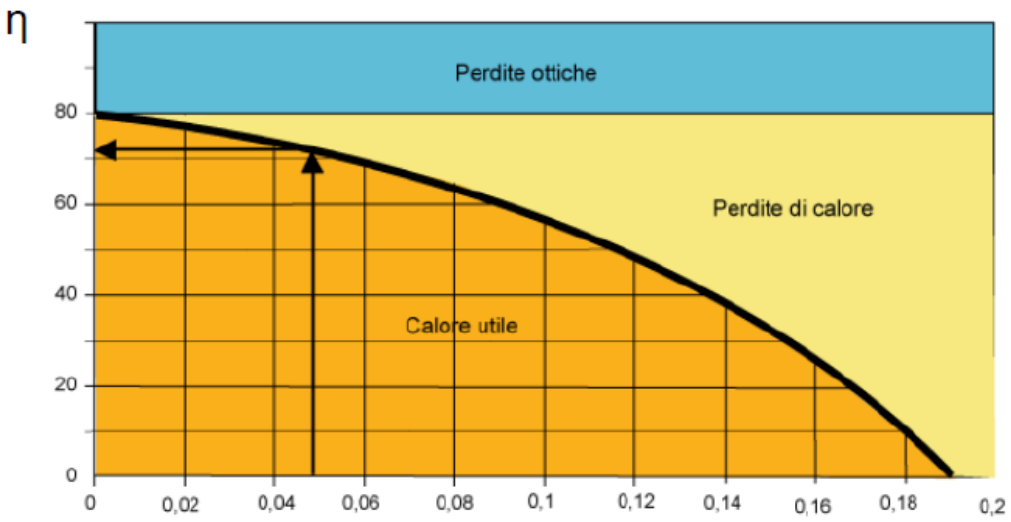
$$\Phi_u = A_c F'[q_a - U_c(t_m - t_e)] \qquad (7.15)$$

ove F' dipende in modo abbastanza complesso dalla portata e dal calore specifico del fluido termovettore.

Riferendoci alla (7.15) l'efficienza può essere così riscritta:

$$\eta = F'(\tau\alpha)_e - \frac{F'U_c(t_m - t_e)}{I_\beta} \qquad (7.16)$$

In fig. 7.9 si riporta un tipico andamento di η in funzione del parametro $F'U_c\,(t_m\text{-}t_e)/I_\beta$.



La curva sperimentale di efficienza è ottenuta con angoli di incidenza prossimi alla normale.

Nella maggior parte dei casi, il costruttore del collettore solare fornisce le prestazioni in termini di efficienza tramite un polinomio di secondo grado del tipo:

$$\eta = c_0 - c_1 \cdot x - c_2 \cdot x^2$$

ove: c_0, c_1 e c_2 sono dati forniti dal costruttore e $x = (t_m - t_e)/I_\beta$.

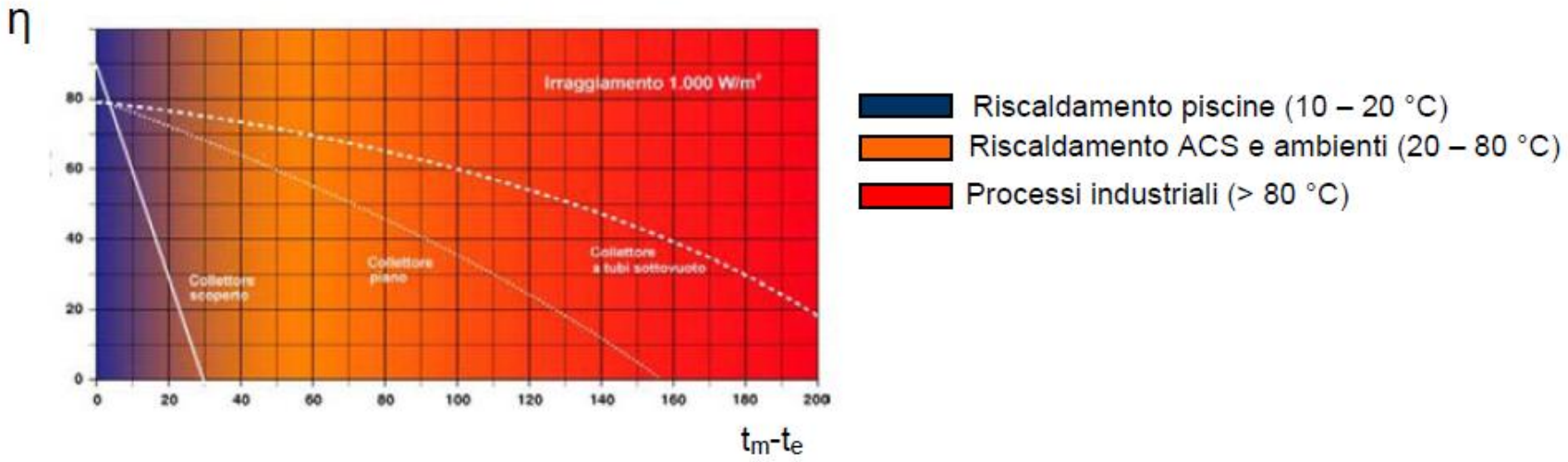


Fig. 7.10 Rendimenti di diversi tipi di collettori

Solitamente la portata di fluido termovettore è di 30 – 50 l/(h m^2).

Pregi e difetti del collettore piano

Pregi:
- è affidabile e richiede scarsa manutenzione;
- Il rapporto costo/prestazioni è buono.
- presenta facilità di assemblaggio e costi di installazione contenuti.
- offre diverse possibilità di montaggio (ancoraggio sul tetto, integrazione nel tetto, montaggio su facciata ed installazione a terra).

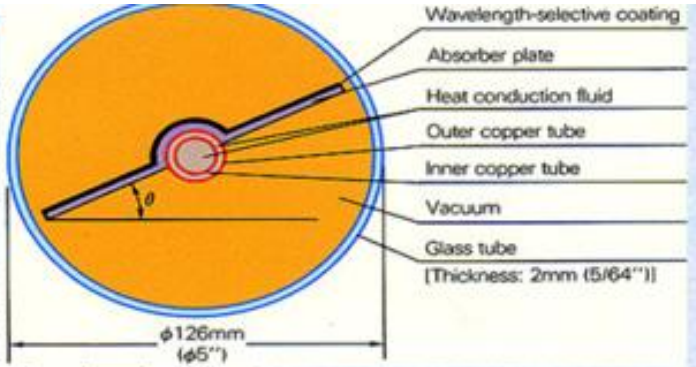
Difetti :
- non è adatto per la produzione di calore a temperature elevate (ad es. generazione di vapore, fornitura di calore a macchine frigorifere ad assorbimento).
- è necessario un sistema di supporto per il montaggio su tetti piani (con ancoraggio o contrappesi).
- necessita di pulizia del vetro in posizioni spesso non accessibili

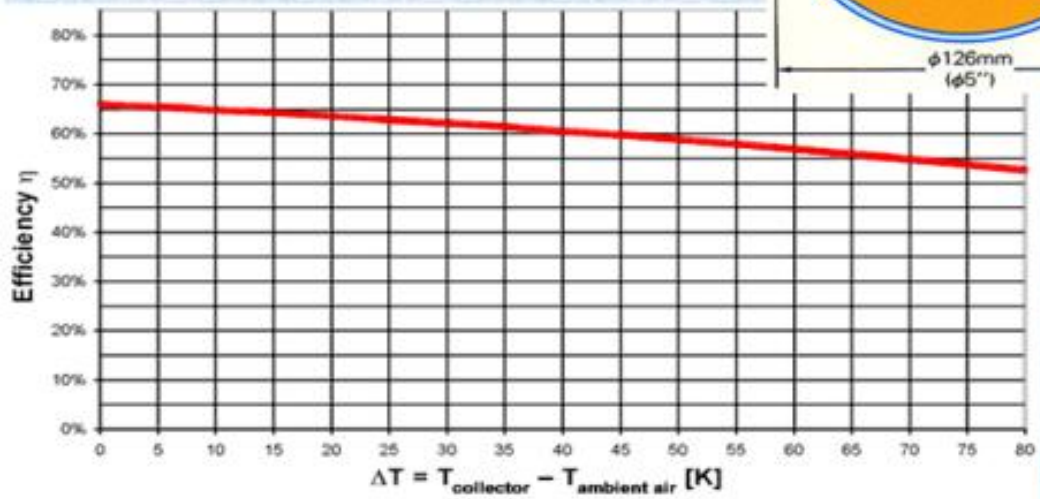
Collettori sottovuoto

Tubi sottovuoto in vetro, con un assorbitore ciascuno (generalmente una lastra di metallo nero) → costo maggiore, maggiore efficienza

Perdite di calore molto basse → incrementi di temperatura notevoli al di sopra della Tamb (anche 100°C) → maggiormente compatibili anche con sistemi di riscaldamento (a bassa temperatura)







Tubo coassiale alettato in rame, con alettatura piana a rivestimento selettivo

COLLETTORI SOLARI NON VETRATI

Sono costituiti da tubi o strisce di materiale plastico opaco e scuro o gomme speciali, per consentire il massimo assorbimento della radiazione.
Le principali caratteristiche di tali pannelli sono:

- I **rendimenti medi** di tali collettori sono significativamente **molto più bassi** di quelli relativi ai collettori vetrati
- La **vita media** normalmente **si dimezza**
- I **costi** sono **estremamente modesti** (circa il 20% di quelli vetrati)

Tali caratteristiche possono giustificarne l'installazione in casi particolari:

- Fabbisogni **estremamente elevati** che richiederebbero enormi investimenti per pannelli vetrati (Piscine)
- **Usi periodici** (case vacanze)

COLLETTORI SOLARI NON VETRATI

- Basso costo
- Bassa temperatura
- Robusto
- Leggeri
- Riscaldamento piscine stagionale
- Bassa pressione
- Basso rendimento in climi caldi e ventosi

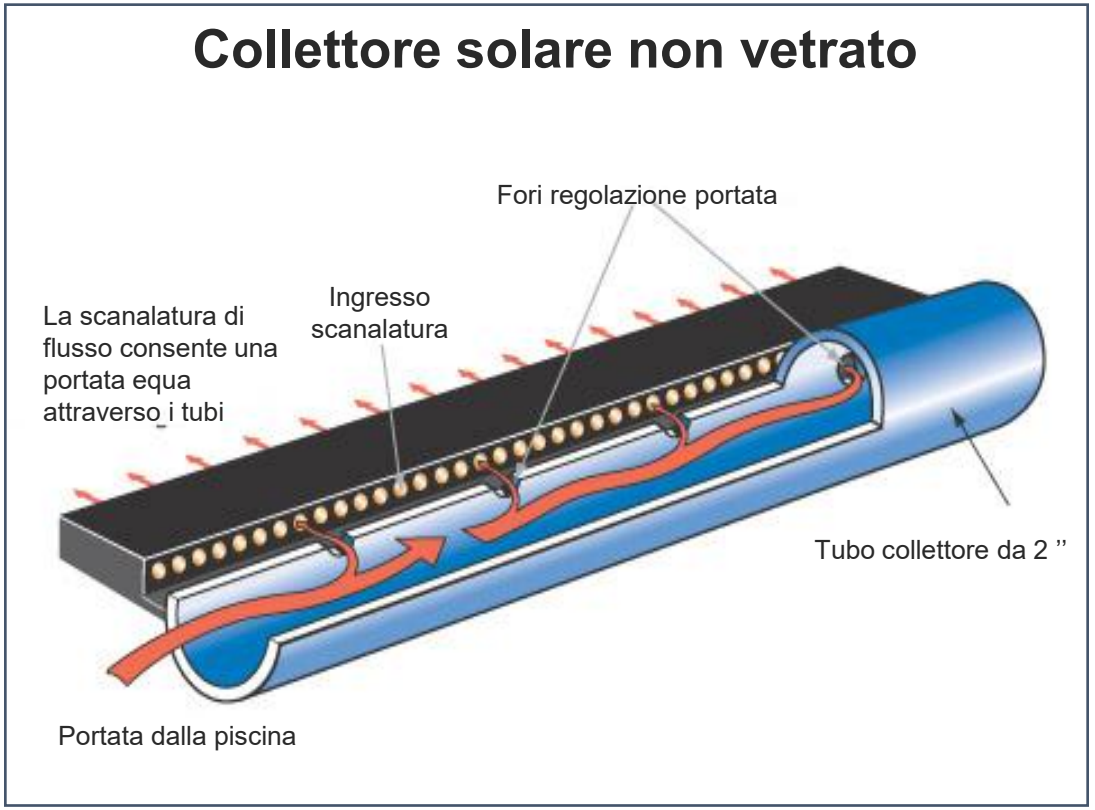


Foto: NRCan

COLLETTORI SOLARI A CONCENTRAZIONE

Quando per taluni impieghi occorrono temperature superiori a 100° C si può ricorrere ai collettori a concentrazione.



Sono in grado di concentrare sull'elemento assorbitore la radiazione raccolta.

Superfici riflettenti funzionano da specchi concentratori e indirizzano la radiazione solare su un tubo o un serbatoio contenente il fluido termovettore

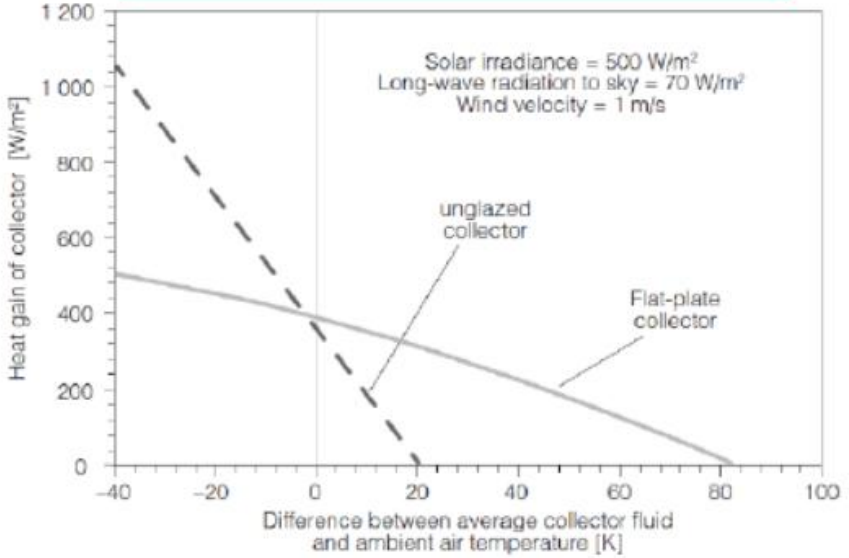
Caratteristica basilare dei collettori a concentrazione è il "rapporto di concentrazione" definito come il rapporto tra le densità del flusso di radiazione prima e dopo la concentrazione.



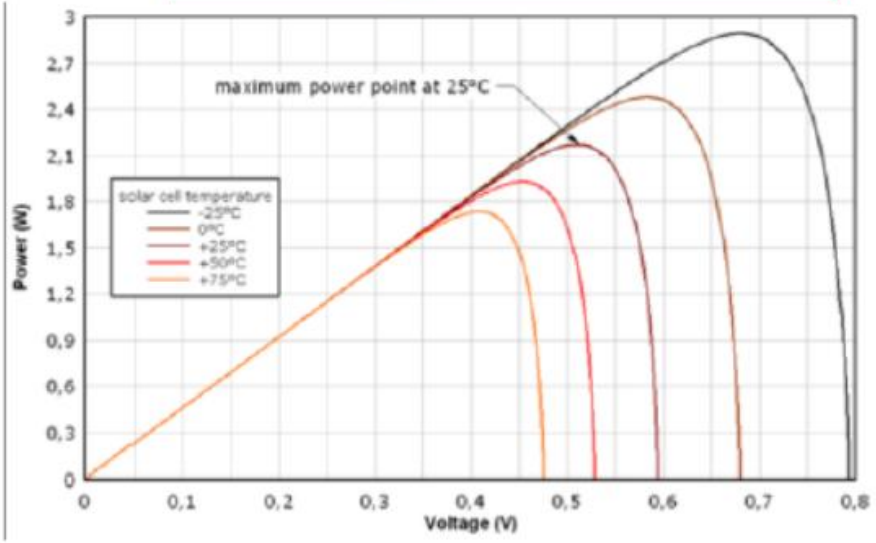
Più elevato è il valore dell'intensità di radiazione riflessa sull'unità di superficie dell'elemento assorbente, minore sarà la superficie assorbente necessaria a parità di energia in gioco cioè minori saranno le perdite per scambio termico.

Pannelli ibridi

Efficienza pannelli termici



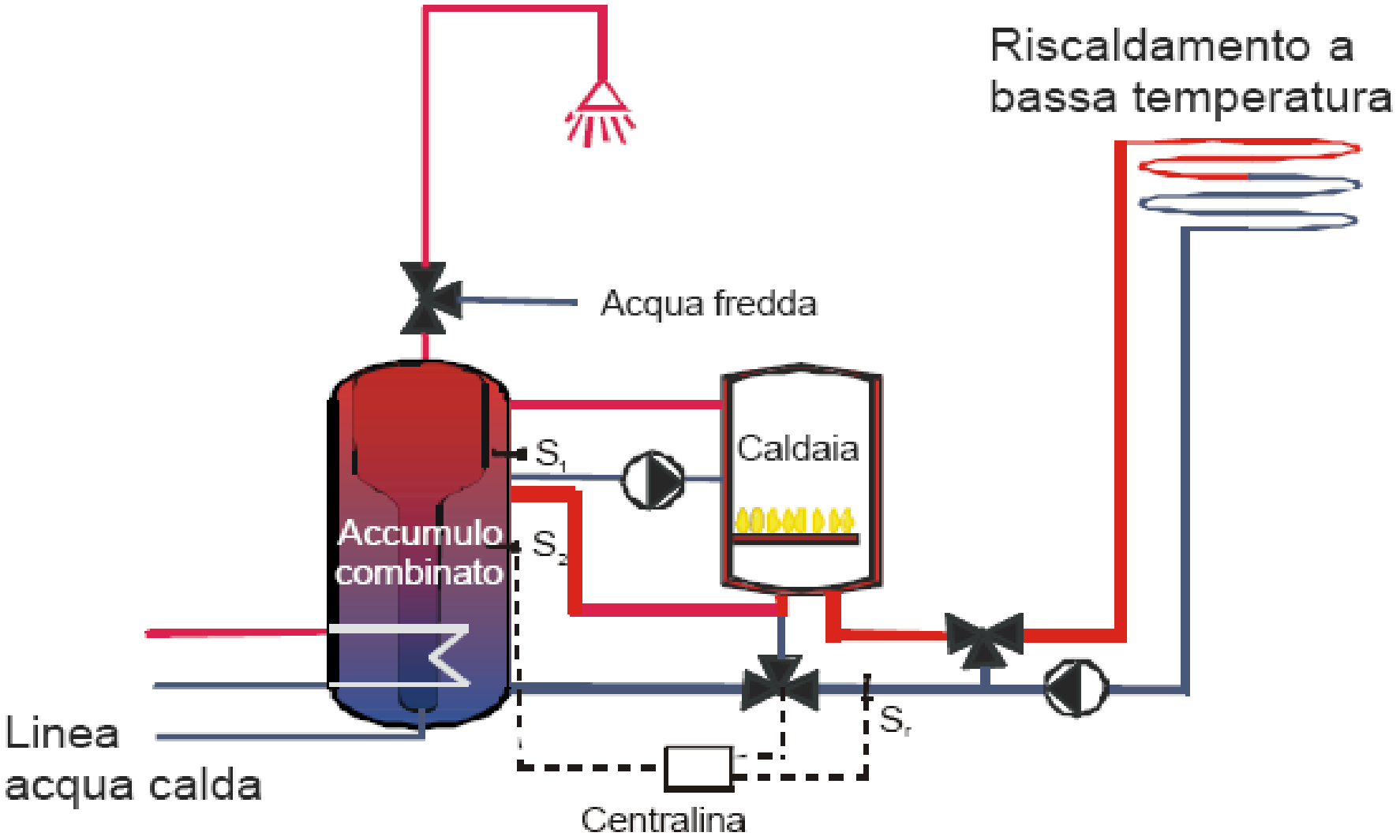
Efficienza pannelli FV



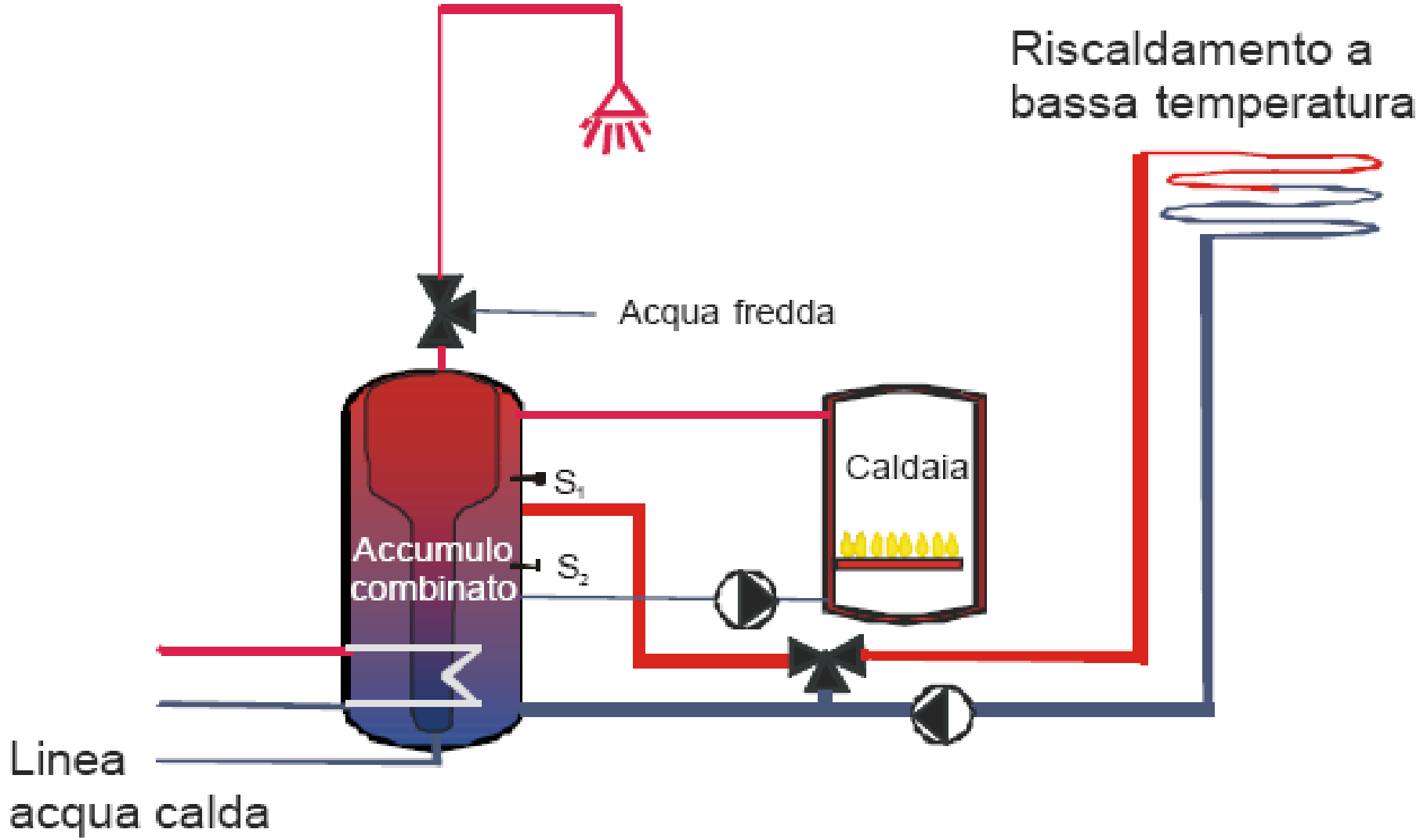
Alta efficienza = basse temperature di esercizio → pannello ibrido (i.e., termico + FV) = produzione elettrica e termica a efficienze più alte

Applicazione ottimale per coprire i fabbisogni **contemporanei** di ACS (Acqua Calda Sanitaria) ed elettricità.

Integrazione in serie di impianto solare combinato



Integrazione a tampone di un impianto solare combinato



SOVRAPPRODUZIONI ESTIVE

'stagnazione' dell'impianto: ho raggiunto T set point nel serbatoio; non circola nulla ma il pannello continua a ricevere irraggiamento → stagna

→ quando l'impianto va in stagnazione, tutto il contenuto del collettore evapora e il fluido deve essere completamente raccolto nel vaso d'espansione → verificare/impostare correttamente la pressione nel circuito collettori e nel vaso di espansione

In condizioni particolari il continuo verificarsi della stagnazione può causare un **invecchiamento precoce** di alcune parti. È consigliabile verificare con regolarità lo stato della miscela di glicole all'interno del circuito solare.

Il raffreddamento notturno riduce i problemi legati al surriscaldamento ma, allo stesso tempo, anche il rendimento medio annuo ed è pertanto sconsigliabile.

È anche possibile installare un **circuito di scarica**, ovvero un tubo di polietilene interrato al di sotto oppure a fianco dell'edificio, che disperde il calore in eccesso nel periodo estivo → verificare concentrazioni di **glicole** e/o antigelo nell'anno → di inverno potrebbe ghiacciare

L'applicazione risulta particolarmente vantaggiosa quando esiste un ulteriore fabbisogno a cui sopperire nel periodo estivo, per esempio il riscaldamento dell'acqua di una piscina.

Dimensionamento di massima di un impianto solare per la produzione di ACS

Si definisce fattore di copertura solare (FS) il rapporto fra l'energia utile ottenuta dall'impianto solare e la richiesta totale di energia termica per la produzione di ACS in un certo periodo di tempo (tipicamente un anno).
In genere 50- 60% (non oltre per non avere sovraproduzioni estive)
Spesso si setta il max 100% in condizioni estive e si ottiene di conseguenza la copertura annuale

$$FS = \frac{Q_{us}}{Q_{us} + Q_{tr}}$$

Q_{us} = energia termica utile da fonte solare [kWh];

Q_{tr} = energia termica utile da fonte convenzionale integrativa [kWh].

Per la valutazione della superficie captante si introduce il rendimento medio dell'impianto in un intervallo di tempo, definito come rapporto tra il valor medio dell'energia utilizzata e l'irradiazione media (Q_{irr}).

$$\eta_{impianto} = \frac{Q_u}{A_c Q_{irr}} \tag{7.18}$$

Il rendimento dell'impianto può essere espresso anche mediante la seguente relazione:

$$\eta_{impianto} = \overline{\eta_c} \cdot FC \cdot \eta_{d,r} \tag{7.19}$$

ove:

$\overline{\eta_c}$: rendimento medio del collettore;

FC: fattore correttivo che tiene conto della diminuzione della superficie captante dovuta all'ombreggiamento della parte laterale del collettore sulla superficie captante e della non perfetta pulizia del vetro. Solitamente FC=0.9;

$\eta_{d,r}$: rendimento di distribuzione e regolazione che tiene conto dei disperdimenti dell'impianto e del rendimento del sistema di regolazione (tipicamente $\eta_{d,r}$=0.8).

Dalla (7.18) e (7.19) si valuta la superficie dei collettori:

$$A_c = \frac{Q_u}{Q_{irr}\,\eta_{impianto}} \quad m^2 \qquad (7.20)$$

Si ricorda che il consumo di acqua calda sanitaria (C_u) può essere ottenuto facendo riferimento ai seguenti dati:

Basso consumo: 30+40 litri/giorno persona;

Medio consumo: 40+60 litri/giorno persona;

Elevato consumo: 60+80 litri/giorno persona.

Esempio:

Si valuti la superficie di un sistema di collettori per produzione di ACS di un nucleo abitativo composta da 4 persone (consumo medio di 60 litri a persona al giorno, oltre 16 l per usi vari). Supponendo l'irradianza media annuale $\bar{I}_\beta = 1600$ *kWh/m*^{2}, *FS=0.65,* $\bar{\eta}_c = 50\ \%$.

- consumo giornaliero: C_u = (4 x 60) + 16 l = 256 l

- fabbisogno giornaliero di energia termica

$$Q = C_u c \Delta t = 256 \cdot \frac{4.186}{3600} \cdot 35 = 10.4 \text{ kWh}$$

- Fabbisogno giornaliero coperto dall'impianto solare:

$$Q_u = 10.4 \cdot 0.65 = 6.76 \text{ kWh}$$

- Rendimento medio annuale del'impianto:

$$\eta_{\text{impianto}} = \frac{Q_u}{A_c Q_{\text{irr}}}$$

D’altronde è anche

$$\eta_{impianto} = FC \cdot \eta_{d,r} \cdot \bar{\eta}_c = 0.9 \cdot 0.8 \cdot 0.5 = 0.4$$

- superficie dei collettori. Dalla (7.8) si ottiene

$$A_c = \frac{Q_u}{I_\beta \eta_{impianto}} = \frac{6.76 \cdot 365}{1600 \cdot 0.4} = 4 \quad m^2$$

- Volume dell’accumulo: supponendo un accumulo di 80 l/m^2 si ottiene:

$$V_{acc} = 80 \cdot 4 = 320 \ l$$

Generatore solare termico

Dati generali | Dati tecnici

Metodo di calcolo: UNI/TS 11300-4

Tipo di collettore: Piano vetrato

eta0	a1 [W/m²K]	a2 [W/m²K²]	IAM
0,780	3,500	0,015	0,940

Inclinazione: 45 ° Orientamento: 0 °

Superficie captante: 50,000 m²

Tipologia solare termico: Sistema ad accumulo

Potenza ausiliari elettrici: 550 W

Tipo tubazioni: Isolate

Albedo medio mensile

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

Albedo medio annuo: 0,20

Fonti rinnovabili *(All.1 Art. 3.3 comma 6, All.3 DLgs28/11 modificato dal DLgs 199/21)*

Ma tutte le altre rinnovabili dove sono finite??

Rinnovabile termico

Gli edifici nuovi o sottoposti a ristrutturazioni rilevanti sono progettati e realizzati in modo da garantire, tramite il ricorso ad impianti alimentati da fonti rinnovabili, il contemporaneo rispetto della copertura del 60% dei consumi previsti per la produzione di acqua calda sanitaria e del 60% della somma dei consumi previsti per la produzione di acqua calda sanitaria, la climatizzazione invernale e la climatizzazione estiva.

Rinnovabile elettrico

La potenza elettrica degli impianti alimentati da fonti rinnovabili, che devono essere obbligatoriamente installati sopra o all'interno dell'edificio o nelle relative pertinenze, misurata in kW, è calcolata secondo la seguente formula:

$$P = K \times S$$

Dove:

- K è uguale a 0,025 per gli edifici esistenti e 0,05 per gli edifici di nuova costruzione;
- S è la superficie in pianta dell'edificio al livello del terreno ovvero la proiezione al suolo della sagoma dell'edificio, misurata in m^2. Nel calcolo della superficie in pianta non si tengono in considerazione le pertinenze, sulle quali tuttavia è consentita l'installazione degli impianti.







Le altre rinnovabili: eolico,

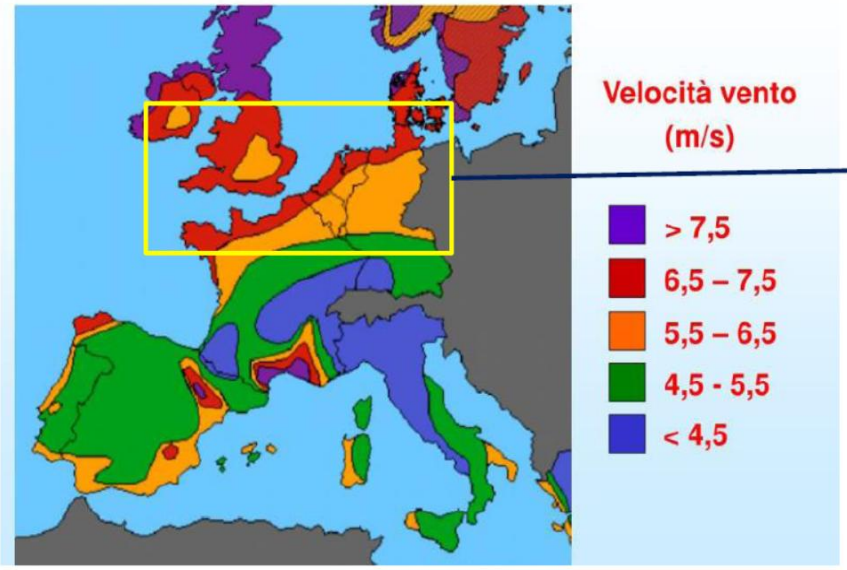
geotermico e idroelettrico

Eolico – cenni alla fisica del vento

Wind Speed Scale

Wind Speed at 10 m height		Beaufort Scale (outdated)	Wind
m/s	knots		
0.0-0.4	0.0-0.9	0	Calm
0.4-1.8	0.9-3.5	1	
1.8-3.6	3.5-7.0	2	Light
3.6-5.8	7-11	3	
5.8-8.5	11-17	4	Moderate
8.5-11	17-22	5	Fresh
11-14	22-28	6	Strong
14-17	28-34	7	
17-21	34-41	8	Gale
21-25	41-48	9	
25-29	48-56	10	Strong Gale
29-34	56-65	11	
>34	>65	12	Hurricane

Eolico – risorse eoliche in Europa

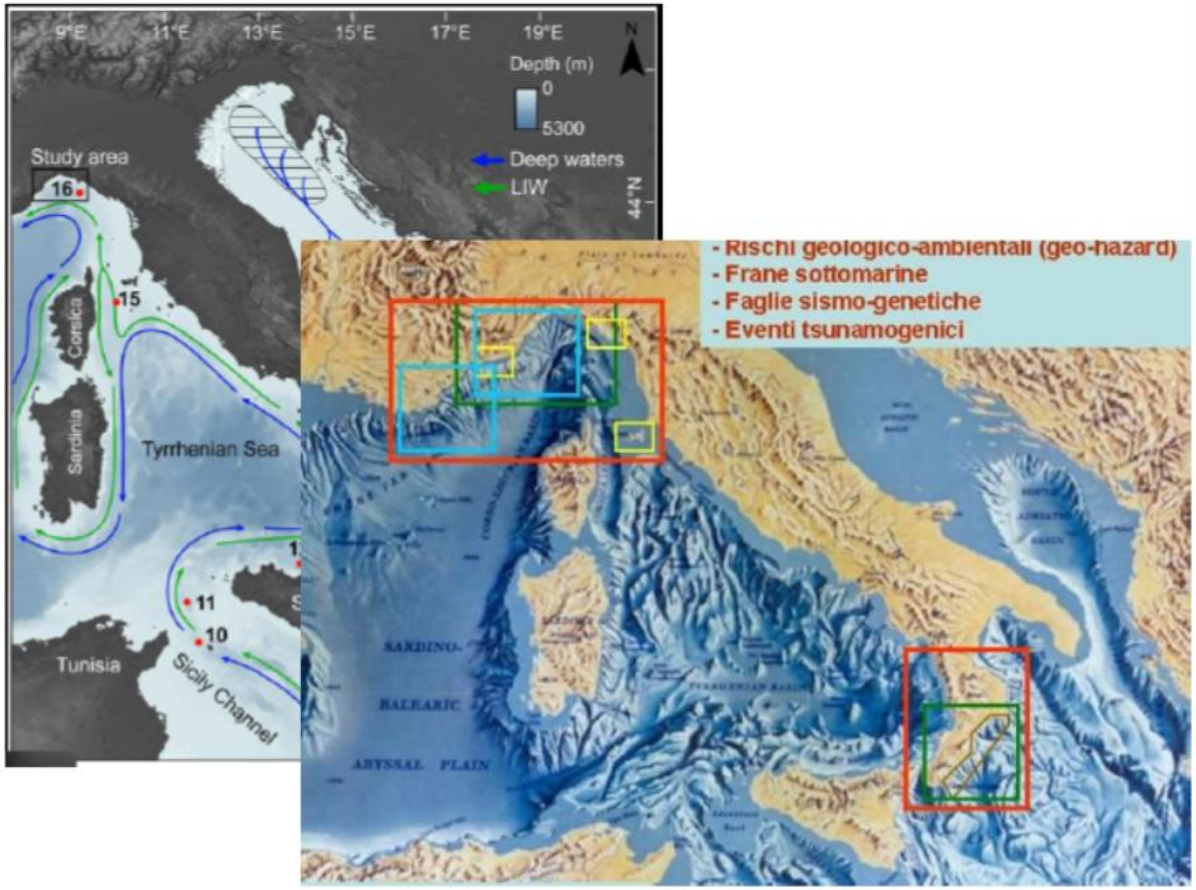


Regione con più sfruttamento dell'eolico

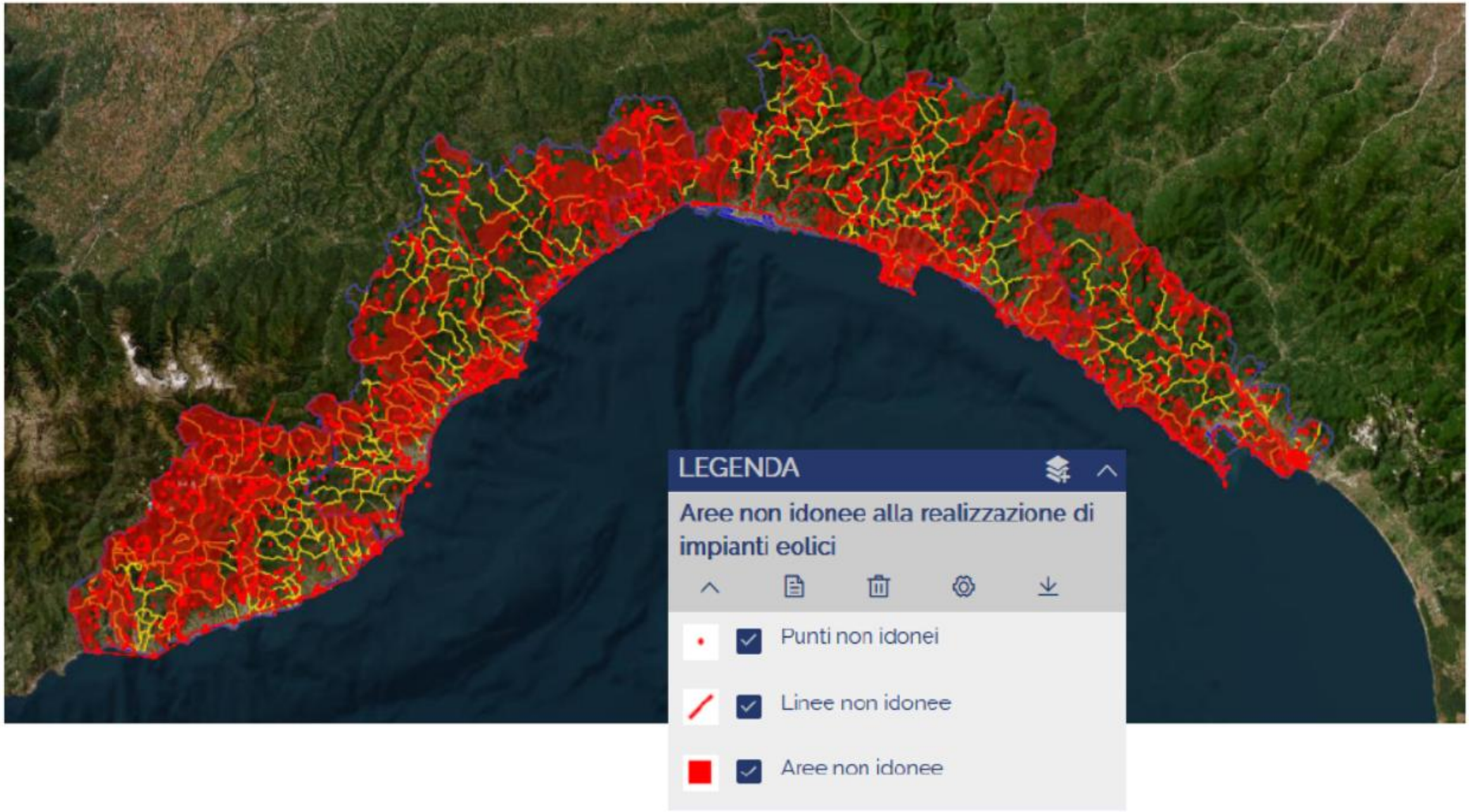


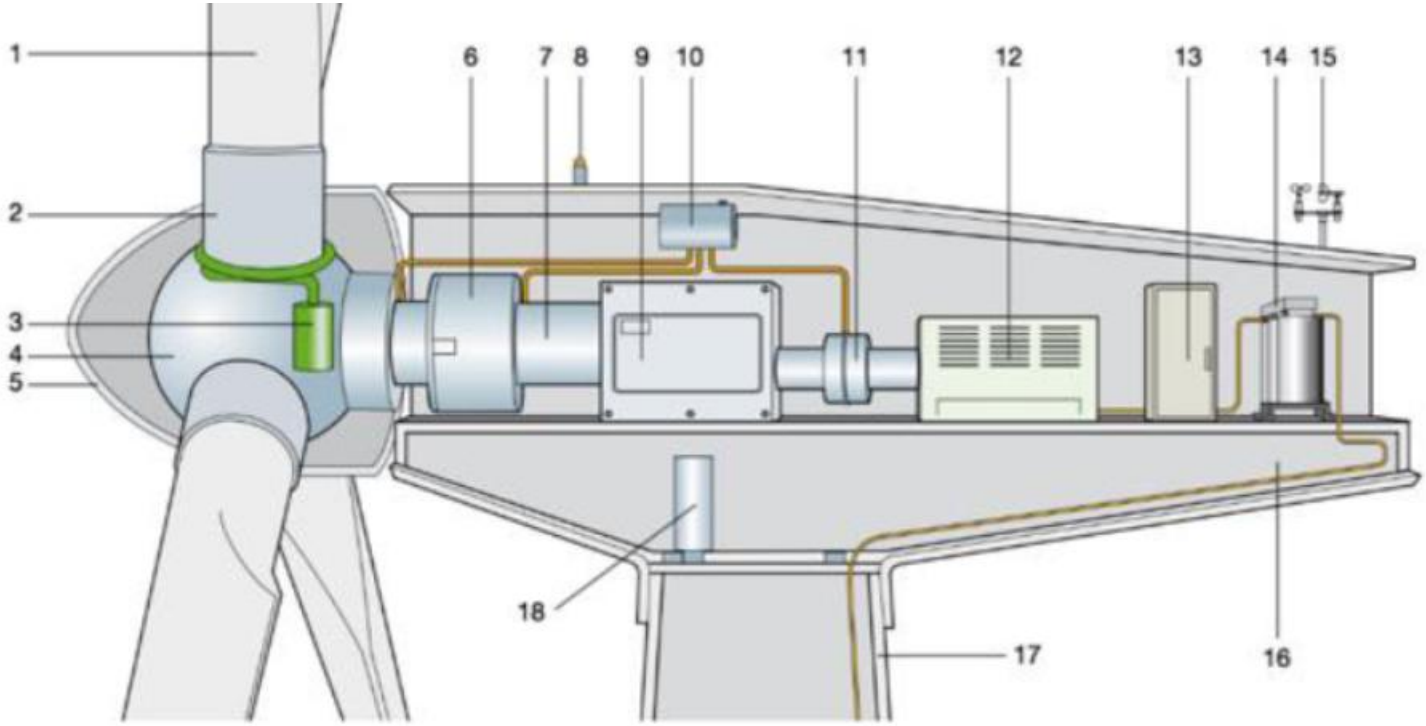
World's largest offshore wind farm became fully operational on April 8, 2013. To date, the London Array includes 175 wind turbines (3.6MW each, total is 630MW for 2´200´000MWh/year) aligned to the prevailing southwest wind and spread out across 100 square kilometers. Each turbine stands 650 to 1,200 meters apart and 147 meters (482 feet) tall. Levelized cost of electricity is expected to be around 200£/MWh

Eolico – risorse eoliche in Europa



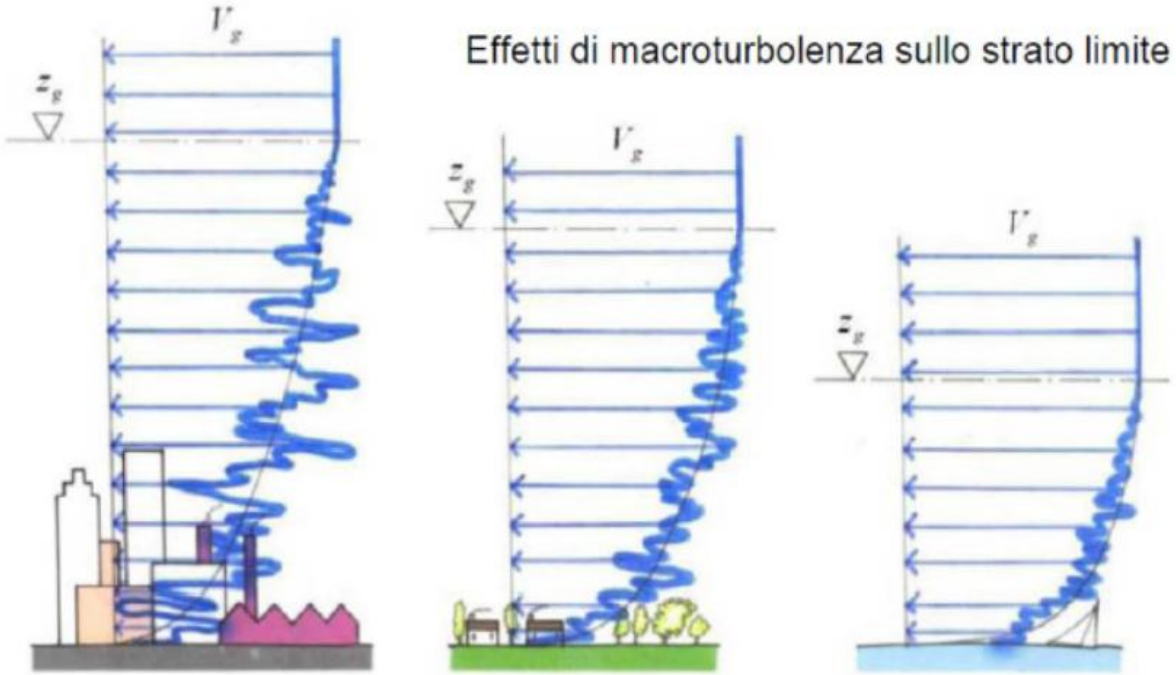



LEGENDA
Aree non idonee alla realizzazione di impianti eolici
Punti non idonei
Linee non idonee
Aree non idonee



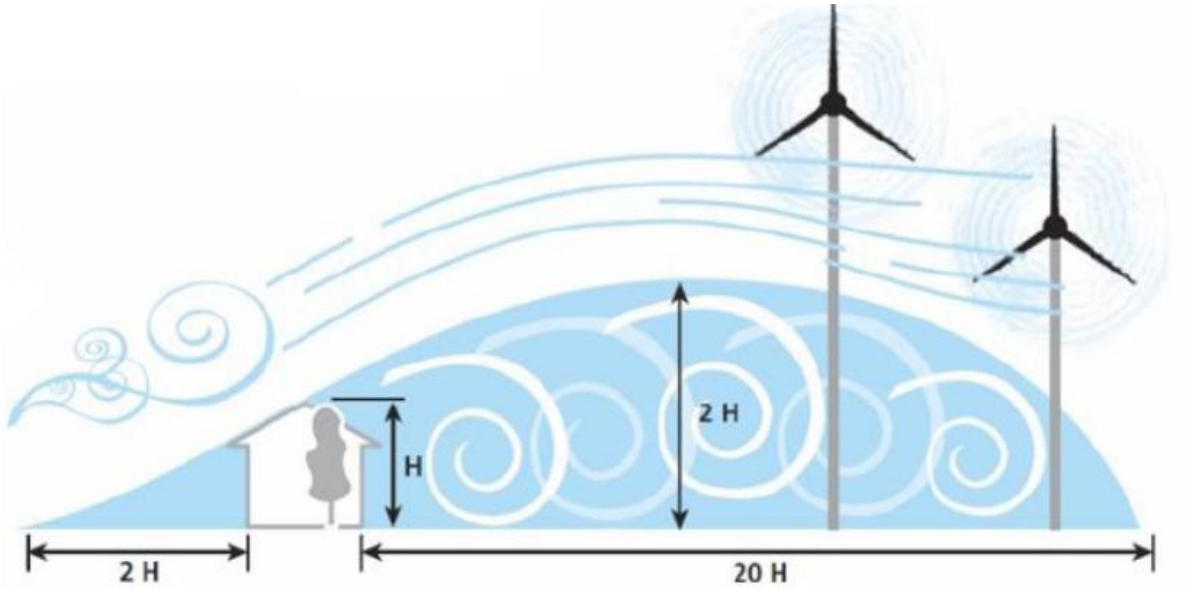
1. pala, 2. supporto della pala, 3. attuatore dell'angolo di Pitch, 4. mozzo, 5. ogiva, 6. supporto principale, 7. albero principale, 8. luci di segnalazione aerea, 9. moltiplicatore di giri, 10. dispositivi idraulici di raffreddamento, 11. freni meccanici, 12. generatore, 13. convertitore di potenza e dispositivi elettrici di controllo, 14. trasformatore, 15. anemometri, 16. struttura della navicella, 17. torre di sostegno, 18. organo di azionamento per l'imbardata.

Effetti di macroturbolenza sullo strato limite



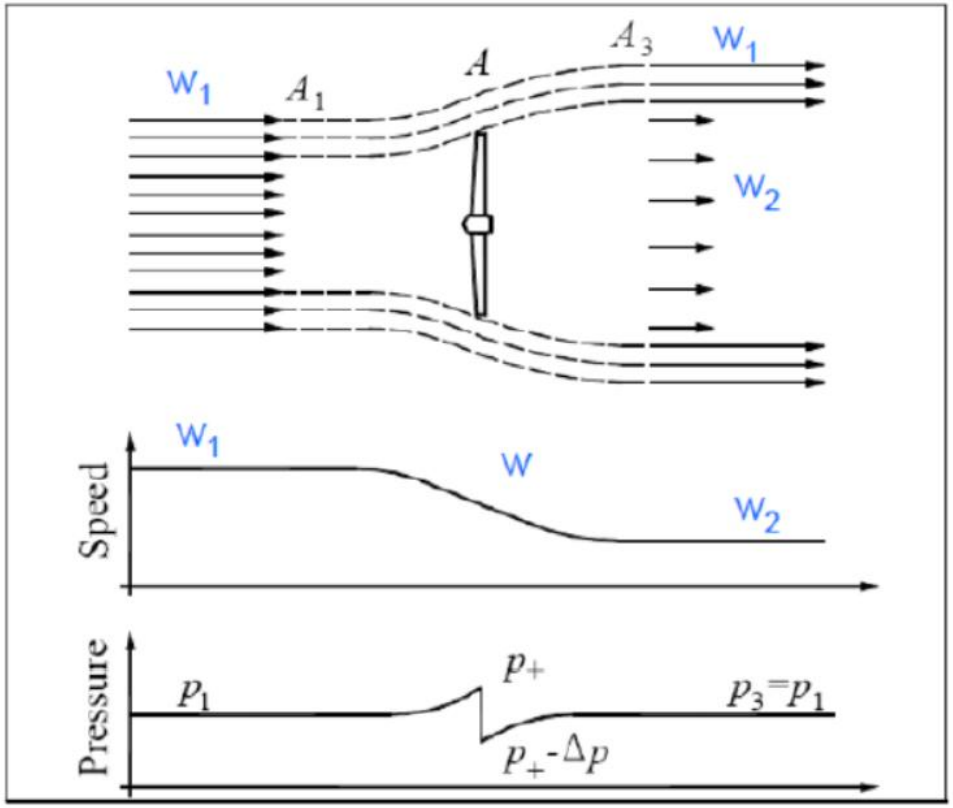
Meno disturbo =
pala meno alta

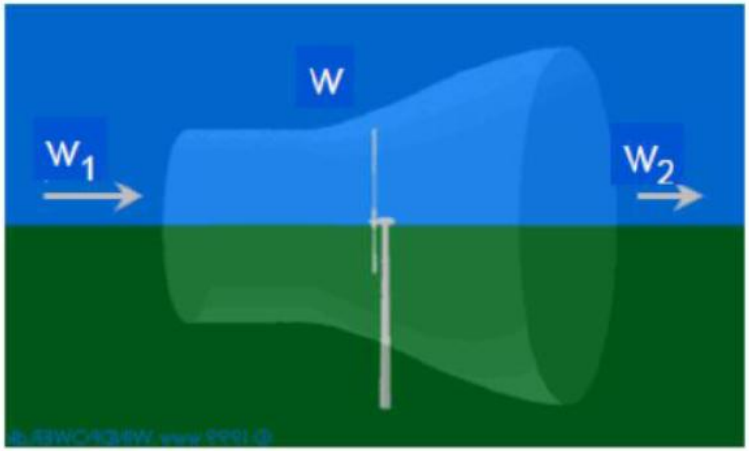
Rugosità del terreno



alta 18-20 m (minimo 10 m) per turbine > 1 kW
se sopravento rispetto all'ostacolo, distanza minima almeno 2 volte l'altezza dell'ostacolo
Se sottovento rispetto all'ostacolo, distanza minima almeno 10 volte l'altezza dell'ostacolo (ad una distanza pari a 15 volte l'altezza dell'ostacolo le perdite sono trascurabili

La teoria di Betz





La teoria di Betz

Equazione della conservazione di massa

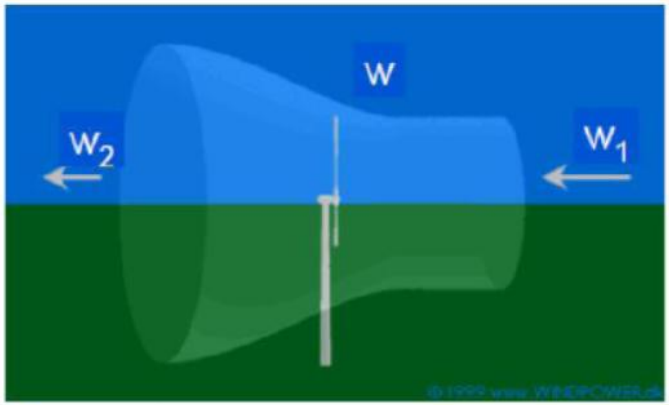
+

Conservazione della quantità di moto

+

Conservazione dell'energia

=

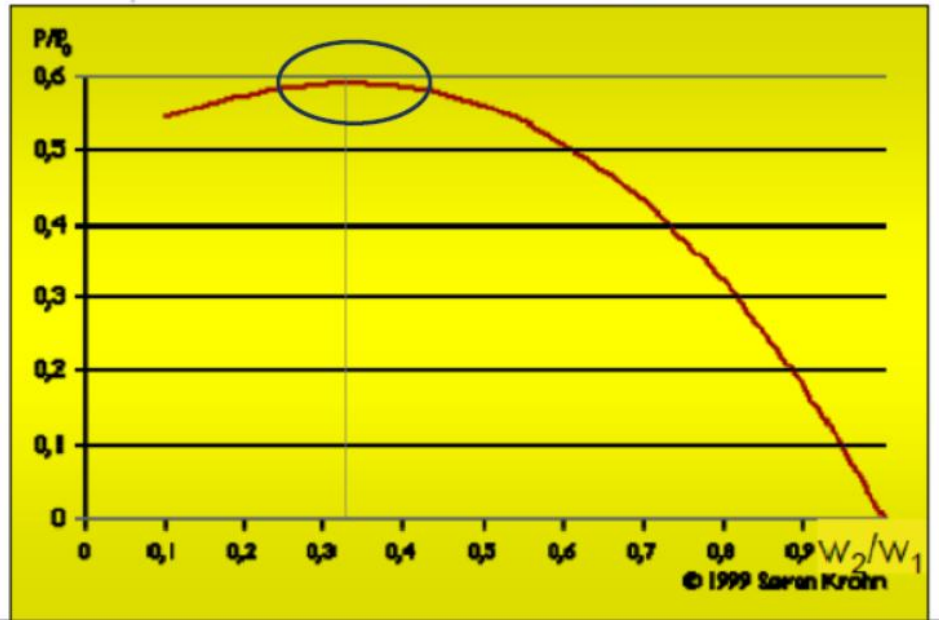


$$P = 0.5\ m\ (w_1^2 - w_2^2) = 0.25\ A\ \rho\ (w_1 + w_2)\ (w_1^2 - w_2^2)$$

Massimo per P/P0 = 0,593

P0 potenza teorica massima indisturbata

P potenza massima ottenibile dalla pala



Passaggi analitici per i più curiosi..

$m = \rho_1 A_1 w_1 = \rho_2 A_2 w_2$ (Continuità)

+

$F = m (w_1 - w_2) = \rho A w (w_1 - w_2)$
(Conservazione della quantità di moto)

+

$P = F w = \rho A w^2 (w_1 - w_2)$
$P = 0.5 m (w_1^2 - w_2^2) = 0.5 A \rho w (w_1^2 - w_2^2)$
(Conservazione dell'energia)

Per trovare il massimo (analiticamente) derivo la funzione e trovo dove si annulla

$dP/d(w_2) = 0$
$dP/d(w_2) = 0.25 (w_1^2 - 2 w_1 w_2 - 3 w_2^2) = 0$

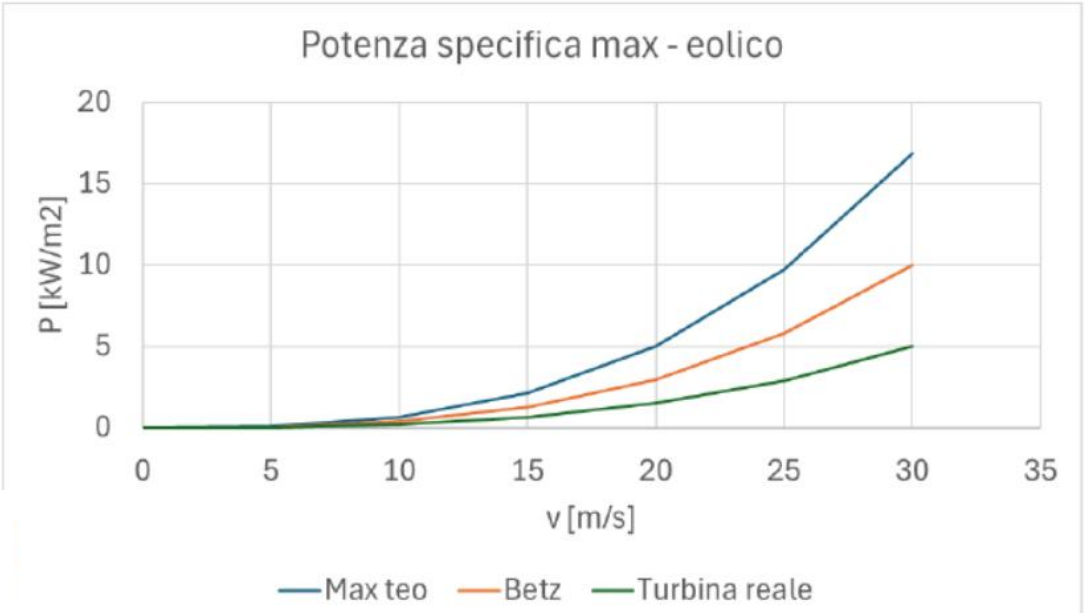
L'equazione fornisce due soluzioni: $w_2 = -w1$ e
$w_2 = w_1/3$ da cui:
$P_{max} = 8/27 A \rho w_1^3$
Posto $P_0 = 0.5 A \rho w_1^3$

$P_{max} / P_0 = C_p = 16/27 = 0.593$
C_p = Power Coefficient

Velocità vento [m/s]	Potenza specifica max teorica [kW/m2]	Potenza specifica max reale (Betz)[kW/m2]	Potenza specifica max reale con rendimento turbina [kW/m2]
0	0	0	0,00
5	0,08	0,05	0,02
10	0,63	0,37	0,19
15	2,11	1,25	0,63
20	5,00	2,97	1,48
25	9,77	5,79	2,90
30	16,88	10,01	5,00

$$P_0 = 0.5\ A\ \rho\ w_1^3$$

Efficienza rotori ca 50%
Riusciamo a sfruttare il 30% dell'energia eolica



Ciò nonostante..



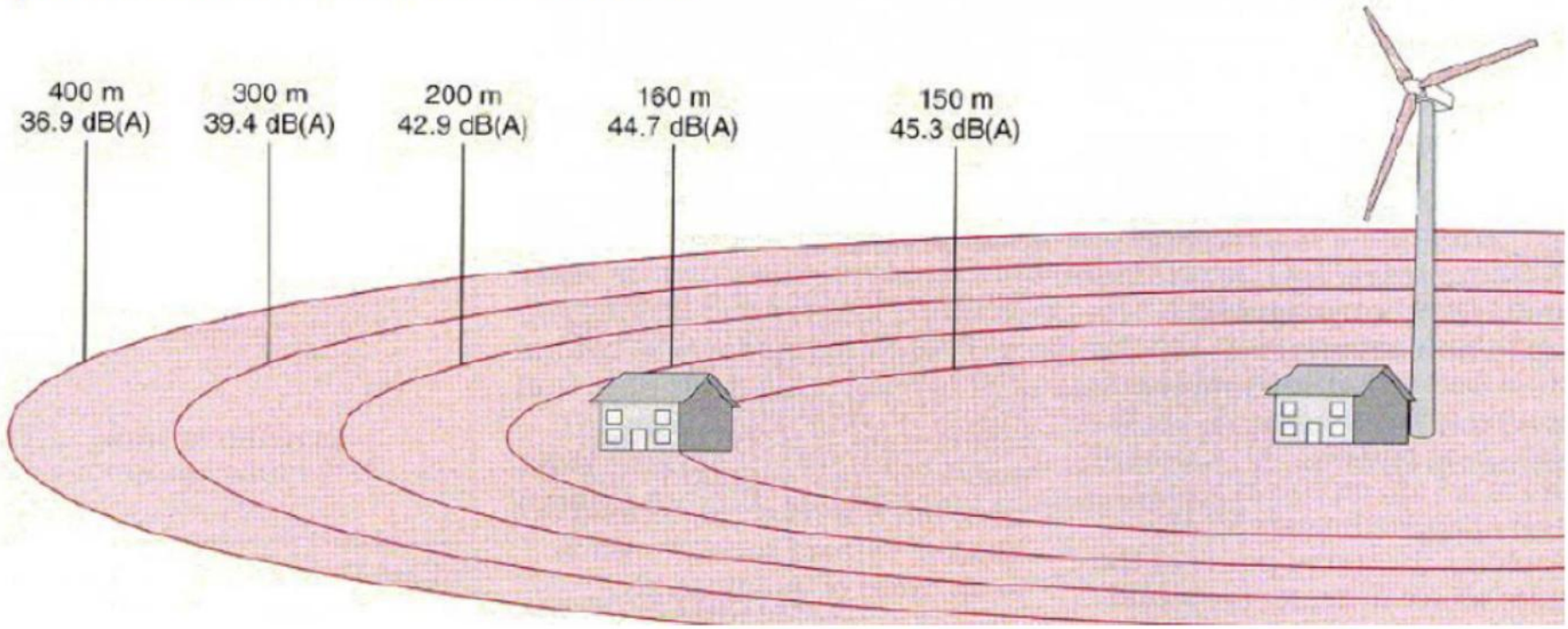


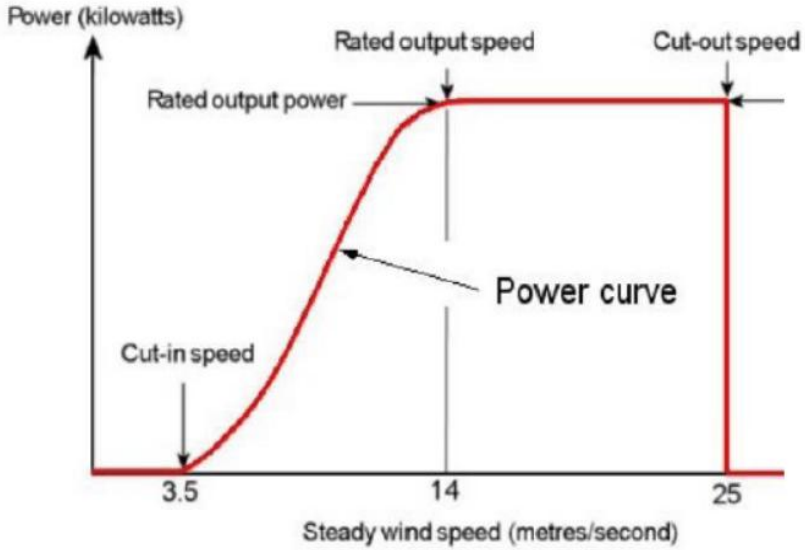
Impianto eolico Varese Ligure (Sp)
2 turbine NEG MICON 750/48 (D=48m)
2 turbine VESTAS V52 (D=52m)
Pali tubolari, H=46m
potenza impianto: 3.200 KW
produzione annua: 6.5 GWh

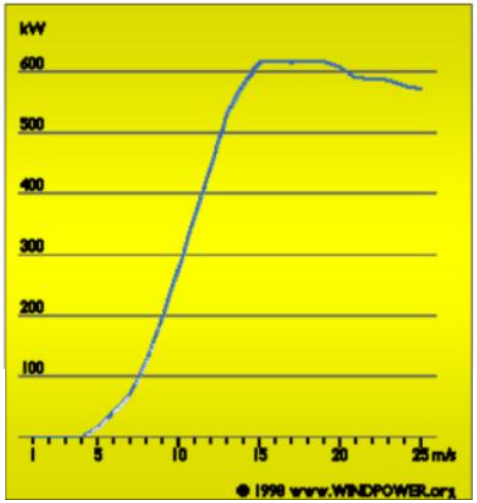
Potenza equivalente a 8000 pannelli FV da 400 Wp
Ossia 16'000 m2 di superficie di campo

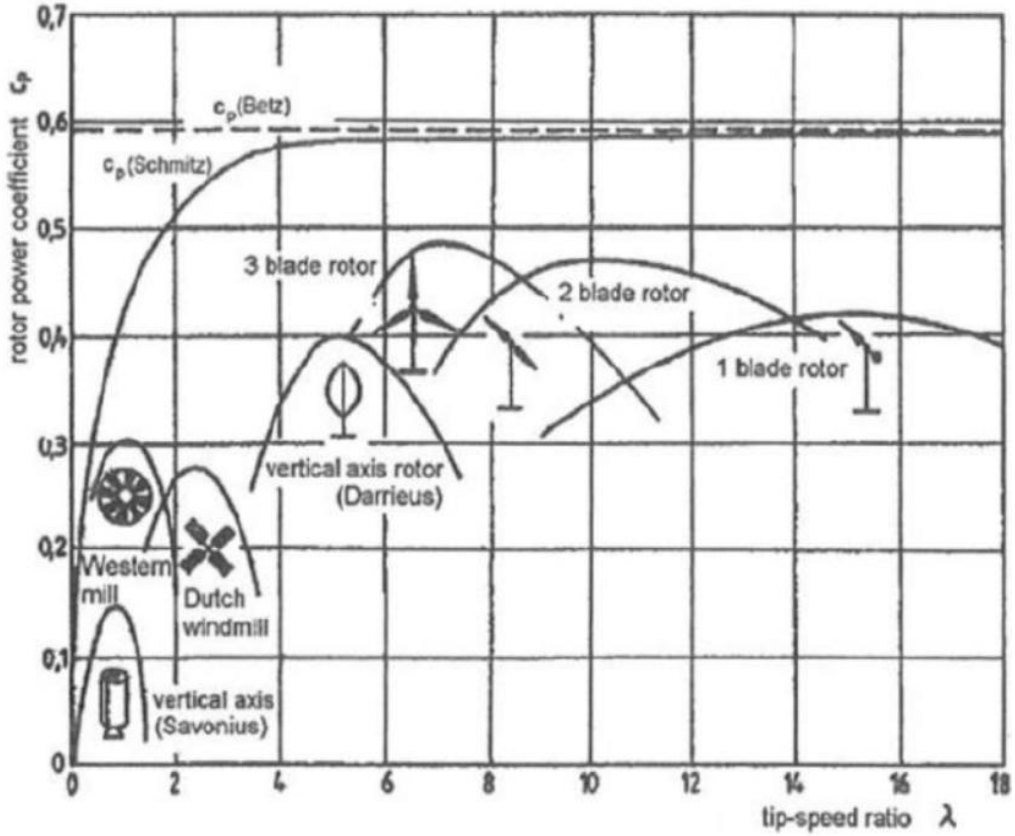
Vita utile pannello/rotore?
Rumore pannello/rotore?
Costo pannello/rotore?

Le macchine eoliche di grande taglia (100kW tipici) hanno potenze sonore variabili tra 95 e 100dBA.




Power (kilowatts)
Rated output speed
Cut-out speed
Rated output power
Power curve
Cut-in speed
3.5
14
25
Steady wind speed (metres/second)


kW
600
500
400
300
200
100
1
5
10
15
20
25 m/s
© 1998 www.WINDPOWER.org


rotor power coefficient c_p
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
c_p(Betz)
c_p(Schmitz)
3 blade rotor
2 blade rotor
1 blade rotor
vertical axis rotor
(Darrieus)
Western
mill
Dutch
windmill
vertical axis
(Savonius)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
tip-speed ratio λ

Meglio una pala grossa o più pale piccole?





$$P_{max} = 0{,}593 * 0{,}5 * \rho * A * v^3 = 0{,}3 * \rho * \pi D^2/4 * v^3$$

A = area spazzata dalla pala

V = velocità del vento

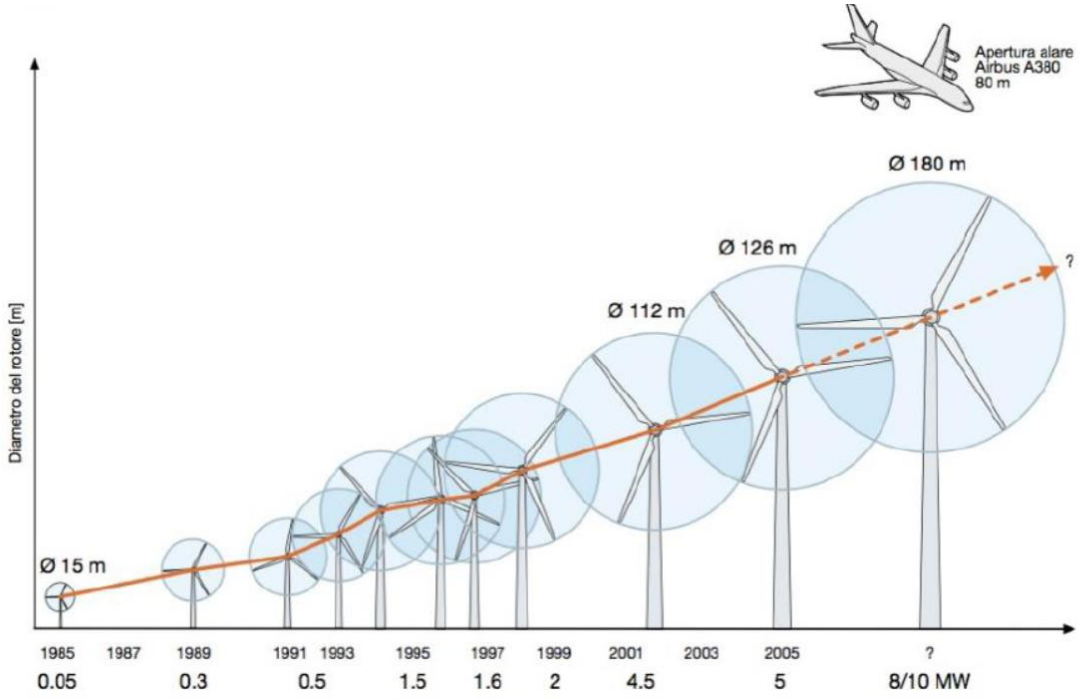
ρ = densità aria

Meglio una pala grossa o più pale piccole?



- Costo (€/MW) inferiore (meno fondazioni, meno strutture, meno materiale)
- altezza: si raggiungono strati più alti con velocità maggiori e meno perturbate
- Raddoppiando la lunghezza delle pale, l'energia prodotta si quadruplica
- Interferenza tra gli aerogeneratori del campo

Il mini eolico rimane una alternativa valida per venti deboli (< 3m/s) e per ridurre consumi a livello di casa/abitazione



Turbine ad asse orizzontale

Tecnologicamente mature
Flessibili per siti a diversa ventosità
Economiche

Ma

Rumorose
Impatto visivo
Inadatte ad ambiente urbano



Turbine ad asse verticale

In via di sviluppo
Non adatte a qualsiasi sito
costose

Ma

Meno rumorosità
Meno impattanti
Idonee ad ambiente urbano



Alcuni esempi





Tipologia	Potenza generatore [kW]	Diametro rotore [m]
Piccola taglia	P < 100	D < 20
Media taglia	100 < P < 1000	20 < D < 50
Grande taglia	P > 1000	D > 50

Tipologia	Potenza generatore [kW]
Micro eolico	P < 1
Mini eolico	1 < P < 100
Medio eolico	100 < P < 1000
Grande eolico	P > 1000

Altri esempi: i pali vibranti

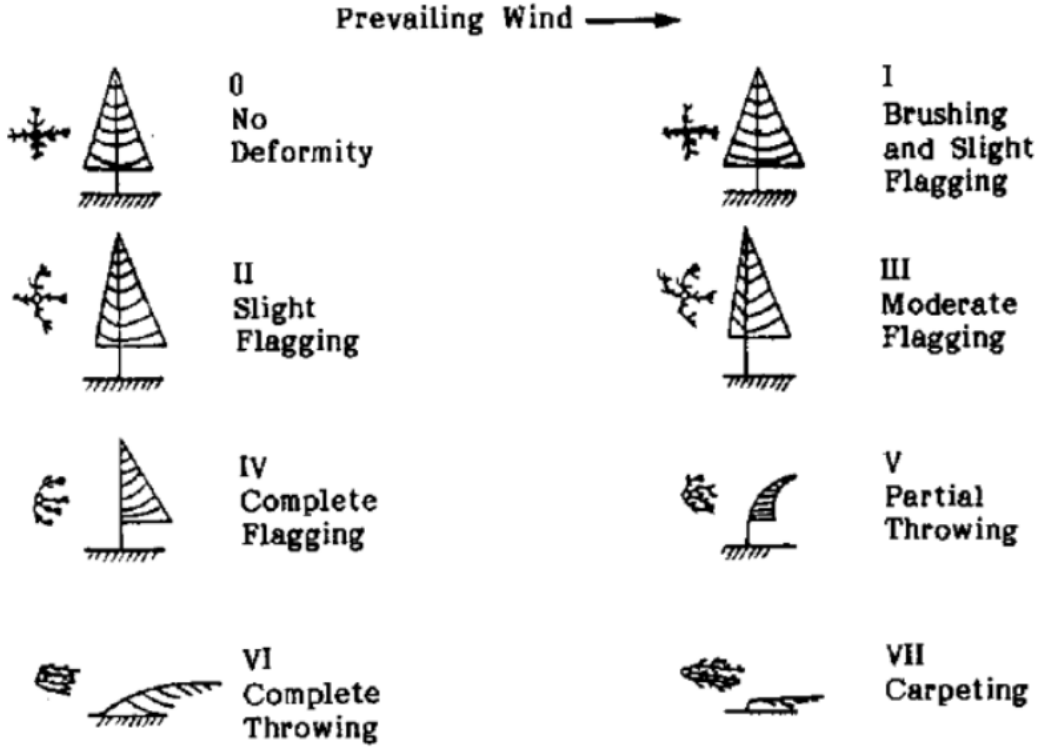


Pali costituiti da due anelli con magneti alla base.
Quando il vento è idoneo a mettere in vibrazione i pali, il movimento dei magneti tramite alternatore genera energia elettrica.

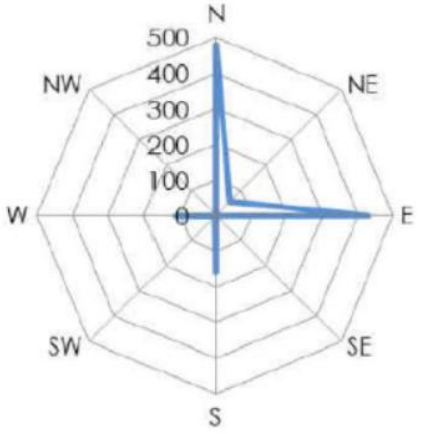
Ancora in fase sperimentale.
In proiezione: meno componenti (es. no pale) = meno costosi = più facili da assemblare = meno rischio per la fauna

Analisi di fattibilità

a) Individuazione dei possibili siti (preliminare)

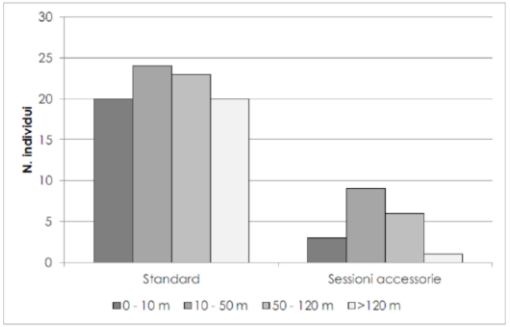


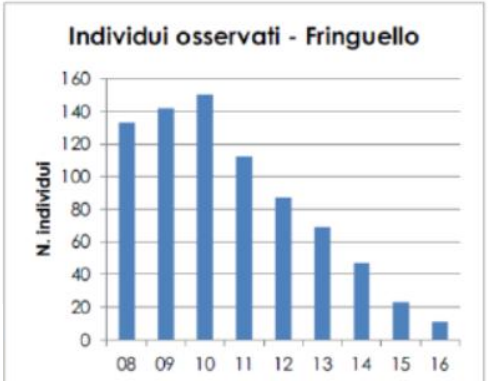
Analisi di fattibilità
b) analisi costi/benefici preliminare + ambientale

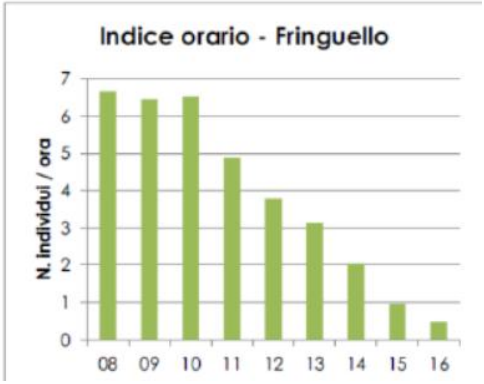


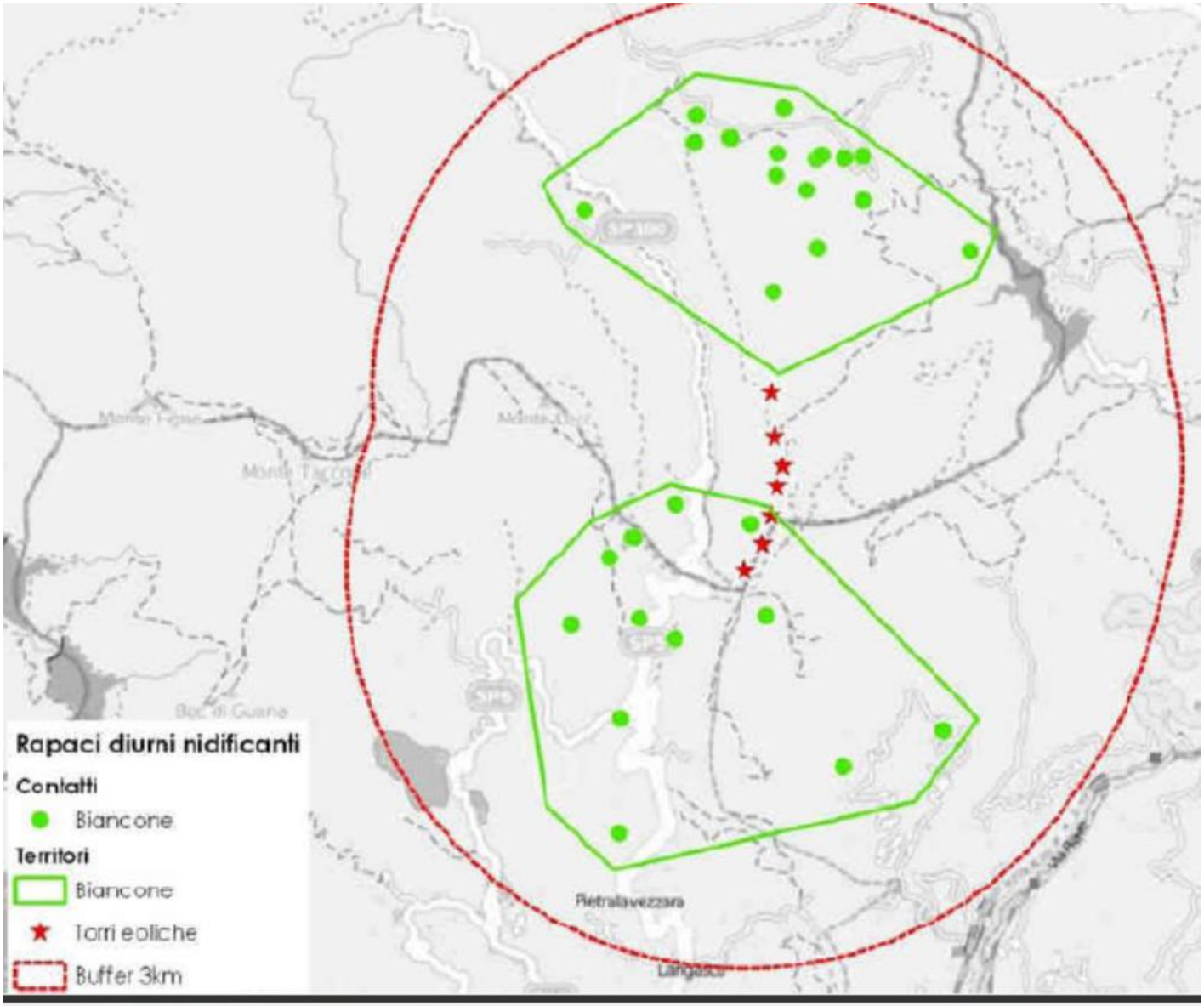
Specie	31-ago	1-set*	2-set*	3-set*	4-set*	5-set	16-set	17-set	18-set	19-set	20-set	21-set	Totale
Falco pecchiaiolo	13							6				2	**21**
Biancone	4							1	2		1		**8**
Falco di palude									2				**2**
Sparviere	2						1						**3**
Poiana							2	4	5		1	1	**13**
Gheppio	1						1	2					**4**
Falco pellegrino								2			1		**3**
Rapace indeterminato									2				**2**
Totale	**20**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**4**	**15**	**11**	**0**	**3**	**3**	**56**

Distribuzione quote di volo








Rapaci diurni nidificanti
Contatti
Biancone
Territori
Biancone
Torri eoliche
Buffer 3km
Pietralavezzara

Analisi di fattibilità

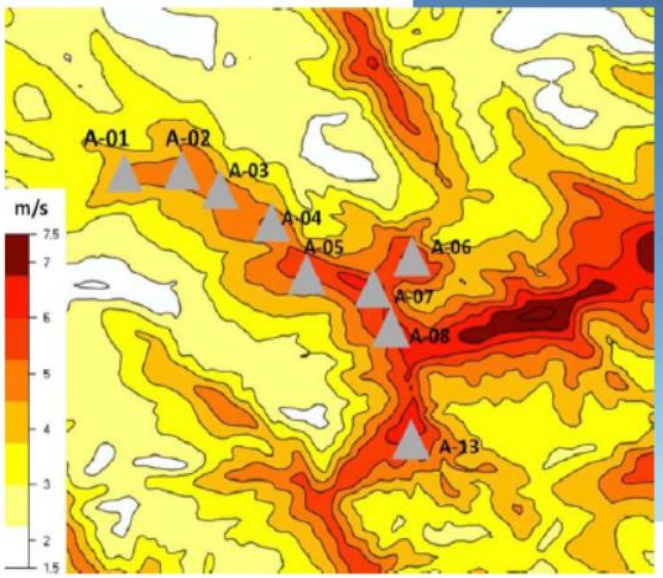
c) analisi caratteristiche anemologiche

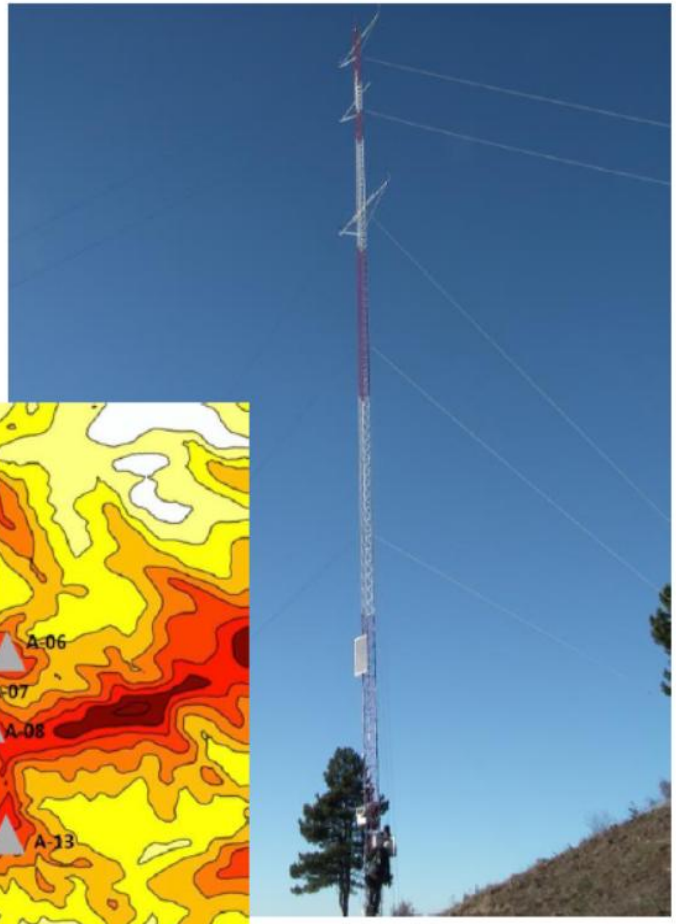


Serve serie statisticamente significativa →2/4 anni di osservazioni!

Misure ogni 10 min

Rielab software

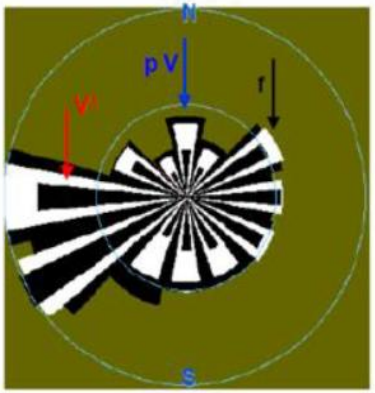


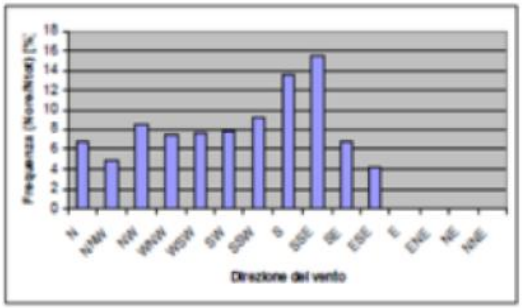


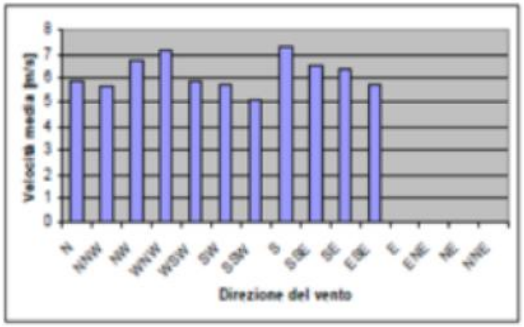
Anche fino a 40 m!

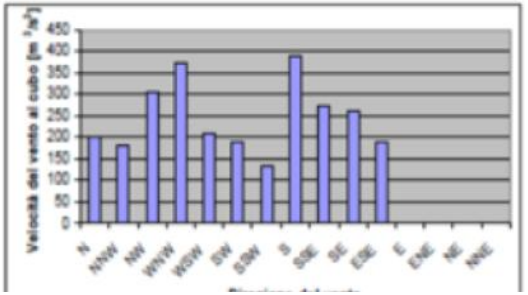
Analisi di fattibilità
c) analisi caratteristiche anemologiche











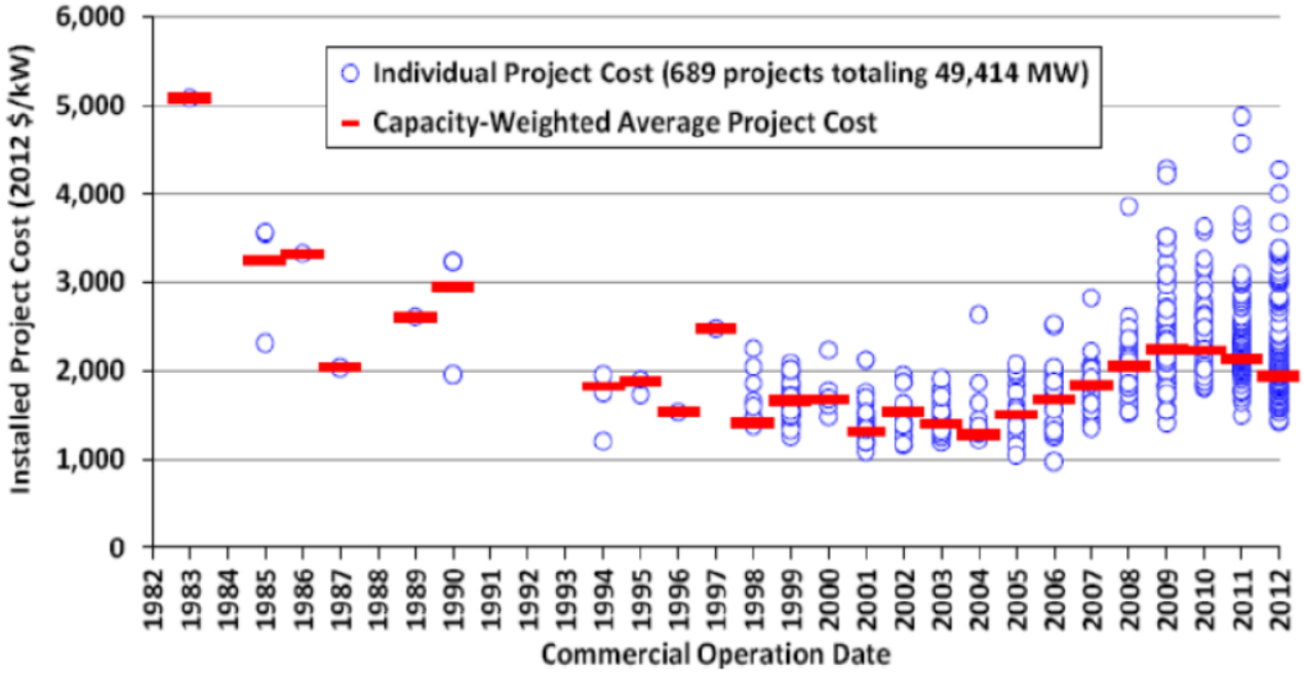
Analisi di fattibilità
d) Progetto di dettaglio

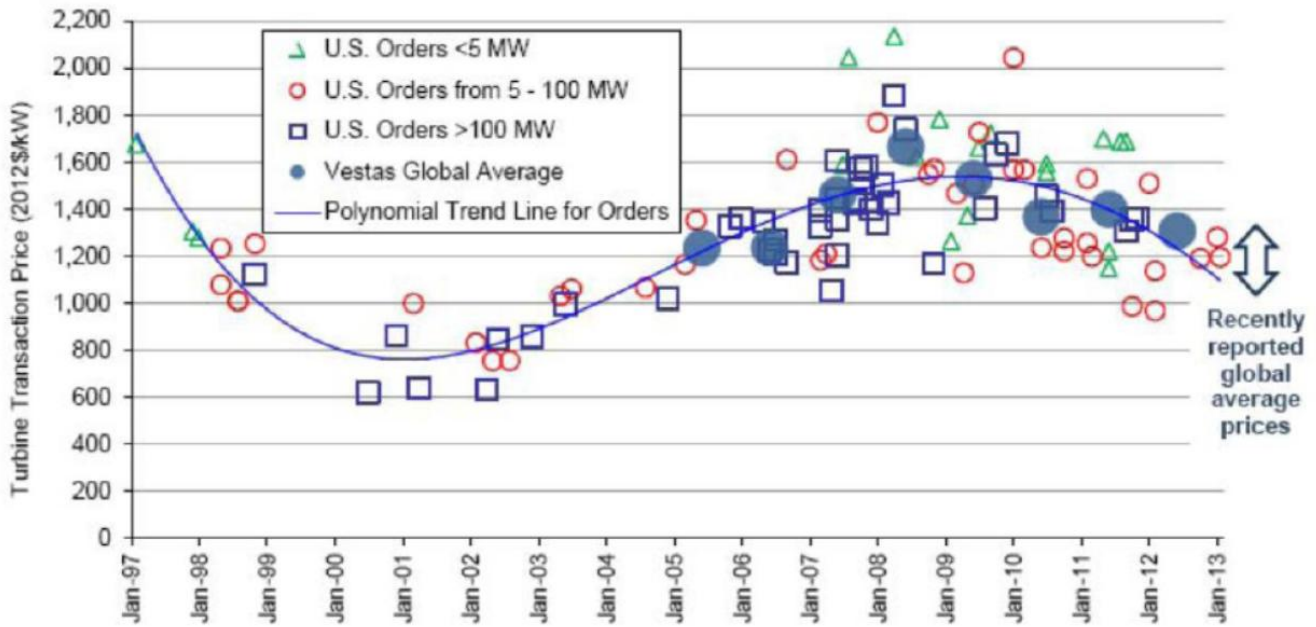






Costi dell'eolico





Idroelettrico



Energia pulita senza emissioni nocive

Bassi costi di produzione

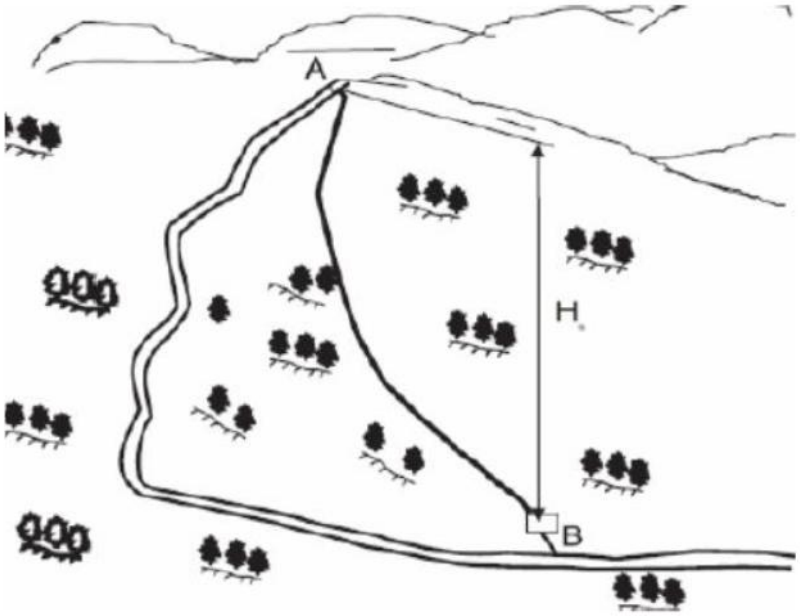
Veloce attivazione e disattivazione

Vincolo geografico

Rischioso per flora e fauna

Progressivo interramento bacini

Idroelettrico

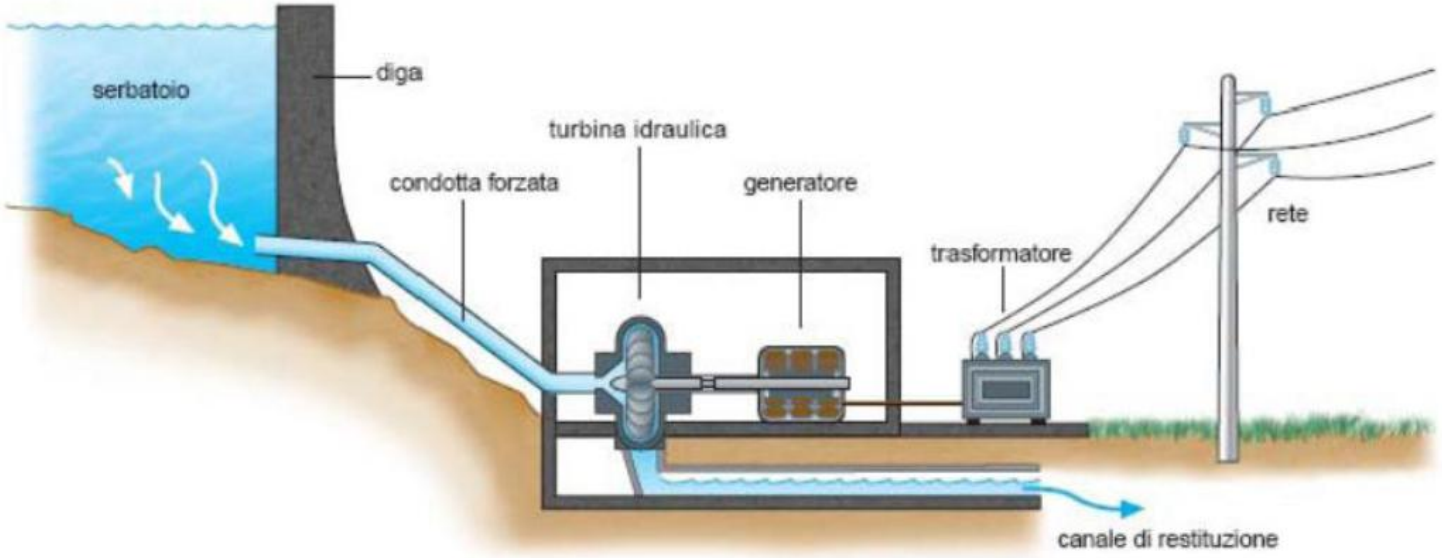


L'impianto idroelettrico converte l'energia potenziale di una massa m di acqua posta ad una quota H in energia elettrica tramite turbine

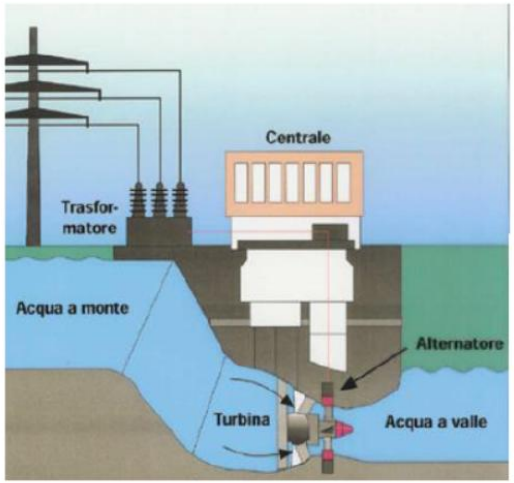
$$P = m\,g\,H$$

Nel percorso da A (partenza) a B (arrivo) bisogna minimizzare le perdite di energia dissipate.

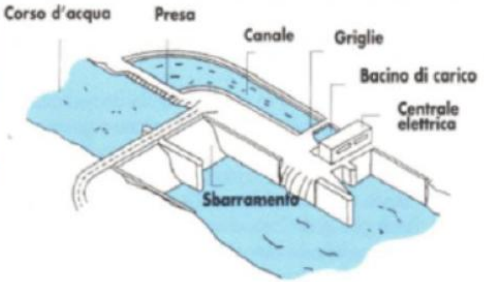
Impianti a serbatoio o bacino

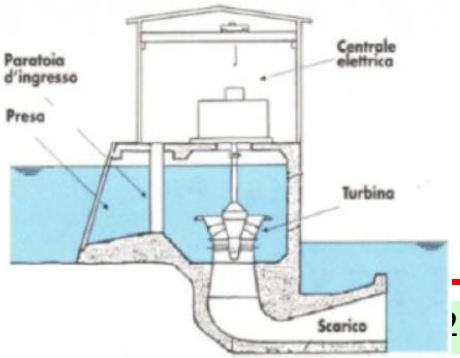


Impianti ad acqua fluente

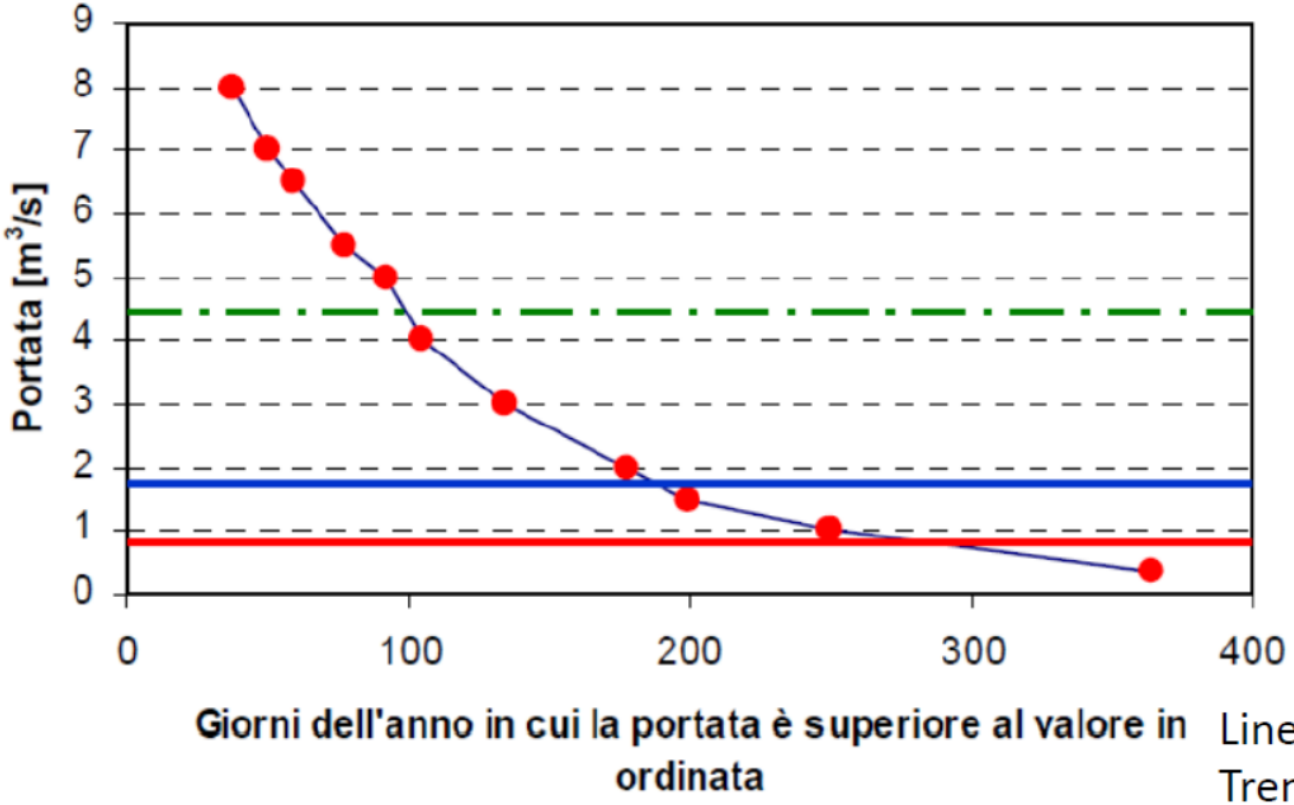


Dipende dalla disponibilità della risorsa → variabile (anche nulla), presso alveo fiume, non previsti specifici salti di quota





Rendimento dell'impianto



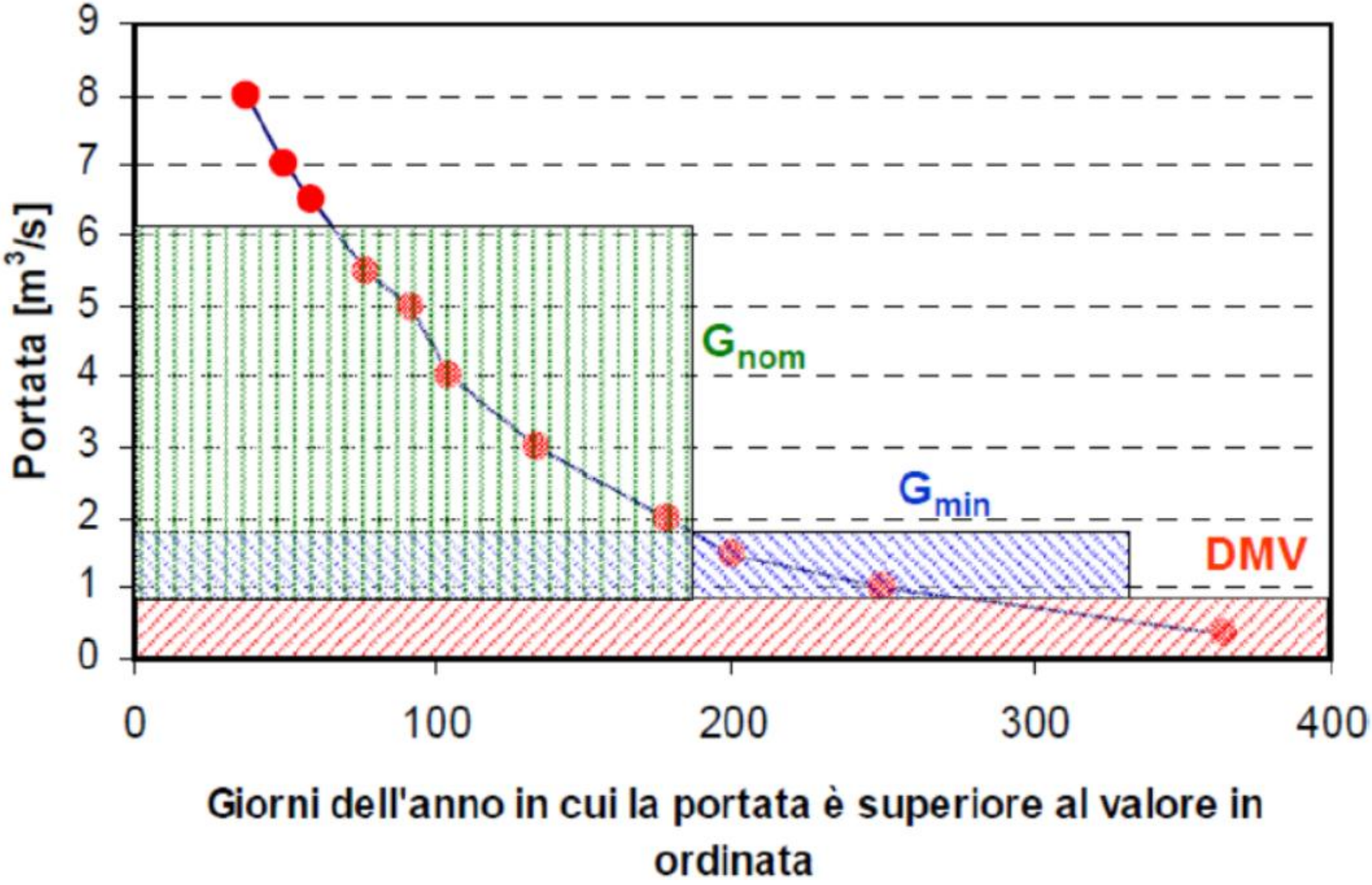
Linea nominale turbina

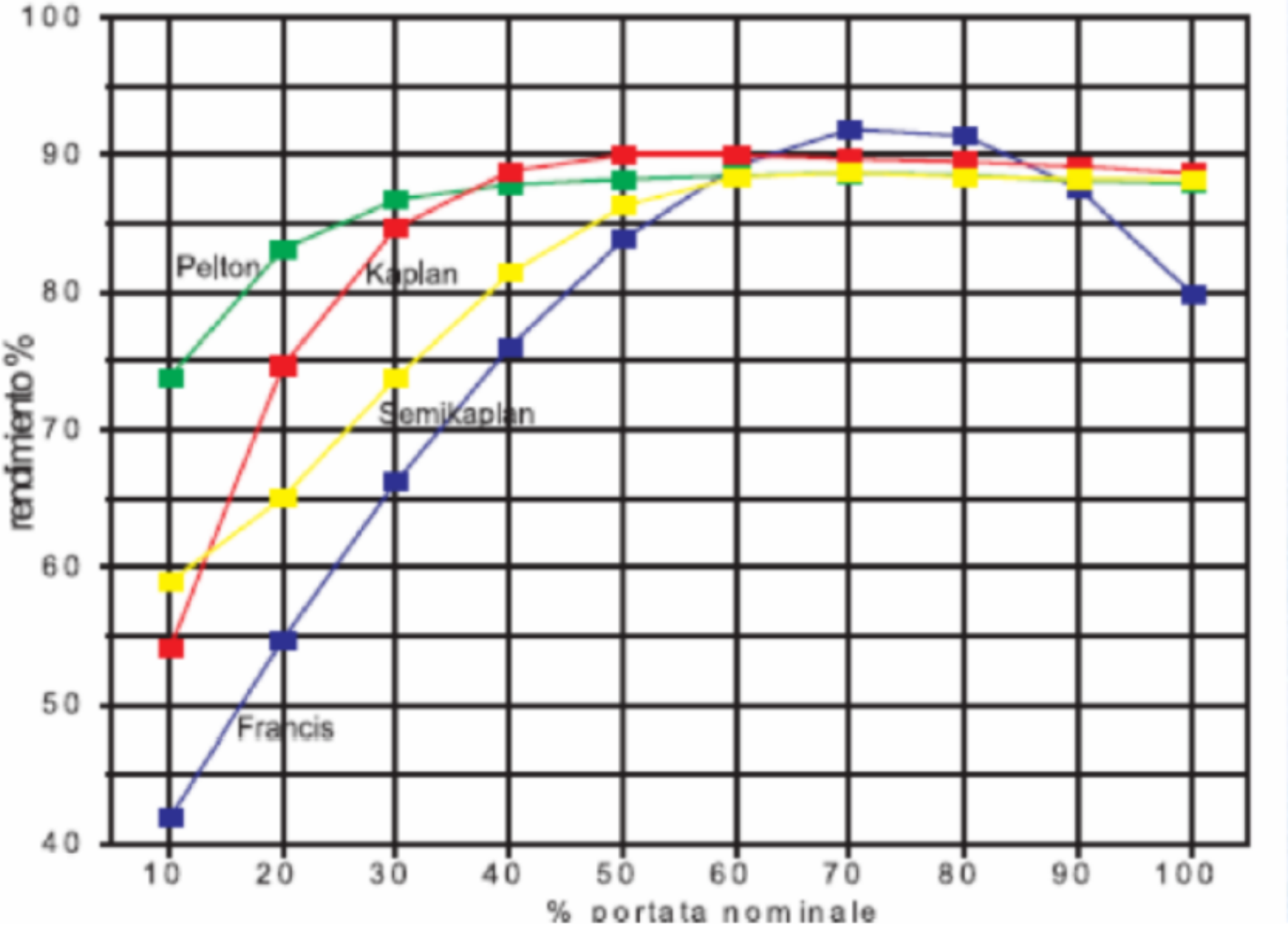
Linea minima turbina

Linea minima vitale

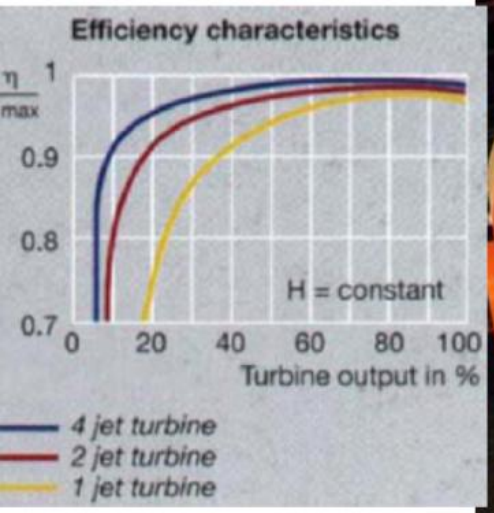
Linea minima vitale = 2 l/(s km^2) – Trentino

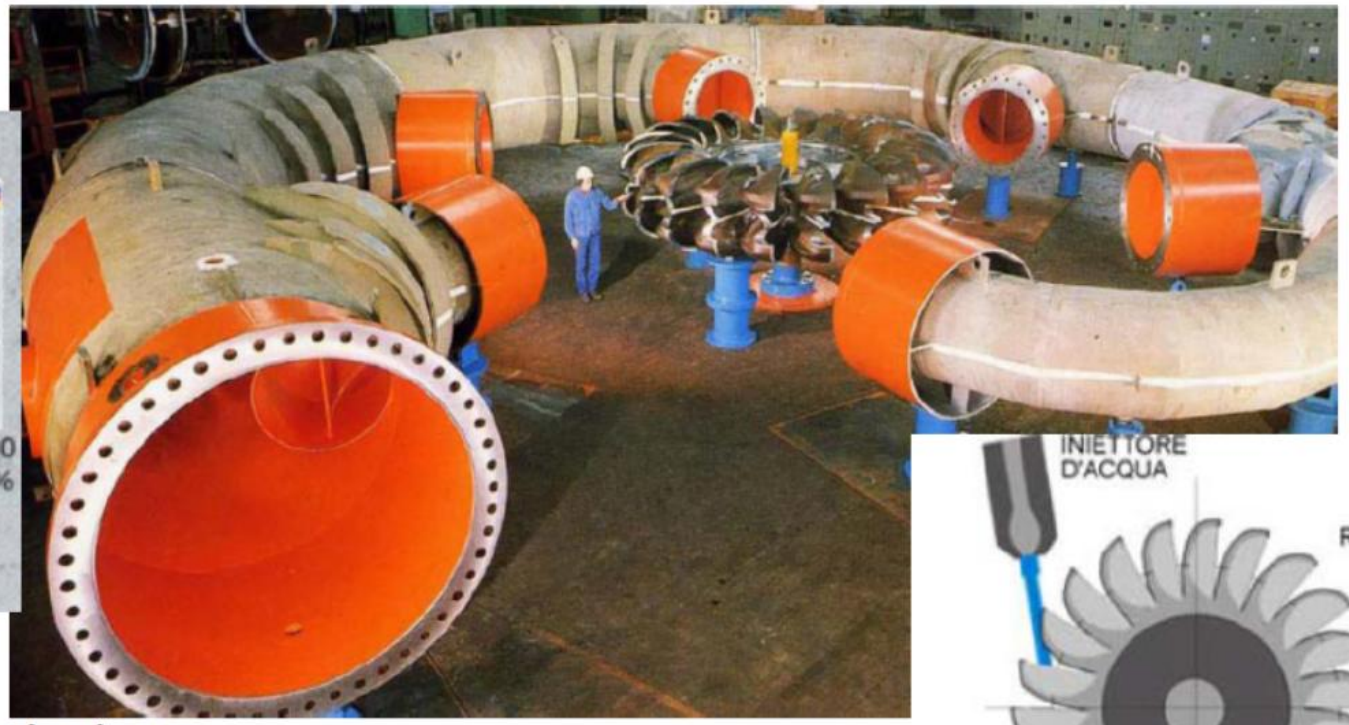
10% portata corrente – Piemonte

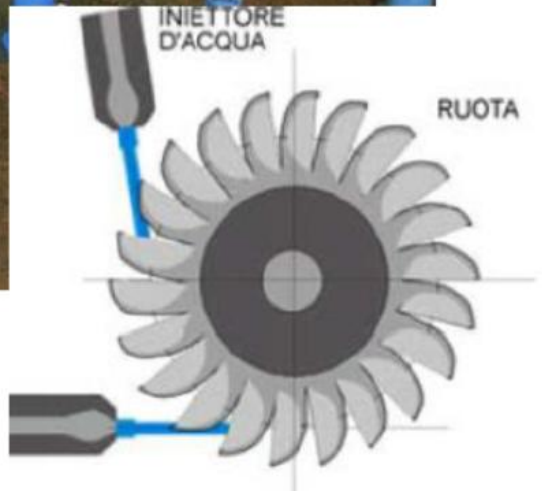

Portata [m3/s]
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
Gnom
Gmin
DMV
0
100
200
300
400
Giorni dell'anno in cui la portata è superiore al valore in ordinata


100
90
80
70
60
50
40
rendimiento %
Pelton
Kaplan
Semikaplan
Francis
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
% portata nominale

Turbina Pelton







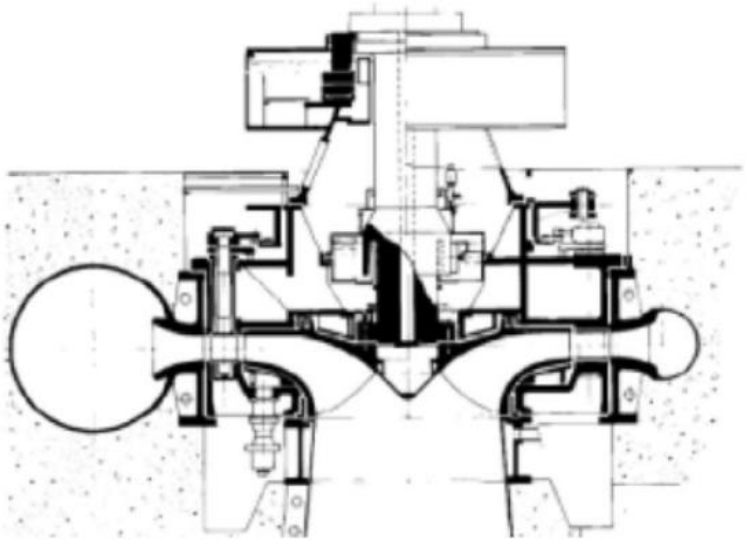
Da 1 a 6 ugelli di iniezione

Tegola di interruzione getto in caso di velocità di fuga

Dislivelli da 50 a 1300 m

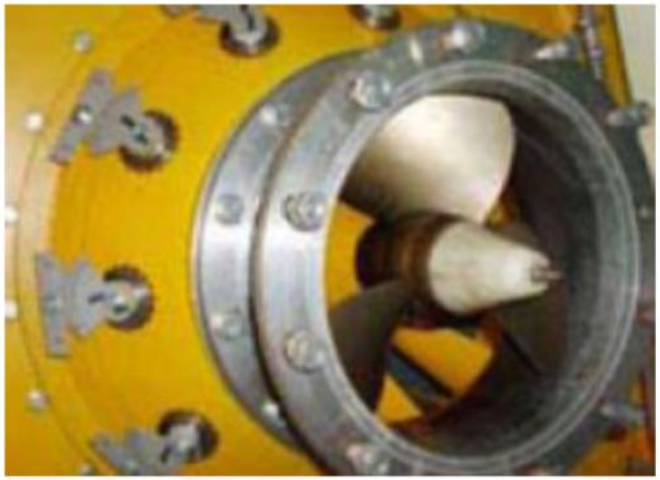
Tipologia di turbine – turbina Francis

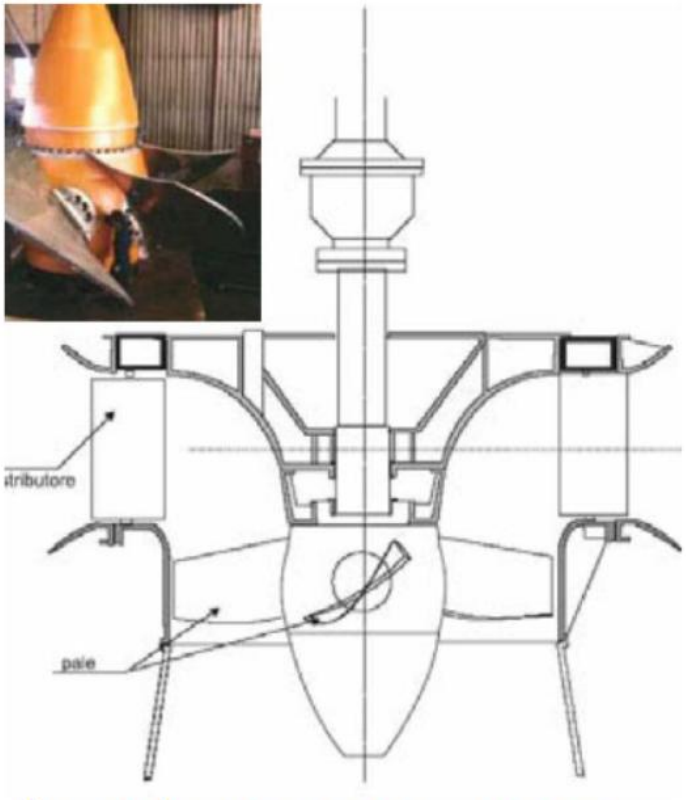




Turbina a reazione (acqua in moto come in condotta a pressione)
Ingresso radiale e uscita assiale
Usate per salti medi 10 m e 350 m

Tipologia di turbine – turbina Kaplan (ad elica)

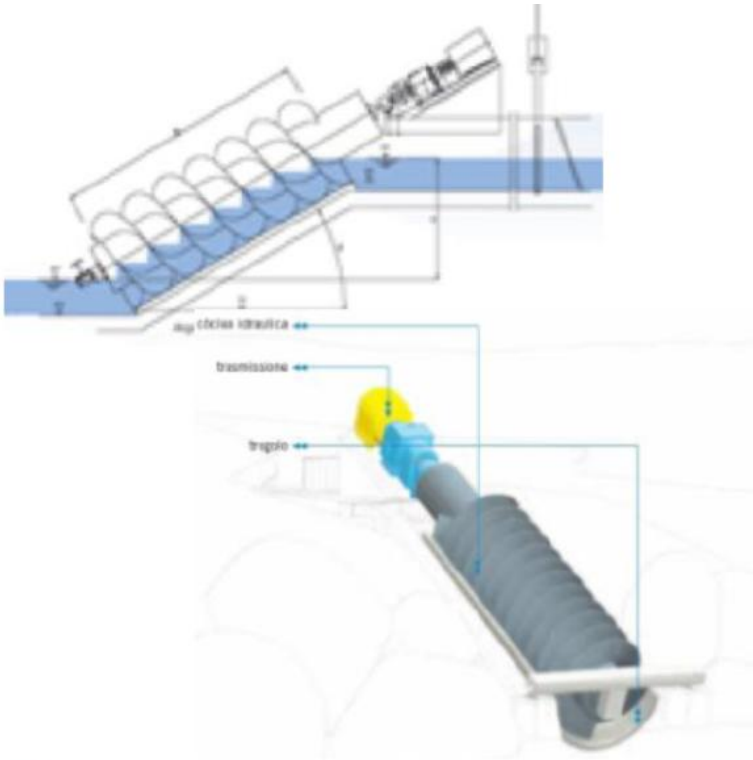




Turbina per bassi salti. A seconda del modello, le pale possono essere regolabili o solo in parte

Tipologia di turbine – turbina a coclea





Salti da 1 m a 10 m e portate da 500 l/s a 6000 l/s

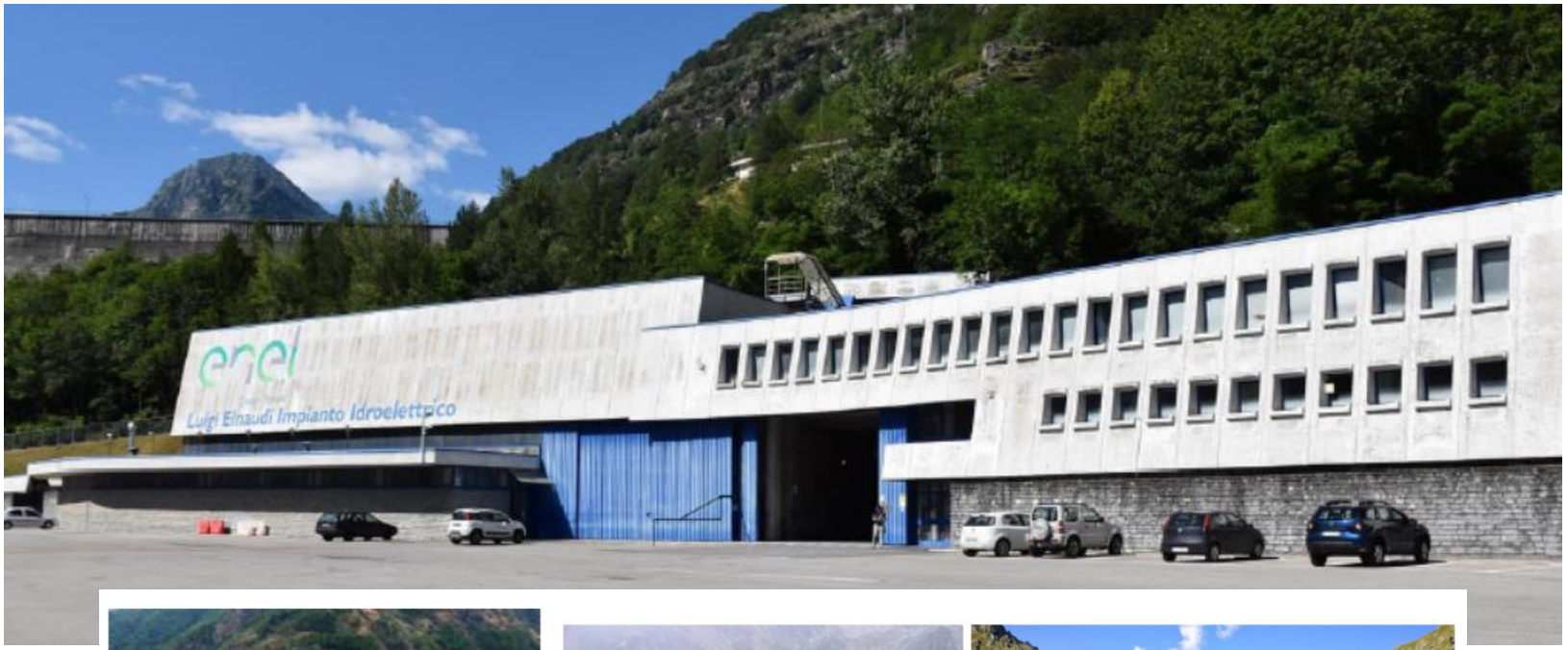
Rispetto alle Francis/Kaplan continuano a funzionare anche con basse portate e/o irregolari, opere civili minime, rendimenti bassi (70%)

Idroelettrico

Italia 4928 impianti attivi a Giugno 2025 (+300 dal 2020) = 22 GW (35% della potenza nazionale da fonti green)
Boom mini idroelettrico dal 2000:
A fine 2023 73,4% degli impianti < 1 MW
Distribuzione non uniforme (servono grandi portate e/o grandi dislivelli) → privilegiati territori montuosi

- Piemonte = regione con maggior numero di impianti
- Lombardia = regione con produzione maggiore
- Le altre regioni con maggiore idroelettrico sono Trentino, Veneto, Valle d'Aosta e Friuli

Centrale Einaudi – 1,1 GW ca fabbisogno della provincia di Torino





Diga Piastra



Lago Chiotas



Lago Rovina

Tot 42’000’000 m^3 di acqua – sistemi di pompaggio anche tra i vari bacini

Il Proto-Idroelettrico in Liguria - Genova

Il primo idroelettrico in Italia: l'impianto dell'acquedotto S.A. De Ferrari Galliera



Lago Lavezze



Lago Lungo



Lago Badana



Centrale Galvani (1890)



Centrale Volta (1891)

Centrale Pacinotti (1892) non presenti foto

Il Proto-Idroelettrico in Liguria

Il primo idroelettrico in Italia: l'impianto dell'acquedotto S.A. De Ferrari Galliera



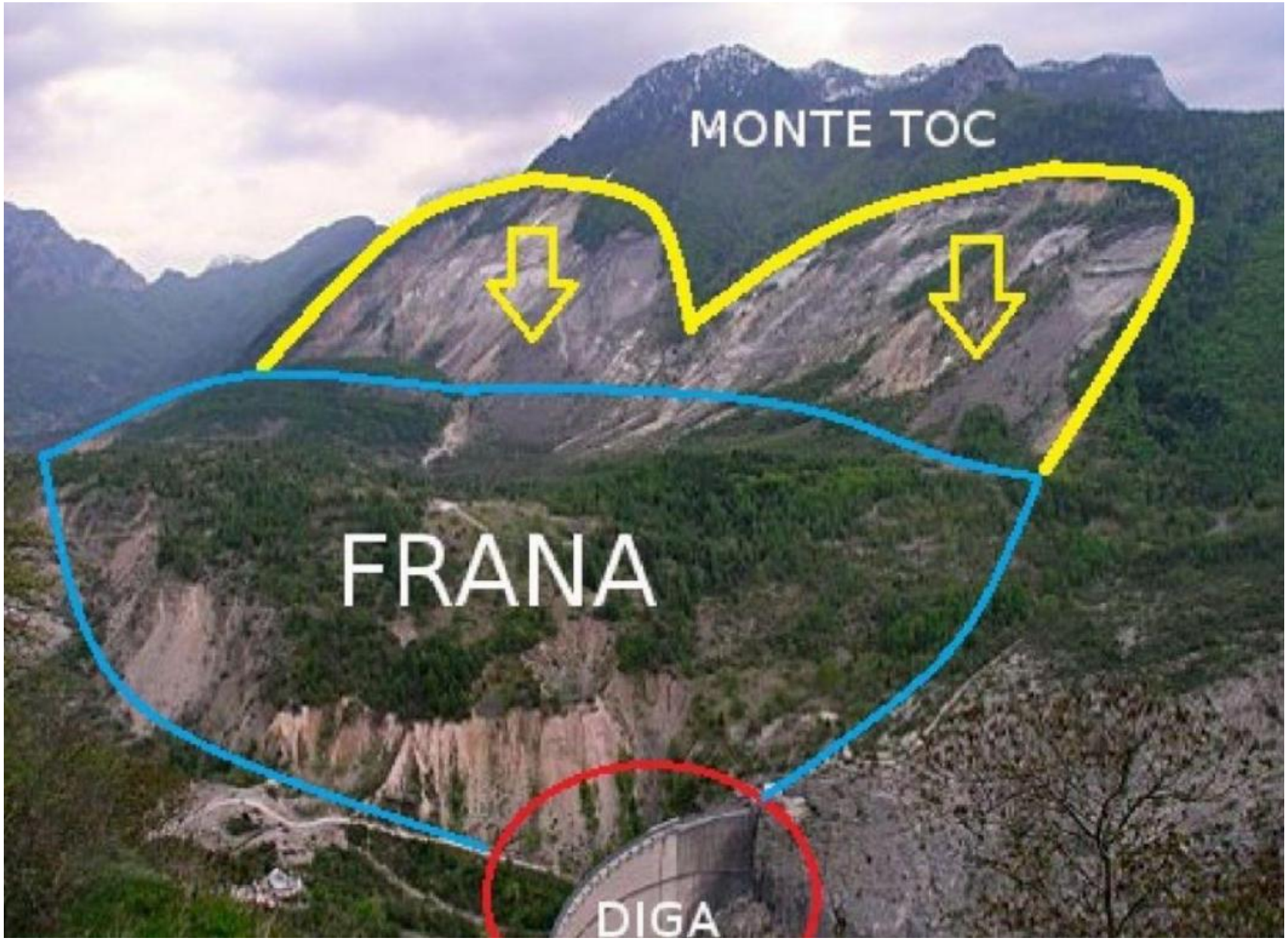
Centrale idroelettrica operativa sostitutiva di Galvani, Volta e Pacinotti (1907, ancora oggi in funzione)







https://www.youtube.com/watch?v=FWzQo1F687c – Marco Paolini «Racconto del Vajont»


MONTE TOC
FRANA
DIGA

Il piccolo «Vajont» - 3° posto per tragedie dopo Vajont e Gleno

Diga Ortiglieto (Molare) -1921

Diga successiva (bric Zerbino) costruita in itinere senza valutazioni geologiche per aumentare il volume dell'invaso

Bacino in esercizio dal 1924

Estate 1935 (siccitosa)

13/08/35 h 06,00 – pioggia copiosa – assenza stazioni pluviometriche = impossibile prevedere tempo raggiungimento livelli di soglia



H 10,00 viene aperto lo scarico profondo a campana → bloccato dopo pochi minuti per fango e detriti. Nel frattempo dalla diga secondaria da ore l'acqua tracimava con un salto di 14 m

H 13,30 l'invaso raggiunse ca 30'000'000 m3 rispetto ai 18'000'000 m3 max previsti = crollo diga secondaria



Molare raggiunta in 15 min spazzando ponti (ferroviario e stradale) e borghi – 115 morti

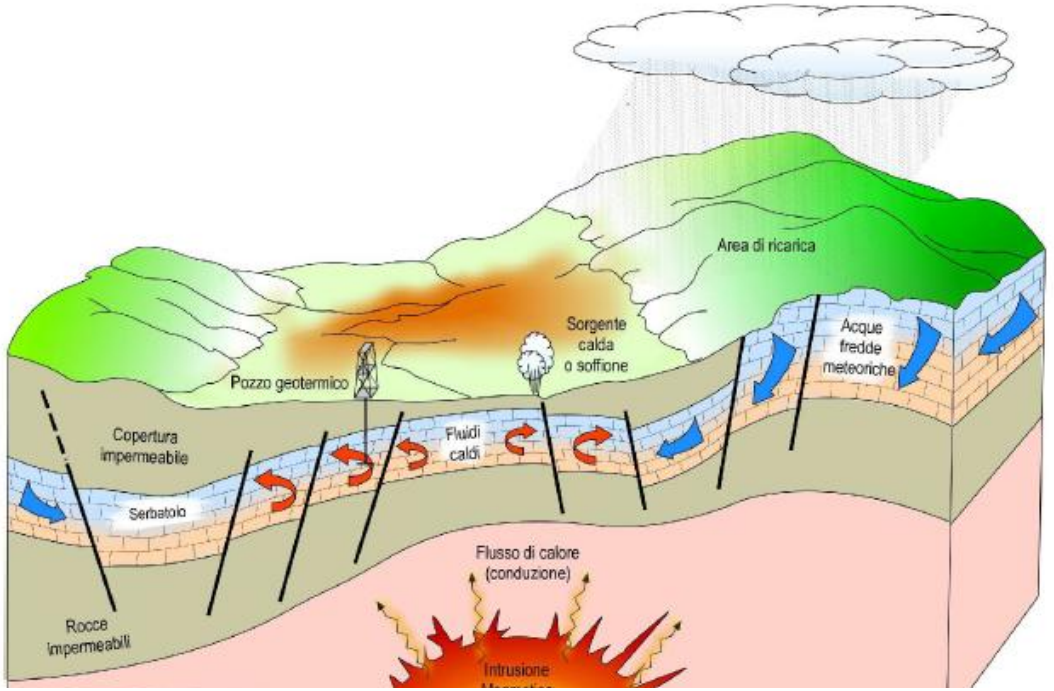
Ovada raggiunta in 30 min, qui 102 delle 115 vittime

Incidente sottoposto a segreto da parte del regime

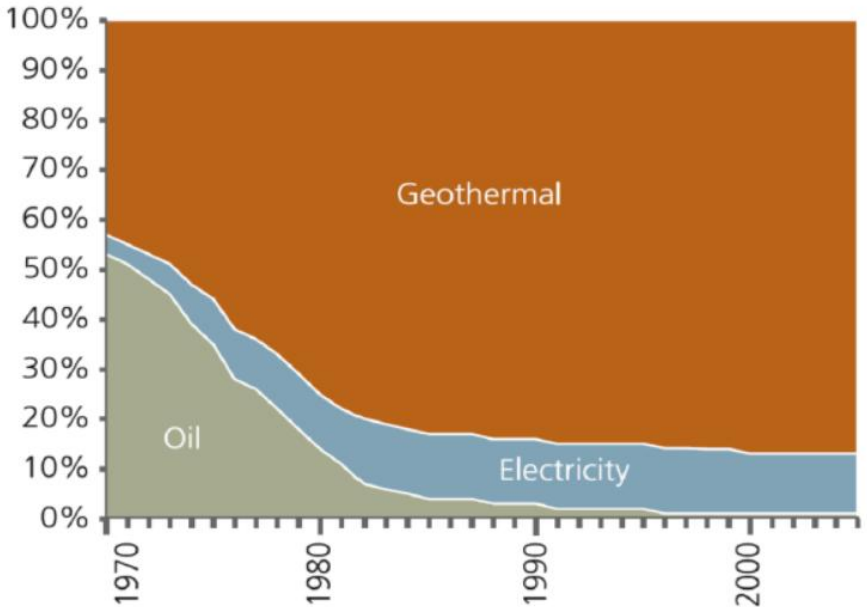


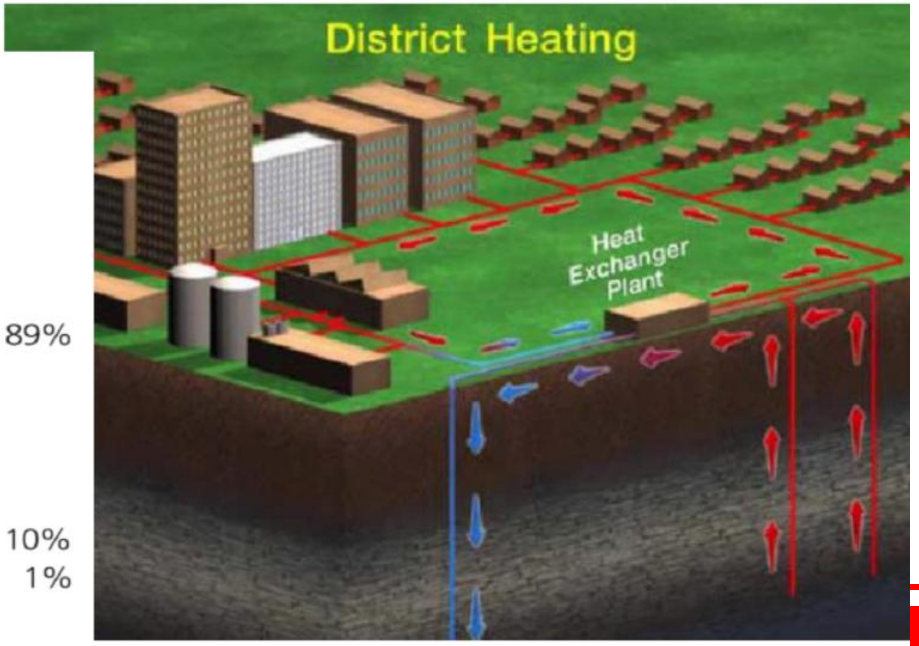
Geotermia o Geotermale?

Geotermale



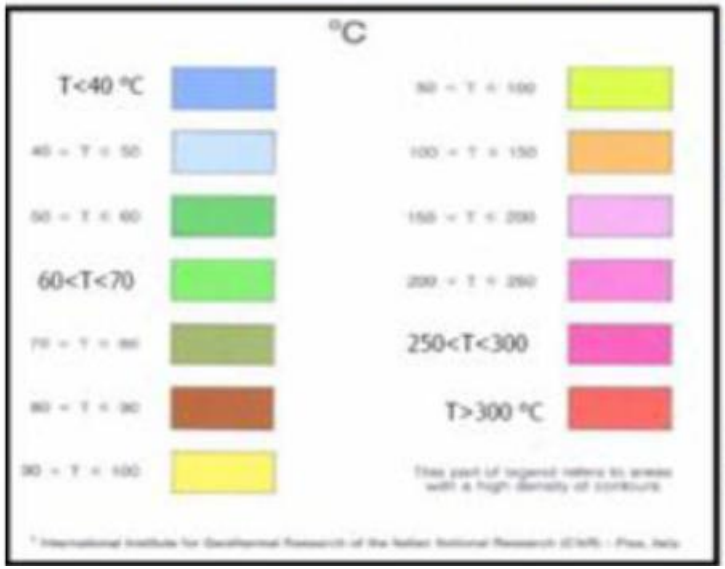
Islanda

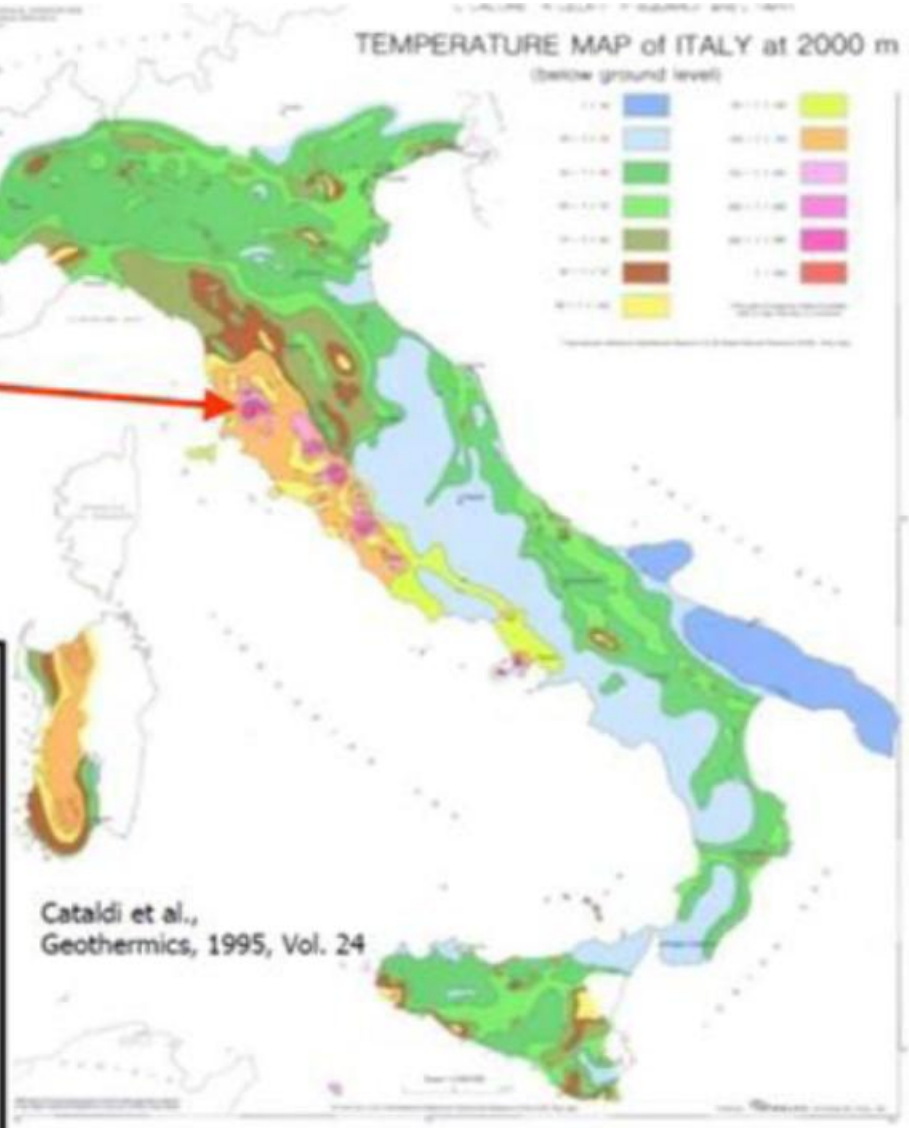




Il geotermico in Italia

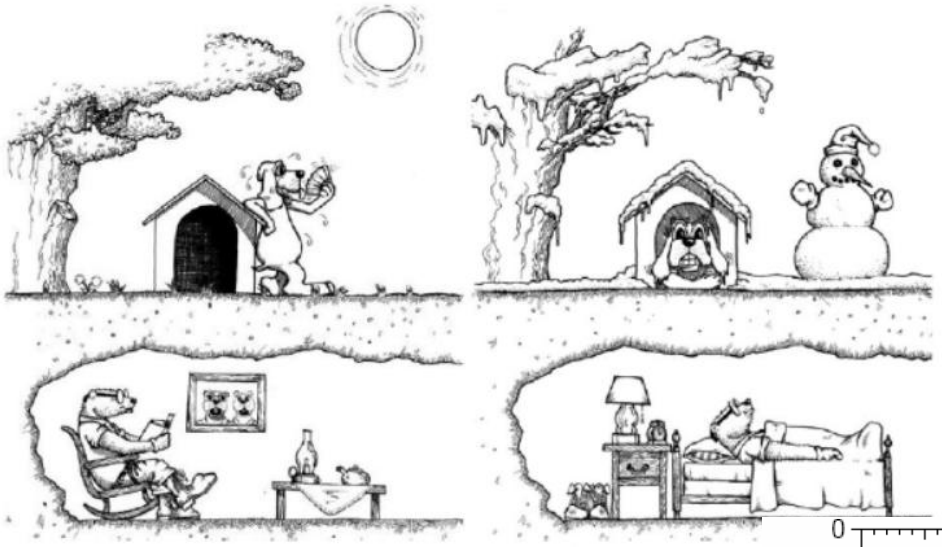


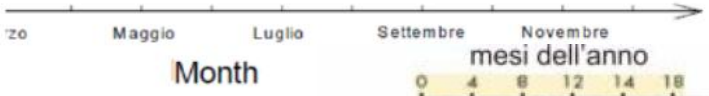


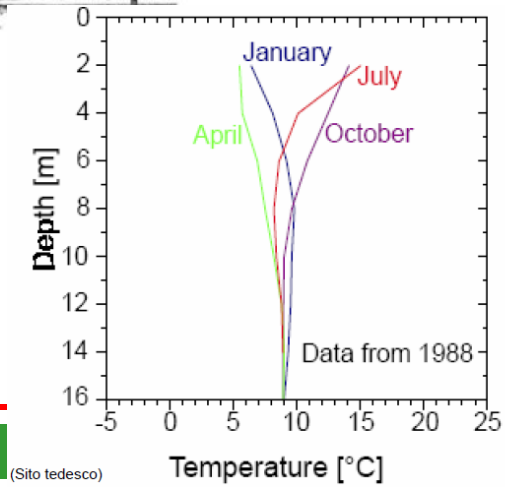


Il Geotermico in Italia

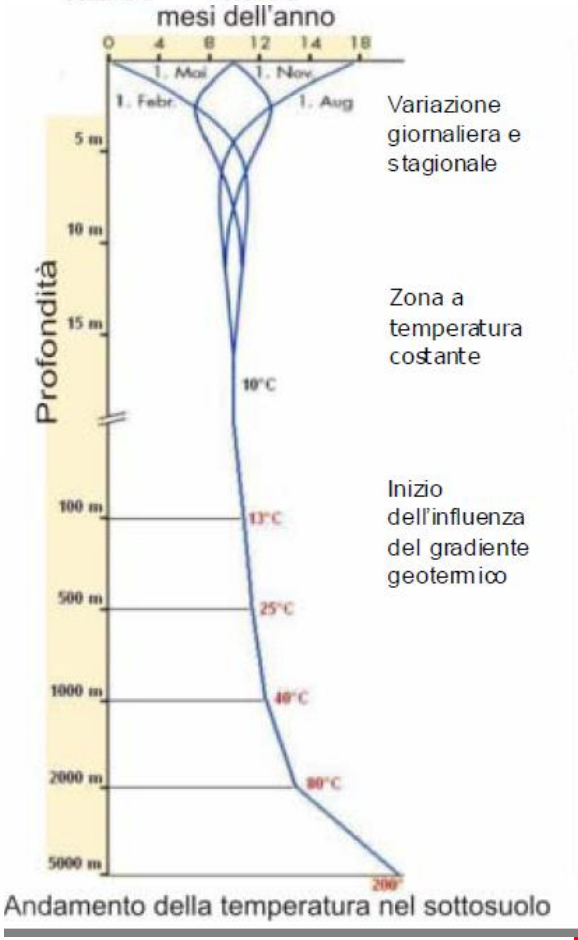






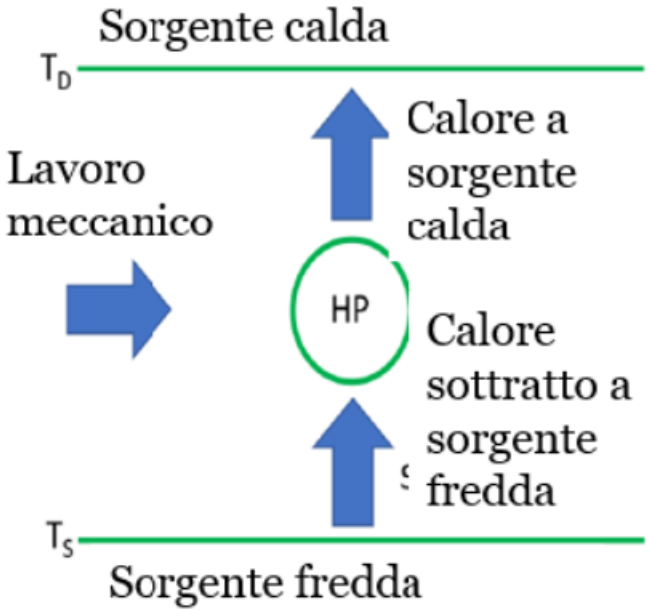


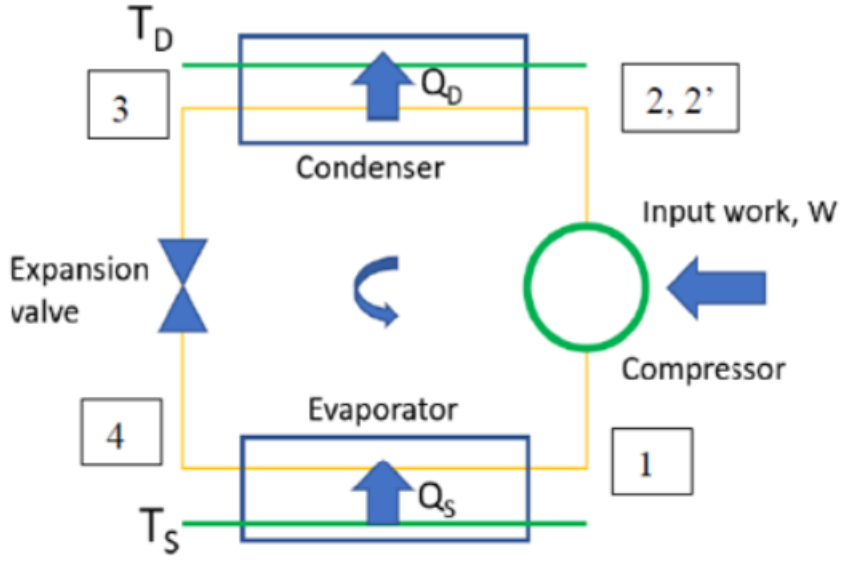
(Sito tedesco)



Andamento della temperatura nel sottosuolo

Pompe Di Calore ElioAssistite – componenti principali – pompa di calore



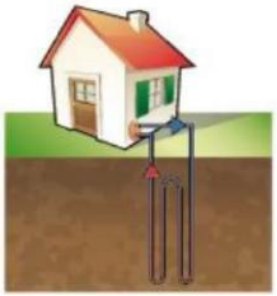


$$COP_{HP} = \frac{Q_D}{W} = \frac{T_D}{T_D - T_S}$$

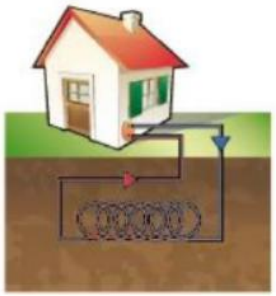
Dipende dall'applicazione

Dipende dall'applicazione e dalla sorgente esterna. Es. sorgente esterna a temperatura poco inferiore a TD e stabile = alto COP

Verticale

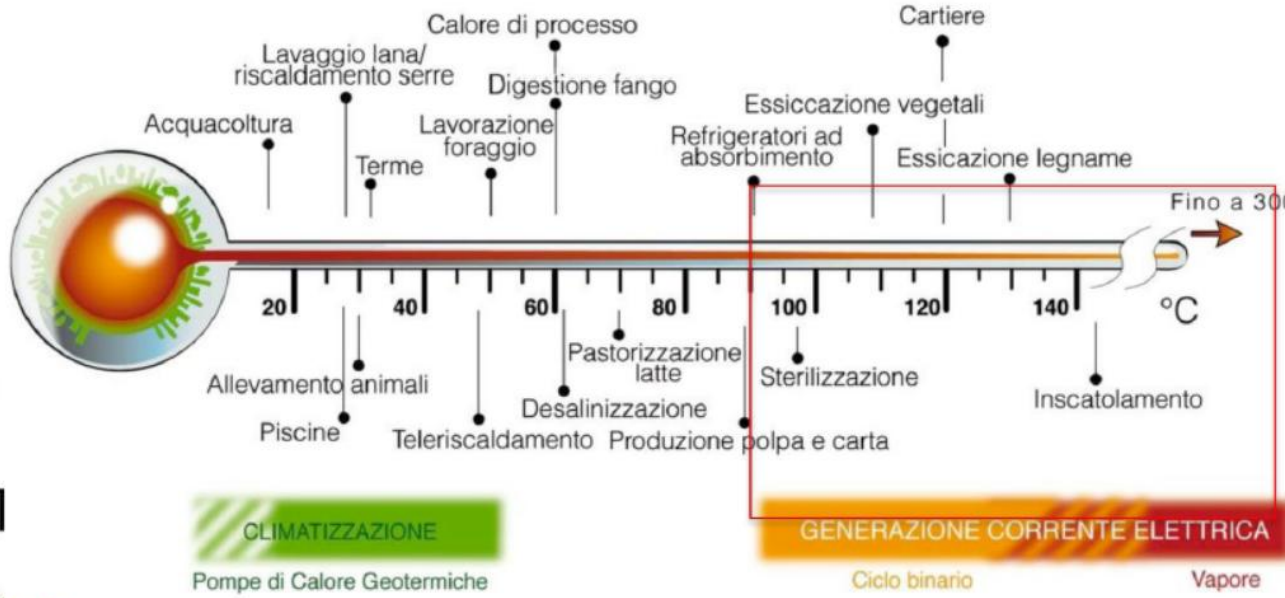


Elicoidale

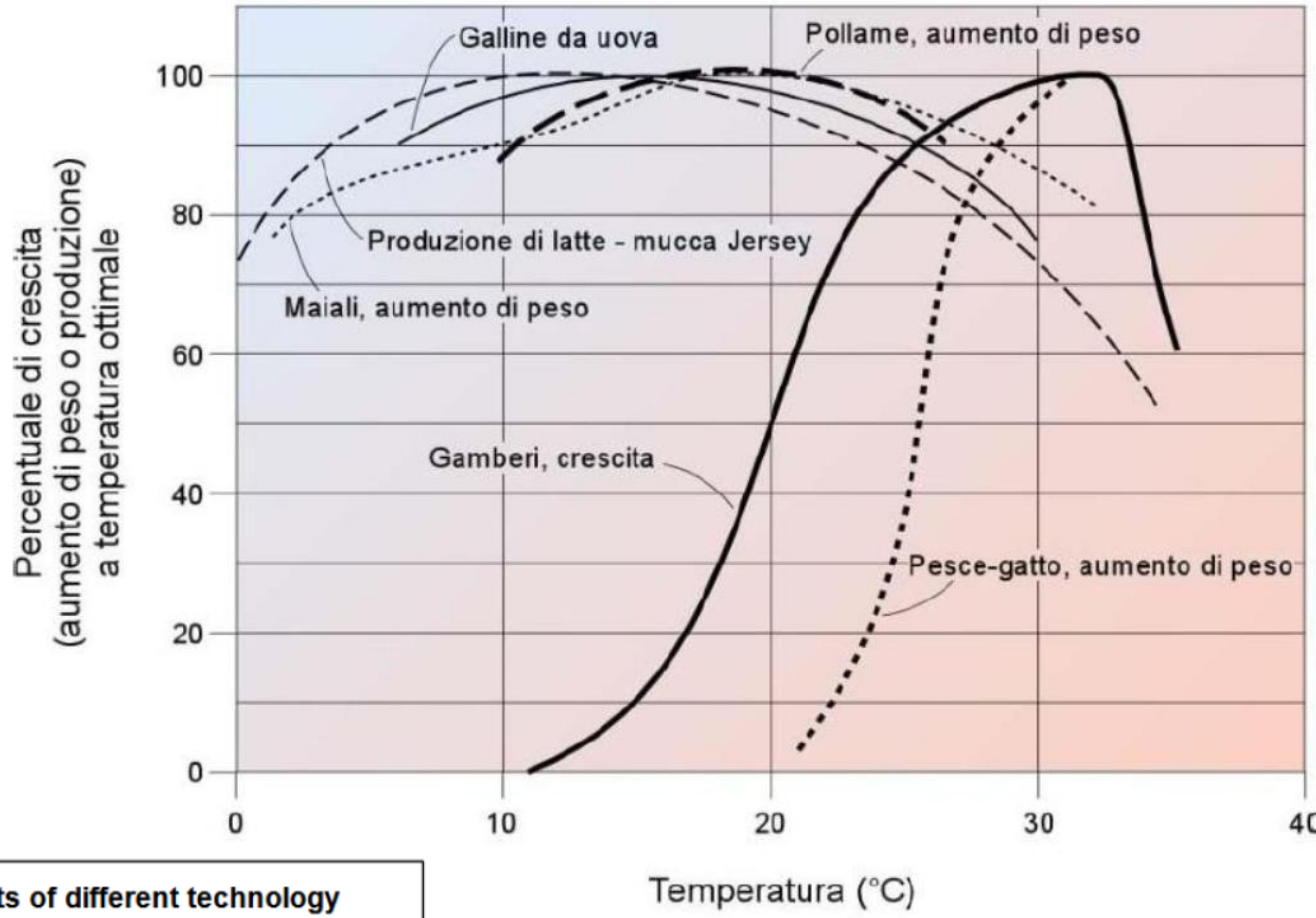


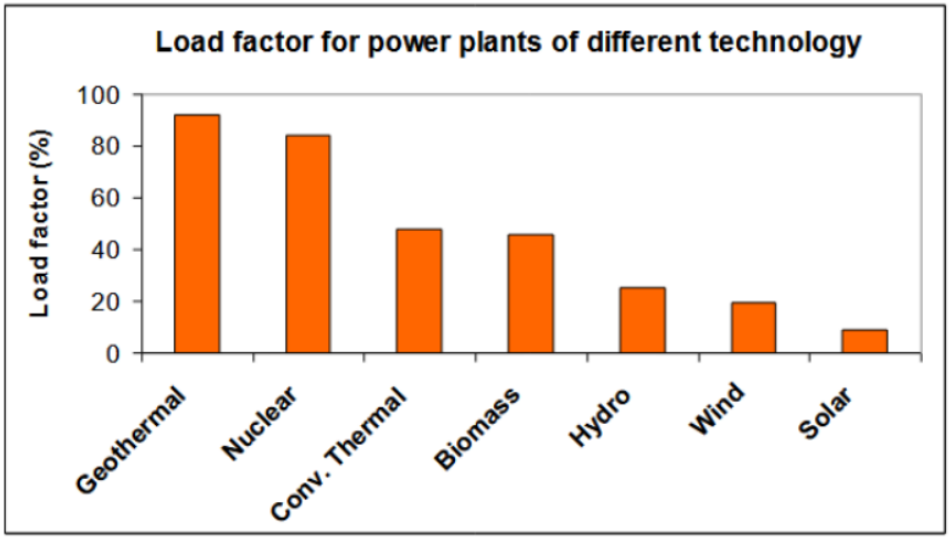
SISTEMI APERTI








Galline da uova
Pollame, aumento di peso
Produzione di latte - mucca Jersey
Maiali, aumento di peso
Gamberi, crescita
Pesce-gatto, aumento di peso
Percentuale di crescita (aumento di peso o produzione) a temperatura ottimale
Temperatura (°C)
0
20
40
60
80
100
0
10
20
30
40


Load factor for power plants of different technology
Load factor (%)
0
20
40
60
80
100
Geothermal
Nuclear
Conv. Thermal
Biomass
Hydro
Wind
Solar

Possibilità di sfruttamento del calore del terreno :

- Acqua di falda

  molto spesso problemi di autorizzazione, costi degli impianti relativamente limitati, spesso problemi di insabbiamento

- Calore del terreno tramite sonde o collettori orizzontali

  sistema chiuso, pochi problemi a livello amministrativo

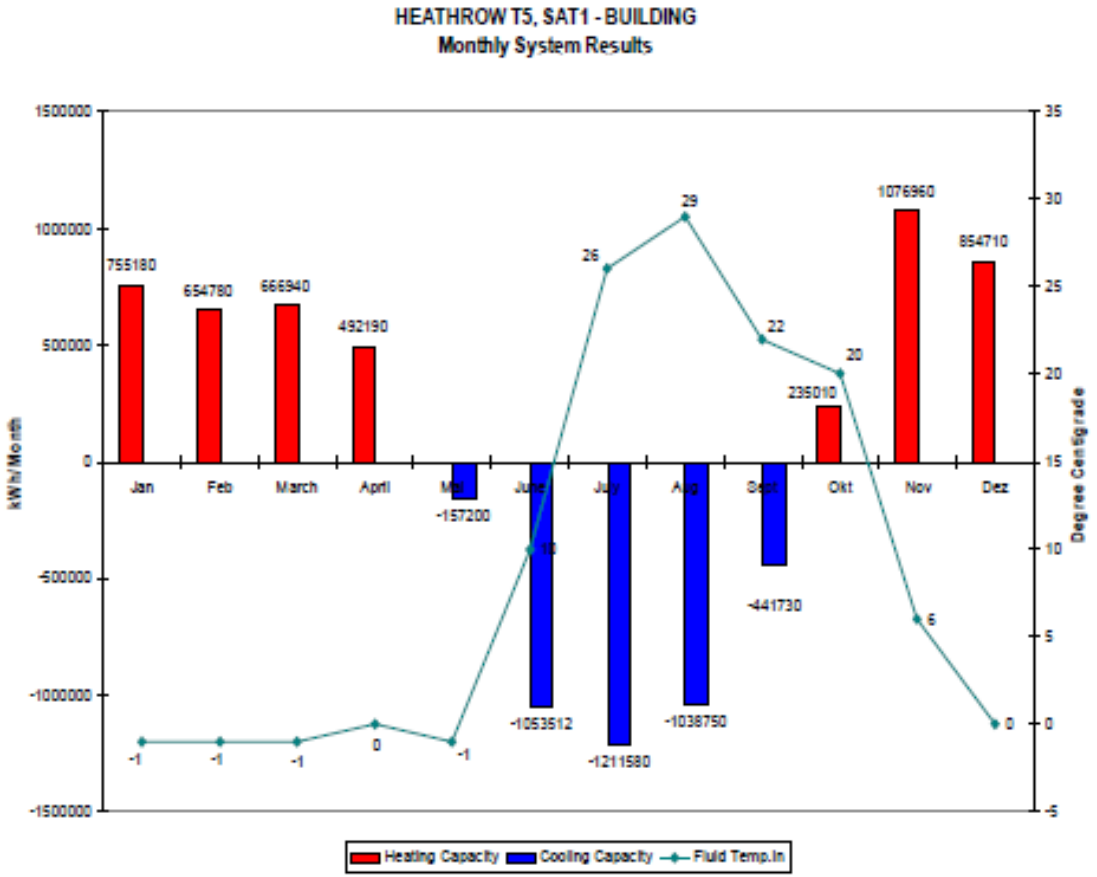
  Realizzazione delle sonde con lavoro aggiuntivo costoso

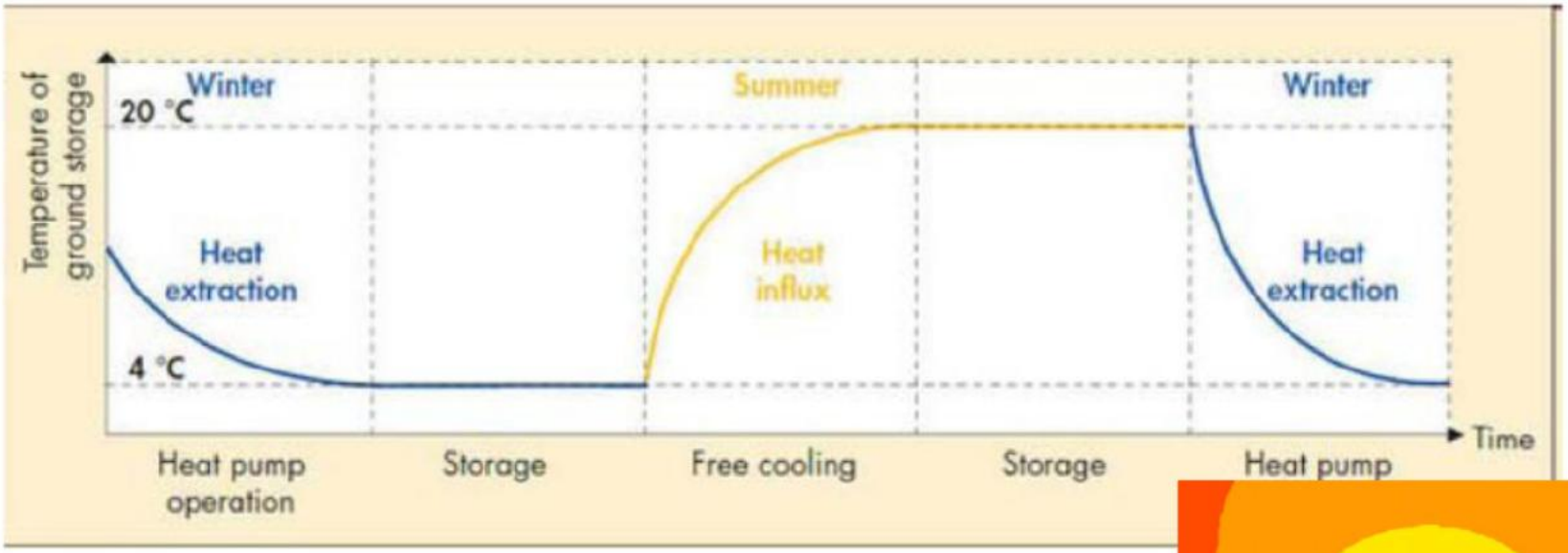
- Calore del terreno tramite strutture in cemento a contatto col terreno

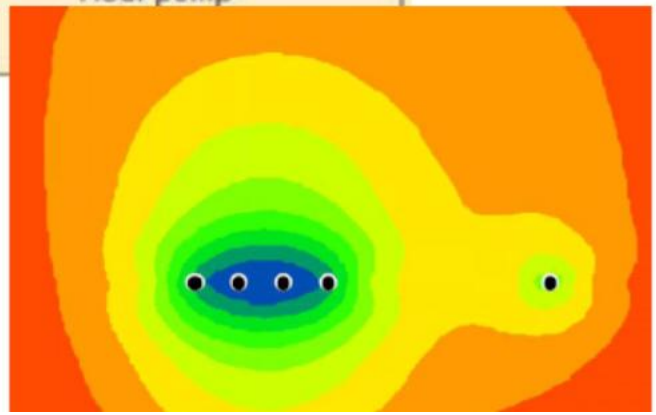
  sistema chiuso, non ci sono problemi amministrativi per autorizzazioni, utilizzo di componenti della struttura con funzioni statiche, pochi costi aggiuntivi

Simulazione dinamica del dei carichi termici dell'edificio e del comportamento terreno

- Energia di riscaldamento e raffrescamento mese per mese
- Carichi di picco in riscaldamento ed in raffrescamento mese per mese
- Comportamento del terreno nell'arco di un anno e in 20 anni
- Andamento della temperatura del fluido termovettore nel corso dell'anno




Temperature of ground storage
Winter
20 °C
Heat extraction
4 °C
Summer
Heat influx
Winter
Heat extraction
Time
Heat pump operation
Storage
Free cooling
Storage
Heat pump



- ## Sonde verticali

  perforazioni verticali nelle quali si annegano tubazioni (in materiale plastico o in metallo). Profondità tra ca. 30 m e ca. 200 metri.

  Vantaggi: necessitano di poco spazio in superficie; le oscillazioni stagionali di temperatura in prossimità della superficie del terreno hanno un influenza minima

- ## Collettori orizzontali:

  tubazioni in materiale plastico o in metallo vengono inserite in degli scavi o posati prima di un riporto di terreno.

  Vantaggi: spesso si possono sfruttare spostamenti di terreno che sarebbero comunque necessari

  Svantaggi: risentono molto delle oscillazioni stagionali di temperatura in prossimità della superficie del terreno

TIPI DI SCAMBIATORI – ENERGIA ESTRATTA 50-70 kWh/m2 anno



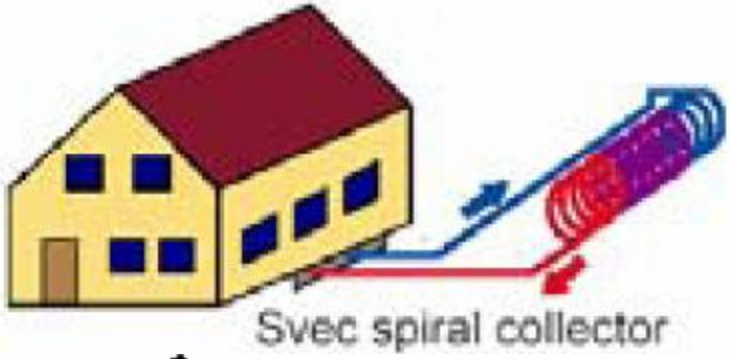
Connection in parallel



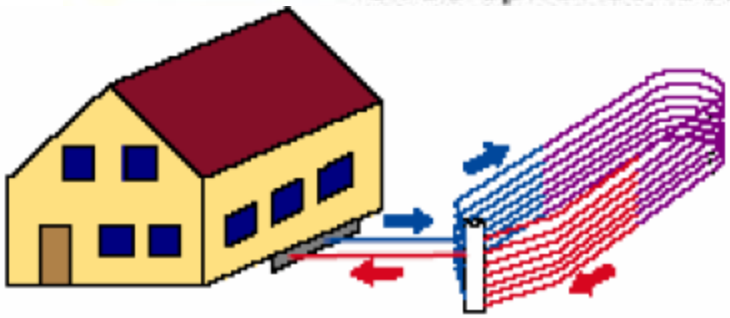
"Slinky" collector



Connection in series

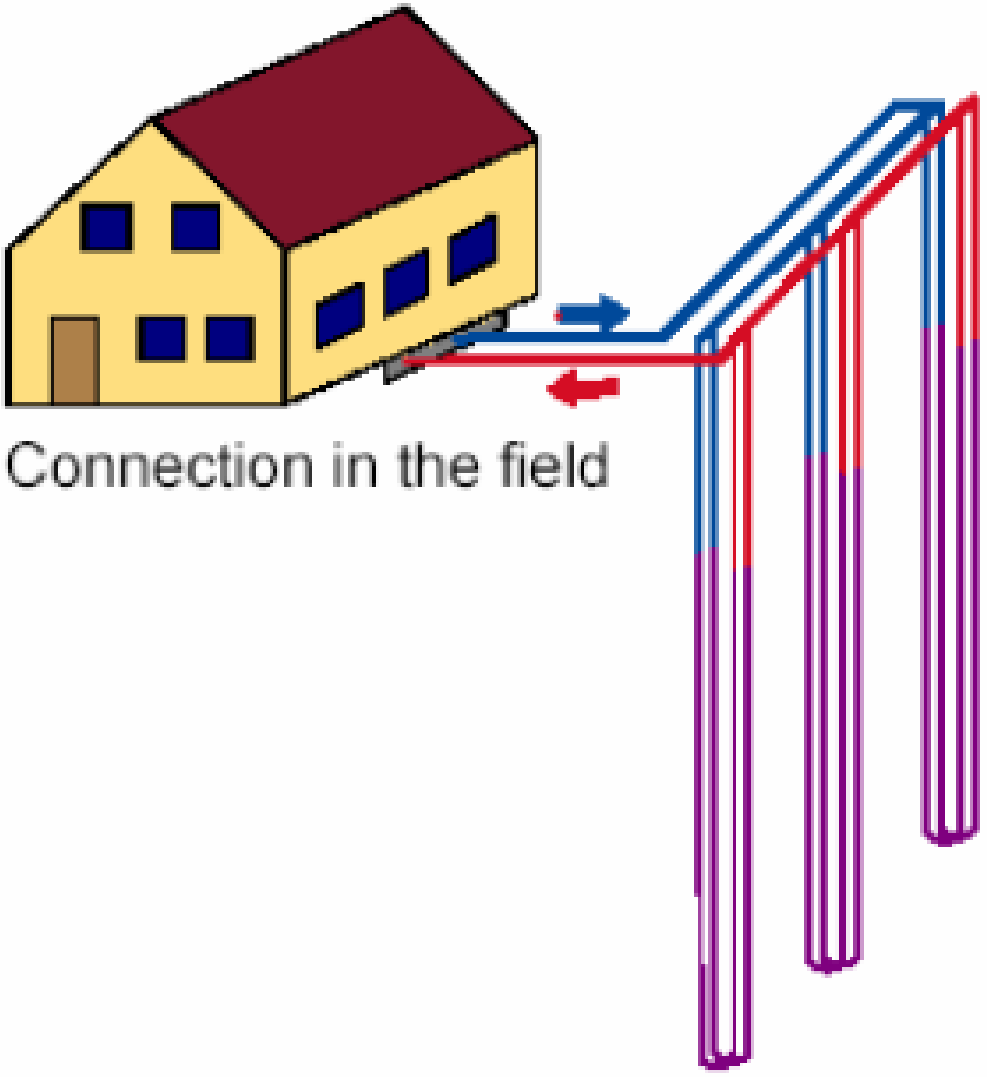


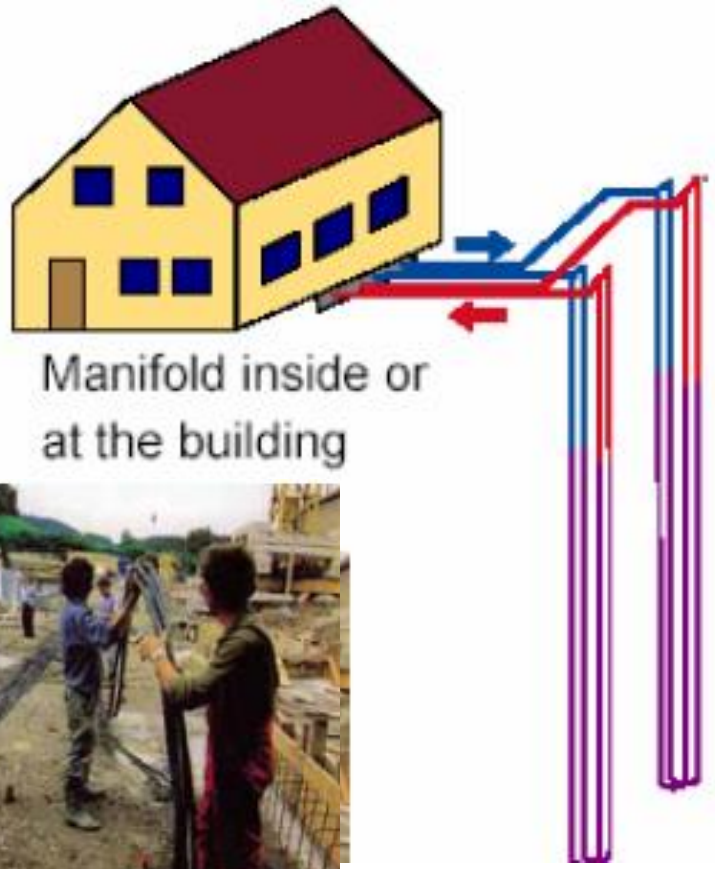
Svec spiral collector



Trench collector

SCAMBIATORI INTERRATI VERTICALI IN PARALLELO – BHE – ENERGIA ESTRATTA
100 kWh/m2 anno





Esecuzione micropali energetici






















ÖNORM B 5172 GEPRÜFT









Dimensionamento I Livello

Tipo di sottosuolo	Conducibilità termica [W/(m K)]	Potenza specifica assorbita (sonda ø 130 mm) [W/m]	Lunghezza della sonda per unità di potenza termica resa dalla pompa di calore (sonda ø 130 mm) [m/kW]	
			COP = 3	COP = 3.5
Roccia mobile secca	< 1.5	20	33	36
Roccia dura o roccia instabile satura di acqua	1.5 - 3.0	50	13	14
Roccia dura a cond. term. elevata	3.0	70	9.5	10
Ghiaia o sabbia (secche)	0.4	< 20	> 33	> 36
Ghiaia o sabbia (acquifere)	1.8 – 2.4	da 55 a 65	da 10 a 20	da 11 a 13
Argilla, limo (umidi)	1.7	da 30 a 40	da 17 a 22	da 18 a 24
Calcare massiccio	2.8	da 45 a 60	da 11 a 15	da 12 a 16
Molassa	2.3	da 55 a 65	da 10 a 12	da 11 a 13
Granito	3.4	da 55 a 70	da 9.5 a 12	da 10 a 13
Basalto	1.7	da 35 a 55	da 12 a 19	da 13 a 20
Gneiss	2.9	da 60 a 70	da 9.5 a 11	da 10 a 16

Focus centrale di Larderello

Luogo famoso per le acque medicamentose, (Licofrone greco del 270 a.C.),
Con l' insediamento degli Etruschi nella zona, fu creato un fiorente commercio sfruttando i sali borici, che depositandosi ai bordi dei lagoni naturali, furono utilizzati, sia per uso farmaceutico, sia per la preparazione di smalti.







Focus: la centrale di Larderello –



Nel 1777 → attività industriali per la produzione dell' acido borico dalle acque geotermiche , (Francesco Hoefer, direttore delle Farmacie del Granducato di Toscana).
Dal 1818, la ditta "Larderel" di Livorno, Fondata da Francesco de Larderel, inizia lo sfruttamento industriale delle acque boriche, su larga scala.



Ing. Francesco Giacomo Larderel

Focus: la centrale di Larderello –
Prima acqua con boro fatta evaporare con fuoco di legna

Larderel usa il calore geotermico→ quando inizia a mancare perfora più in profondità



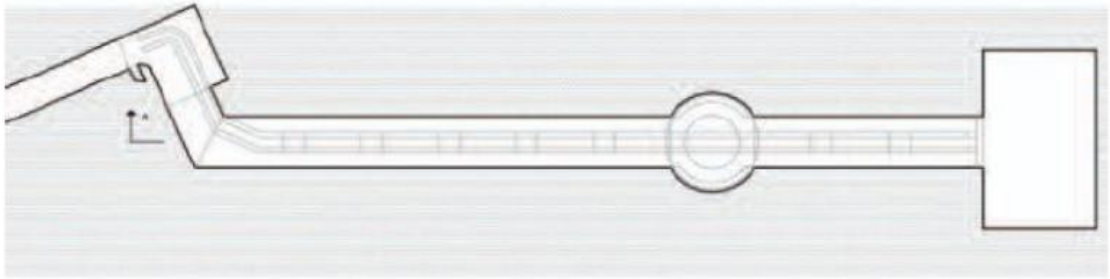
Il «lagone» di Larderel

Da lì si passò all'energia meccanica con le prime pompe che sfruttavano il vapore prodotto →
1904 prima prova di trasformazione in energia elettrica accendendo 5 lampadine.
1905 primo generatore da 20 kW
1913 primo generatore da 250 kW

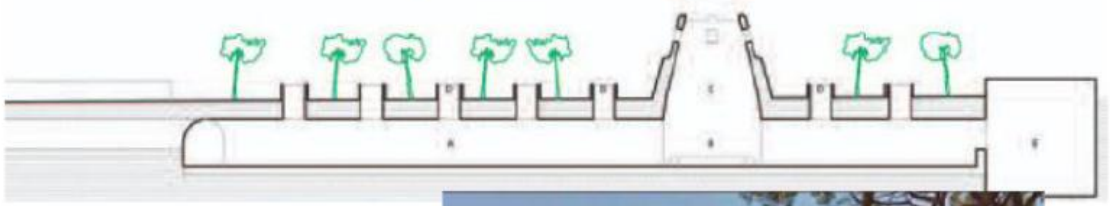


Free cooling – alcuni esempi – le grotte dello Scirocco





51 m – il «passiaturi»





Free cooling – alcuni esempi – le torri iraniane - Badgir

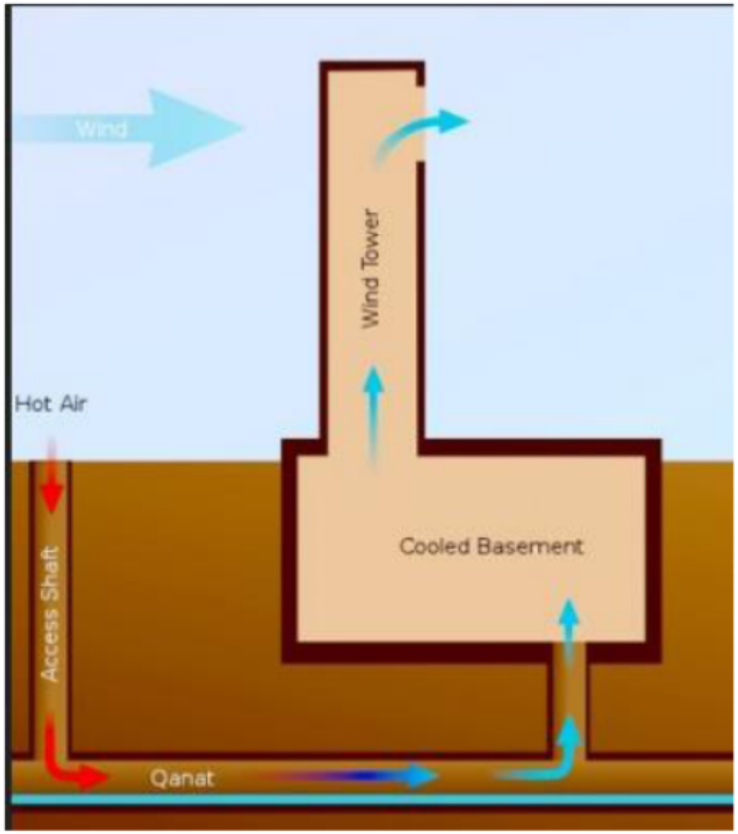




Mediamente 5 m, alcune arrivano a quasi 35 m

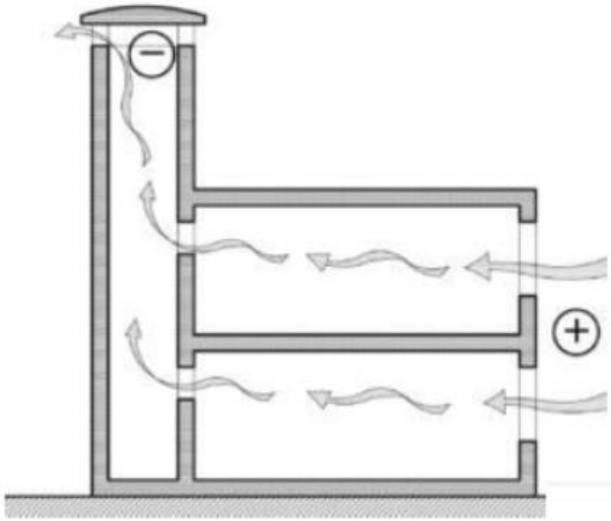


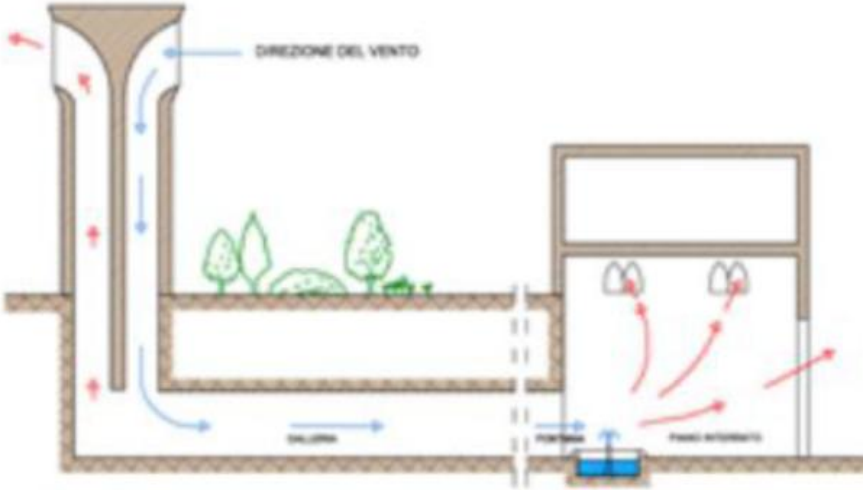
Free cooling – alcuni esempi – le torri iraniane - Badgir

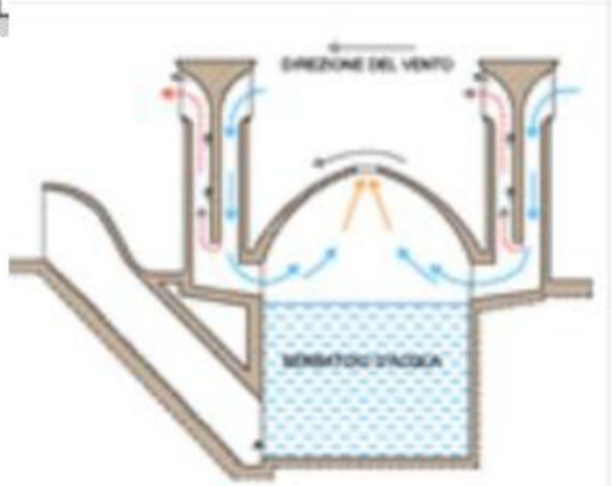


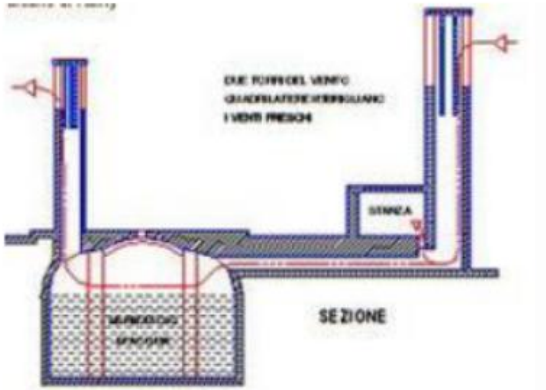
Canale sotterraneo con acqua → ulteriore raffrescamento di acqua e ventilazione dell'acqua evitando la stagnazione

Free cooling – alcuni esempi – le torri iraniane - Badgir









GRAZIE PER L'ATTENZIONE