



**UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE**



**Elisa Mariavittoria Bertolini**  
via A. Valerio 6/1  
34127 Trieste  
+390405583493  
[elisamariavittoria.bertolini@units.it](mailto:elisamariavittoria.bertolini@units.it)

**ARGOMENTO**

**21**

**Uso razionale delle risorse energetiche**  
**Sostituzione di fonti energetiche fossili con fonti rinnovabili**

---

Laboratorio di **Costruzione dell'Architettura**  
Corso di **Tecnologie e soluzioni edilizie**  
per la **sostenibilità ambientale**

# Classificazione delle esigenze: URR

classe	esigenze	requisiti	
<b>URR.</b> Uso razionale delle risorse	Utilizzo razionale dei materiali da costruzione	URR.1.1	Utilizzo di materiali, elementi e componenti riciclati
		URR.1.2	Utilizzo di materiali, elementi e componenti aventi potenziale di riciclabilità
		URR.1.3	Utilizzo di tecniche costruttive per il disassemblaggio a fine vita
		URR.1.4	Utilizzo di materiali, elementi e componenti caratterizzati da un'elevata durabilità
	Utilizzo razionale delle risorse derivanti da scarti e rifiuti	URR.2.1	Raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani
	Utilizzo razionale delle risorse idriche	URR.3.1	Riduzione del consumo di acqua potabile
		URR.3.2	Recupero, per usi compatibili, delle acque meteoriche
	Utilizzo razionale delle risorse climatiche ed energetiche	URR.4.1	Utilizzo passivo di fonti rinnovabili per il riscaldamento
		URR.4.2	Utilizzo passivo di fonti rinnovabili per il raffrescamento e la ventilazione igienico – sanitaria
		URR.4.3	Utilizzo passivo di fonti rinnovabili per l'illuminazione
		URR.4.4	Isolamento termico
		URR.4.5	Inerzia termica per la climatizzazione
		URR.4.6	Riduzione del fabbisogno d'energia primaria e sostituzione di fonti energetiche da idrocarburi con fonti rinnovabili

# 21.1

---

## **Introduzione**

# Sostenibilità. Il ruolo del settore edilizio

Il tema dell'energia è fortemente legato con il tema della sostenibilità, la **sostenibilità energetica** rappresenta uno dei pilastri fondamentali dello **sviluppo sostenibile globale**. Definita come la capacità di soddisfare i bisogni energetici attuali senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri, essa si colloca all'intersezione tra questioni ambientali, economiche e sociali.

La questione energetica è intimamente connessa con le tre dimensioni della sostenibilità:

- **Sostenibilità ambientale**: riduzione dell'impatto ecologico della produzione e del consumo di energia
- **Sostenibilità economica**: accessibilità e convenienza delle risorse energetiche
- **Sostenibilità sociale**: equità nell'accesso all'energia e nelle ricadute sociali delle politiche energetiche

Un dato fondamentale ci aiuta a capire perché il settore dell'edilizia sia così centrale in questo processo. In Europa, gli **edifici sono responsabili di circa il 40% dei consumi energetici** totali e di oltre il 35% delle emissioni complessive di CO<sub>2</sub>. Questo significa che quasi la metà dell'energia che utilizziamo ogni giorno – per riscaldare, raffrescare, illuminare, far funzionare elettrodomestici e impianti – è consumata all'interno degli spazi costruiti.

L'**efficienza energetica** rappresenta la capacità di utilizzare meno energia per fornire lo stesso servizio o prodotto ed è una delle strade per **contrastare la povertà energetica**, la situazione nella quale una famiglia o un individuo non raggiunge un adeguato livello di servizi energetici essenziali a causa di una combinazione di basso reddito, spesa per l'energia elevata e bassa efficienza energetica nelle proprie case.

# Riduzione del fabbisogno d'energia

Il requisito, di estrema ampiezza e complessità, esprime la necessità, ai fini di garantire uno **sfruttamento sostenibile** delle risorse energetiche ed in accordo alla pertinente normativa tecnica, di **incrementare "l'efficienza energetica"** (con riferimento all'energia primaria) del sistema complessivo edificio - impianto in progetto [...] rispetto alla prassi corrente e all'utilizzo di combustibili solidi non gassosi".

Tale incremento può essere ottenuto **riducendo il fabbisogno** (misure di conservazione energetica e aumento di rendimento degli impianti) e utilizzando sistemi energetici basati su **fonti rinnovabili**.

**USO  
CORRETTO  
DELLA RISORSA**

**Riduzione del  
fabbisogno**

**Sostituzione  
delle fonti**

È necessario dunque separare i due ambiti operativi:

- il primo, relativo ad un **sistema edilizio** in cui l'efficienza energetica è corrisposta dalle **prestazioni dell'involucro edilizio e dagli impianti tecnici** (ivi comprese le applicazioni domotiche), in assenza di impianti a FER;
- il secondo è invece riferito alla **riduzione del consumo di energia primaria** in presenza di impianti a FER per la produzione di energia termica ed elettrica.

# Transizione energetica

Il termine "**transizione energetica**" è diventato sempre più ricorrente nel dibattito pubblico e professionale, ma spesso viene utilizzato in modo generico, come sinonimo di cambiamento o miglioramento ambientale. In realtà, si tratta di un **processo molto strutturato**, che comporta una profonda **trasformazione del nostro sistema energetico**: non solo nel tipo di energia che utilizziamo, ma anche nel modo in cui la **produciamo**, la **distribuiamo** e la **consumiamo**.

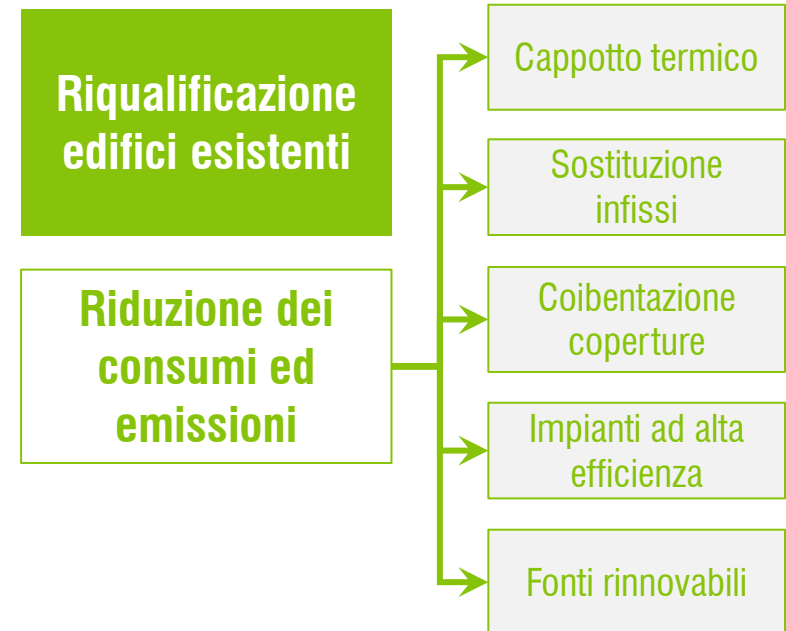
Gli obiettivi della transizione sono chiari: **ridurre progressivamente l'uso delle fonti non rinnovabili** fino ad arrivare a un sistema energetico basato quasi interamente su **fonti rinnovabili**, come il solare, l'eolico, la geotermia, l'idroelettrico e la bioenergia. Questo significa decarbonizzare la produzione elettrica, e migliorare drasticamente l'efficienza energetica in tutti i settori.

In Europa, questi obiettivi sono stati formalizzati attraverso una serie di strategie e pacchetti normativi. Il **Green Deal Europeo**, pubblicato nel 2019, punta alla **neutralità climatica entro il 2050**: ovvero, un equilibrio tra emissioni prodotte e assorbite, grazie a tecnologie, riforestazione, compensazioni. A medio termine, il pacchetto "**Fit for 55**", adottato nel 2021, fissa l'obiettivo intermedio di riduzione delle emissioni del 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990.

Anche l'Italia si è dotata di una strategia nazionale, il **PNIEC** – Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima – che dettaglia come raggiungere i target europei. Tra le priorità troviamo l'aumento della produzione rinnovabile, la riduzione dei consumi finali, la promozione della mobilità elettrica e, soprattutto, la **riqualificazione del patrimonio edilizio esistente**.

# Due strade per la sostenibilità edilizia

**Riquilificare gli edifici esistenti**, che costituiscono la parte più energivora del parco immobiliare. In Italia, gran parte degli edifici residenziali è stata costruita prima degli anni '80, con scarsa o nulla attenzione alle prestazioni energetiche. Interventi come il cappotto termico, la sostituzione degli infissi, la coibentazione delle coperture, l'installazione di impianti più efficienti e l'integrazione di fonti rinnovabili (es. fotovoltaico, solare termico, pompe di calore) sono fondamentali per ridurre i consumi e le emissioni.



# Schema decisionale di progettazione

## CHECK-LIST DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI

### 1. Diagnosi energetica e analisi preliminare

- Analisi dei consumi storici (bollette, dati di esercizio).
- Sopralluoghi, termografie, blower door test e misurazioni in situ.
- Classificazione energetica dell'edificio e definizione del suo fabbisogno annuo per usi termici ed elettrici.
- Identificazione di ponti termici, infiltrazioni d'aria, problemi di comfort e umidità.

### 2. Miglioramento dell'involucro opaco

- Applicazione di sistemi a cappotto esterno o interno, con materiali isolanti (EPS, lana minerale, aerogel, sughero, ecc.).
- Verifica dei ponti termici, soprattutto a giunzione tra elementi strutturali.
- Interventi sulle pareti perimetrali, solai contro terra e coperture.
- Considerazione del comportamento igrometrico dell'involucro (traspirabilità, rischio condensa interstiziale).

### 3. Riqualificazione delle superfici trasparenti

- Sostituzione infissi con elementi ad alte prestazioni (triplo vetro, telaio a taglio termico).
- Miglioramento della tenuta all'aria con guarnizioni e sigillature.
- Inserimento di sistemi schermanti esterni o interni per controllo solare.
- Verifica del fattore solare (g-value) e trasmittanza luminosa.

# Schema decisionale di progettazione

## CHECK-LIST DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI

### 4. Riqualificazione impiantistica

- Sostituzione caldaie tradizionali con pompe di calore, caldaie a condensazione, sistemi ibridi.
- Introduzione di VMC (ventilazione meccanica controllata) con recuperatore di calore.
- Bilanciamento dell'impianto di distribuzione, regolazione climatica e contabilizzazione dei consumi.
- Adozione di sistemi di Building Automation (BACS) per il controllo e l'ottimizzazione dei consumi.

### 5. Integrazione fonti rinnovabili

- Installazione di impianti fotovoltaici per autoconsumo, con eventuale accumulo elettrico.
- Utilizzo di solare termico per ACS o come integrazione al riscaldamento.
- Valutazione della fattibilità di pompe di calore geotermiche o aria-acqua alimentate da rinnovabili.
- Verifica dell'interazione tra produzione e profilo di consumo.

### 6. Miglioramento della sostenibilità complessiva

- Impiego di materiali a basso impatto ambientale (LCA, contenuto riciclato, riciclabilità).
- Considerazioni su accessibilità, comfort acustico, illuminazione naturale e benessere termico.
- Strategie per contrastare la povertà energetica, assicurando bollette sostenibili per tutti gli utenti.

# Due strade per la sostenibilità edilizia



**Nuova costruzione:** qui la normativa europea impone che tutti i nuovi edifici siano a **energia quasi zero (NZEB)**, cioè che consumino pochissima energia e che quella energia sia in gran parte prodotta da fonti rinnovabili in loco o nelle vicinanze. Questo comporta un cambio di paradigma nella progettazione architettonica: l'efficienza e la produzione energetica non sono più elementi tecnici da "aggiungere" al progetto, ma devono farne parte fin dall'inizio. L'orientamento, la forma, i materiali, i sistemi passivi e attivi devono essere concepiti in modo integrato.

# Schema decisionale di progettazione

## CHECK-LIST DI PROGETTAZIONE DI EDIFICI NZEB

### 1. Analisi del sito e clima

- Valutazione delle condizioni microclimatiche locali: temperature medie stagionali, irraggiamento solare, venti prevalenti, umidità relativa, piovosità
- Valutazione delle condizioni di soleggiamento e ombreggiamento del lotto
- Analisi dell'orografia, della permeabilità del suolo e delle possibilità di raccolta/gestione delle acque meteoriche.

### 2. Scelte morfologiche e orientamento

- ottimizzare forma, volumetria e disposizione dell'edificio per massimizzare l'efficienza energetica e il comfort interno
- Orientamento degli ambienti principali verso sud per sfruttare i guadagni solari invernali.
- Inserimento nel contesto urbano/paesaggistico, con attenzione alla fruibilità, alla percezione visiva e al comfort esterno.

### 3. Uso di sistemi passivi (involucro, ombreggiamento, inerzia termica)

- Ridurre il fabbisogno energetico per il riscaldamento, il raffrescamento e l'illuminazione attraverso scelte architettoniche passive.
- Progettazione dell'involucro ad alta prestazione: trasmittanze termiche basse, controllo delle ponti termici, tenuta all'aria.
- Adozione di schermature solari fisse (aggetti, frangisole) e mobili (tende, lamelle orientabili) per il controllo della radiazione estiva.
- Aperture e superfici vetrate calibrate per ottimizzare l'apporto solare e la luce naturale.

# Schema decisionale di progettazione

## CHECK-LIST DI PROGETTAZIONE DI EDIFICI NZEB

### 4. Ottimizzazione impianti

- Sistemi HVAC ad alta efficienza: pompe di calore reversibili, sistemi ibridi, geotermia a bassa entalpia.
- Ventilazione meccanica controllata con recupero di calore, per ridurre le perdite termiche legate al ricambio d'aria.
- Integrazione tra domotica e impianti per la gestione intelligente dei carichi (smart building).
- Predisposizione per la contabilizzazione dell'energia e la gestione a distanza. naturale.

### 5. Integrazione fonti rinnovabili (FV, ST, geotermia)

- Impianti fotovoltaici dimensionati in base ai consumi elettrici previsti, con ottimizzazione dell'orientamento e inclinazione dei moduli.
- Sistemi solari termici per la produzione di ACS, integrabili con pompe di calore o caldaie a condensazione.
- Valutazione della fattibilità tecnico-economica di impianti geotermici verticali o orizzontali.
- Eventuale integrazione di batterie di accumulo o sistemi V2G (Vehicle-to-Grid) per l'autoconsumo differito.

### 6. Simulazioni energetiche e monitoraggio in esercizio

- Utilizzo di software di simulazione dinamica (es. EnergyPlus, TRNSYS) per la previsione dei consumi in diverse condizioni d'uso.
- Analisi costi-benefici per valutare il ritorno degli investimenti in tecnologie e materiali.
- Installazione di sistemi di monitoraggio per la rilevazione continua dei dati energetici (consumi, produzione da FER, comfort interno).
- Adozione di strategie di commissioning e tuning post-occupazione per ottimizzare la gestione dell'edificio.

# 21.2

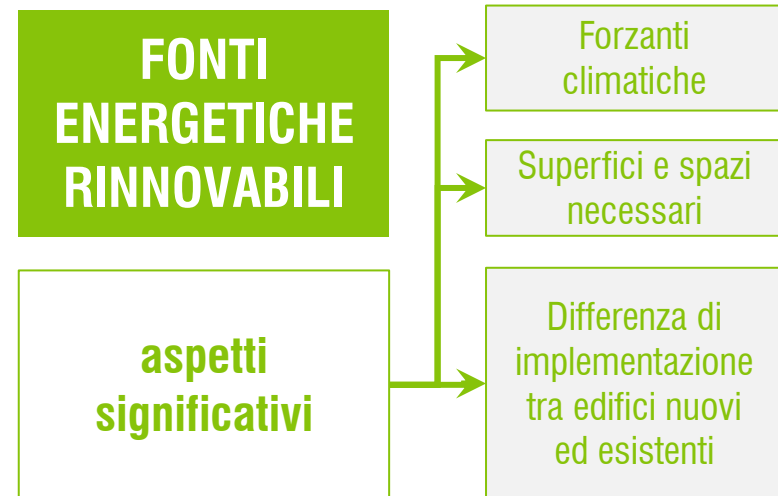
---

## **Fonti energetiche rinnovabili**

# Fonti Energetiche Rinnovabili

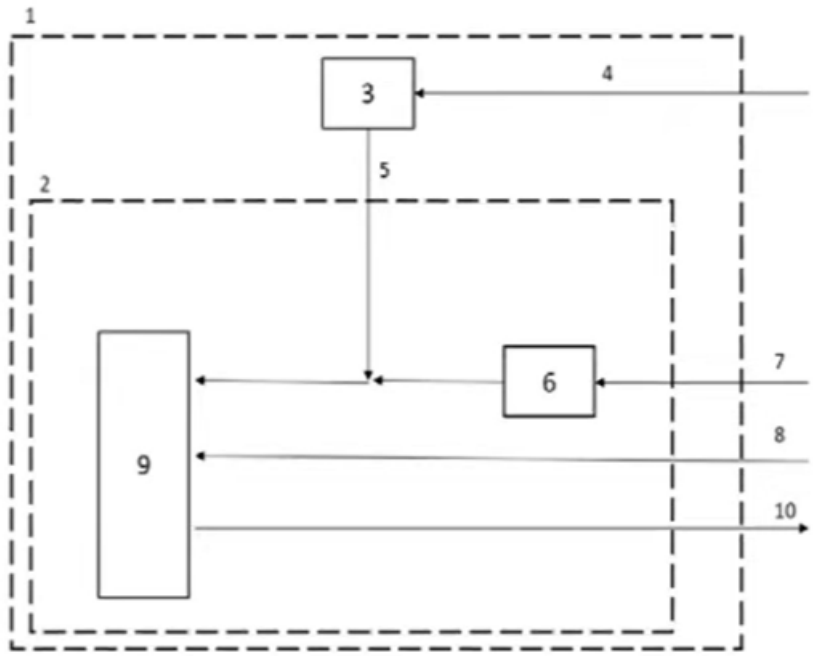
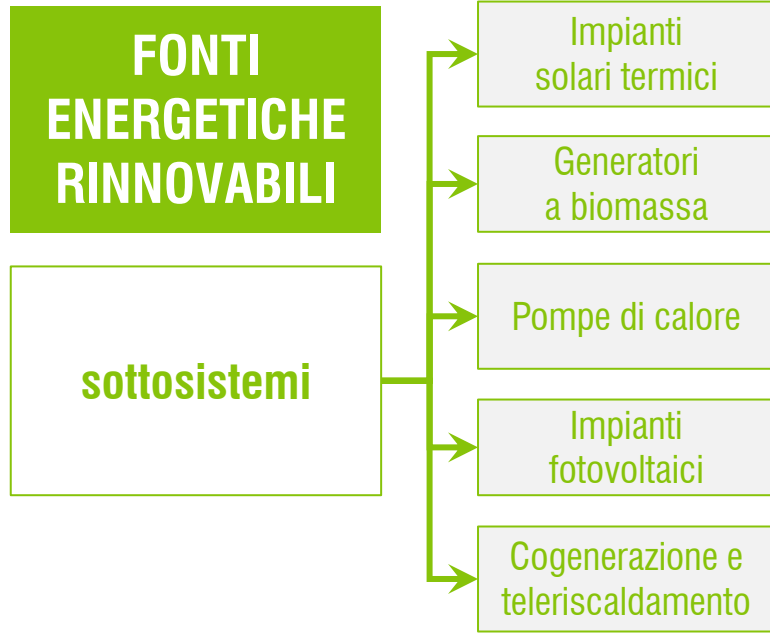
Le FER hanno raggiunto oramai una **maturità commerciale** tale da renderle **competitive** con le **fonti tradizionali**.

Esse risentono però dell'andamento **mutevole** (e oggetto di studio statistico) di **radiazione solare**, **temperatura** e **vento**.



# Fonti Energetiche Rinnovabili

La norma tecnica **UNI TS 11300 parte 4** valuta il **fabbisogno di energia** nel caso siano presenti **sottosistemi di generazione** che forniscono **energia termica utile** da **fonti rinnovabili** o da metodi di **generazione diversi** dalla **combustione a fiamma**.



- Legenda:
- 1 confine del sistema
  - 2 confine di valutazione
  - 3 sistemi che convertono l'energia da fonti rinnovabili in-situ
  - 4 energia da fonti rinnovabili in-situ
  - 5 energia prodotta da sistemi di conversione dell'energia da fonti rinnovabili in-situ
  - 6 sistemi che convertono l'energia dei vettori energetici ex-situ
  - 7 vettori energetici ex-situ che necessitano di conversione
  - 8 vettori energetici ex-situ già in forma di energia utile
  - 9 fabbisogni di energia finale
  - 10 vettori energetici esportati

# Quota rinnovabile

Vettore energetico	$f_{P,nren}$	$f_{P,ren}$	$f_{P,tot}$
Gas naturale <sup>(1)</sup>	1,05	0	1,05
GPL	1,05	0	1,05
Gasolio e Olio combustibile	1,07	0	1,07
Carbone	1,10	0	1,10
Biomasse solide <sup>(2)</sup>	0,20	0,80	1,00
Biomasse liquide e gassose <sup>(2)</sup>	0,40	0,60	1,00
Energia elettrica da rete <sup>(3)</sup>	1,95	0,47	2,42
Teleriscaldamento <sup>(4)</sup>	1,5	0	1,5
Rifiuti solidi urbani	0,2	0,2	0,4
Teleraffrescamento <sup>(4)</sup>	0,5	0	0,5
Energia termica da collettori solari <sup>(5)</sup>	0	1,00	1,00
Energia elettrica prodotta da fotovoltaico, Mini-eolico e mini-idraulico <sup>(5)</sup>	0	1,00	1,00
Energia termica dall'ambiente esterno – free cooling <sup>(5)</sup>	0	1,00	1,00
Energia termica dall'ambiente esterno – pompa di calore <sup>(5)</sup>	0	1,00	1,00

<sup>(1)</sup> I valori saranno aggiornati ogni due anni sulla base dei dati forniti da GSE.

<sup>(2)</sup> Come definite dall'allegato X del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.

<sup>(3)</sup> I valori saranno aggiornati ogni due anni sulla base dei dati forniti da GSE.

<sup>(4)</sup> Fattore assunto in assenza di valori dichiarati dal fornitore e asseverati da parte terza, conformemente al quanto previsto al paragrafo 3.2.

<sup>(5)</sup> Valori convenzionali funzionali al sistema di calcolo.

# Alcuni riferimenti

La norma tecnica valuta il **fabbisogno di energia** nel caso siano presenti **sottosistemi di generazione** che forniscono **energia termica utile** da **fonti rinnovabili** o da metodi di **generazione diversi** dalla **combustione a fiamma**.

Nel calcolo del fabbisogno energetico annuale, l'energia elettrica prodotta da FER ed **eccedente** rispetto ai carichi, in alcuni periodi, **non può essere considerata** a copertura dei carichi **in periodi di produzione** da FER **insufficiente**.



# Panoramica delle fonti rinnovabili

Le **fonti energetiche rinnovabili** rappresentano oggi un pilastro imprescindibile per la transizione ecologica, in particolare nell'ambito dell'edilizia sostenibile.

L'attenzione sarà posta su tre grandi aree applicative:

1. **Energia solare**, nelle sue forme fotovoltaica e termica, ormai mature e ampiamente diffuse.
2. **Energia eolica**, in particolare quella di scala ridotta per contesti urbani e periurbani.
3. **Energia geotermica**, focalizzandoci sugli impianti a bassa entalpia adatti all'edilizia.

Queste fonti non solo contribuiscono alla **riduzione delle emissioni di gas serra**, ma permettono anche un modello energetico più decentralizzato, resiliente e socialmente equo. Un uso efficace delle fonti rinnovabili può **trasformare gli edifici da semplici consumatori a veri e propri produttori di energia (prosumer)**, contribuendo alla costruzione di comunità energeticamente autonome e sostenibili.

Esempio di impianto fotovoltaico integrato in copertura con valenza architettonica: residenze del quartiere "Am Schlierberg" a Freiburg



Macchina Eolica Savonius

# 21.3

---

## **Solare fotovoltaico e termico**

# Energia solare

L'energia solare è la fonte più abbondante e distribuita sul pianeta.

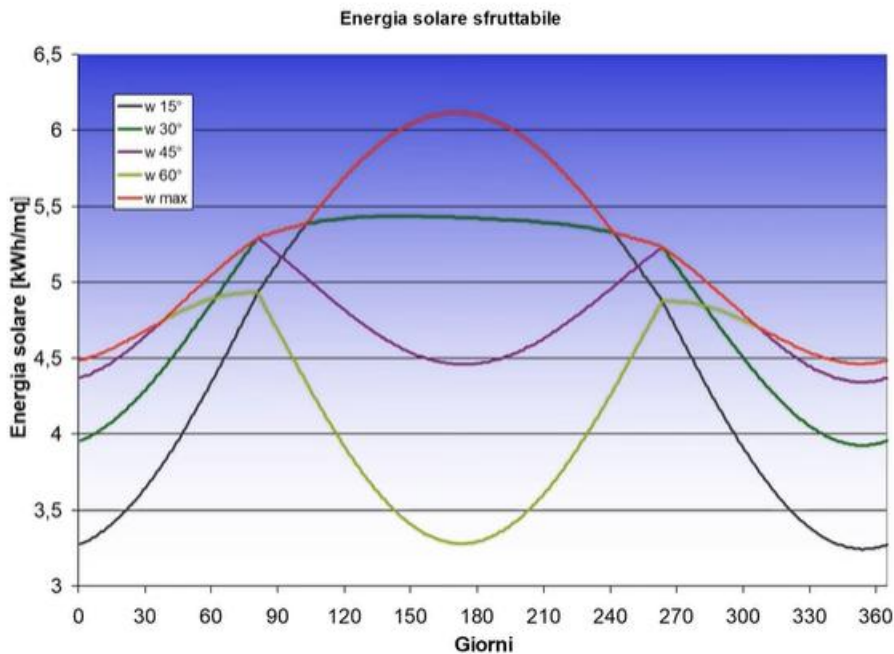
Le tecnologie per sfruttarla si suddividono principalmente in due categorie:

- **solare fotovoltaico** (conversione diretta della radiazione solare in elettricità mediante celle fotovoltaiche)
- **solare termico** (sfruttamento del calore del sole per la produzione di acqua calda sanitaria o riscaldamento).



# Energia solare

La **radiazione solare** varia in base alla latitudine, alle condizioni atmosferiche e all'orientamento delle superfici captanti. In Italia, l'irraggiamento medio annuo varia da circa **1200 kWh/mq a nord** fino a **oltre 1800 kWh/mq a sud**, rendendo il solare una risorsa strategica per l'autosufficienza energetica.



## RADIAZIONE SOLARE

### vantaggi

grande disponibilità

gratuita

ampia diffusione e inesauribilità

ridotto impatto ambientale

### svantaggi

bassa densità di potenza

aleatorietà

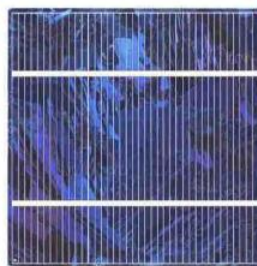
sfasamento con i fabbisogni

tecnologie costose

# Fotovoltaico

La **generazione fotovoltaica** è, attualmente, la tecnologia più consolidata per la produzione di energia elettrica a partire da fonte solare.

L'energia fotovoltaica si basa sul principio fisico dell'effetto fotovoltaico, scoperto da **Alexandre-Edmond Becquerel** nel 1839, che descrive la capacità di alcuni **materiali semiconduttori di generare corrente elettrica quando esposti alla luce solare**. Le celle fotovoltaiche, generalmente realizzate in **silicio**, sono in grado di convertire la radiazione solare in energia elettrica continua grazie alla separazione di cariche elettriche indotta dalla luce.



Il silicio utilizzato per le celle fotovoltaiche può essere di due tipi:

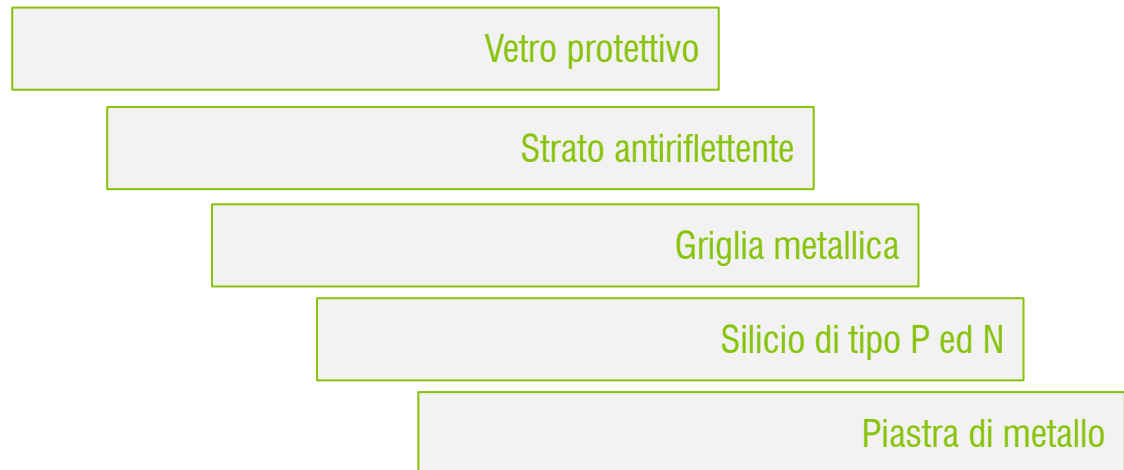
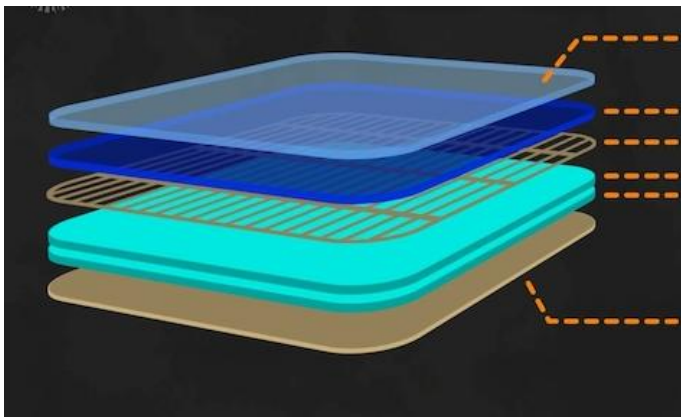
- **Silicio monocristallino**: un materiale di maggior purezza che garantisce maggior efficienza di conversione (tra il 14 e il 19%) a fronte di un costo più elevato
- **Silicio policristallino**: ottenuto dal materiale scartato dalla produzione di componenti elettroniche, hanno un'efficienza di conversione minore (11-14%)

Un modulo fotovoltaico è composto da **più celle collegate in serie**, la superficie standard di un modulo fotovoltaico compresa tra 0,6 m<sup>2</sup> e 1 m<sup>2</sup>, con una potenza variabile tra i 50 e i 120 W<sub>p</sub> in condizioni standard. L'energia prodotta dai moduli è in **corrente continua** e necessita di un inverter per essere trasformata in corrente alternata, compatibile con la rete elettrica e con gli impianti domestici.

# Principi di funzionamento del fotovoltaico

Ogni cella è costituita da un sottile strato di **materiale semiconduttore** racchiuso tra due **strati conduttori**. La parte superiore (n-strato) è drogata in modo da contenere elettroni liberi, mentre la parte inferiore (p-strato) ha una carenza di elettroni (lacune). Quando la luce solare colpisce la cella, i fotoni trasferiscono energia agli elettroni del semiconduttore, inducendoli a muoversi e **generando così una differenza di potenziale tra i due strati**.

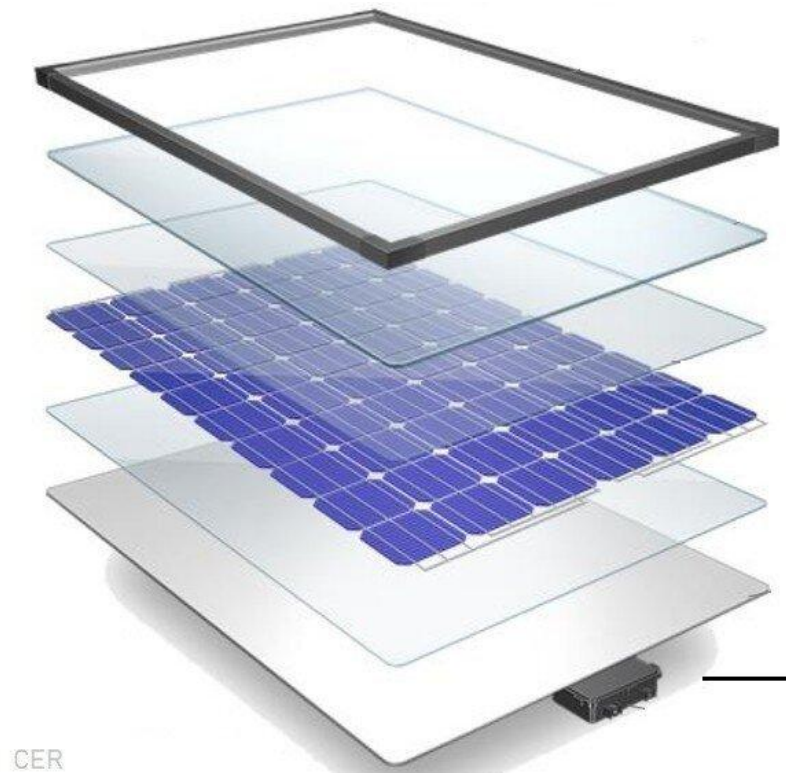
Questo movimento di elettroni genera una **corrente elettrica continua** che viene raccolta da contatti metallici sulla superficie della cella. L'energia prodotta dai moduli è in corrente continua. La **II rendimento** delle celle fotovoltaiche commerciali varia in genere tra il **17% e il 22%**, e dipende da diversi fattori: qualità del materiale semiconduttore, temperatura operativa, inclinazione e orientamento dei pannelli, presenza di ombreggiamenti, sporcizia, e perdite nei componenti elettrici.



# Principi di funzionamento del fotovoltaico

Un modulo fotovoltaico a sua volta si compone di:

- una **lastra di vetro temperato**, dotata di elevate trasmissioni termica e solare e di elevata resistenza meccanica;
- un **foglio sigillante** in acetato vinilietilenico (EVA) che garantisce la tenuta agli agenti atmosferici e l'isolamento elettrico;
- le **celle fotovoltaiche**;
- un **secondo foglio in EVA** volto ad assicurare l'isolamento posteriore;
- una **chiusura posteriore**, realizzata in vetro per garantire una maggiore trasmissione termica o in materiale isolante, come il Tedlar;
- una **scatola di giunzione** per alloggiare i collegamenti elettrici.



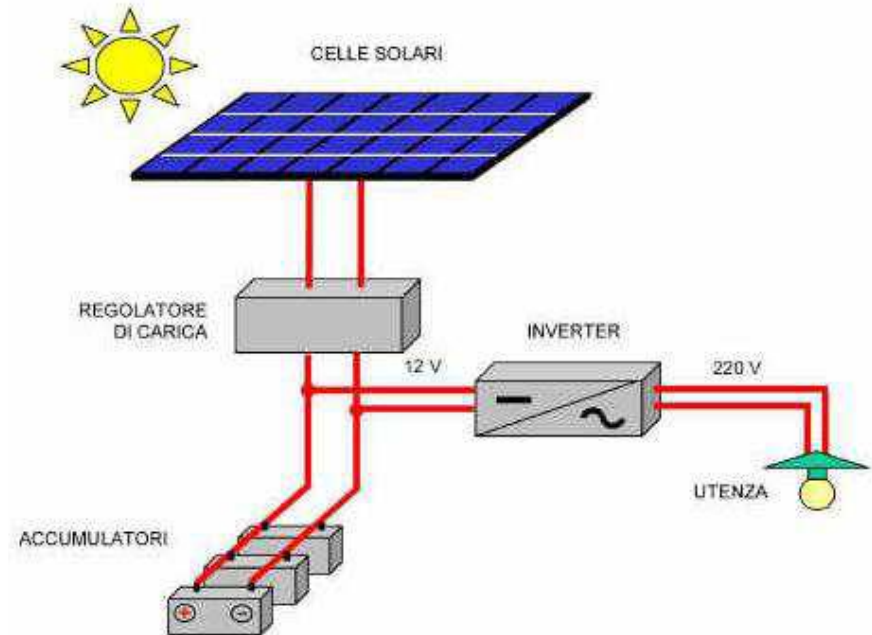
# Impianti fotovoltaici

A seconda delle configurazioni impiantistiche adottate, i moduli fotovoltaici vengono **composti in pannelli**, e questi a loro volta in **stringhe** mediante collegamenti in parallelo; l'insieme delle stringhe, anch'esse collegate in parallelo, costituisce il **generatore fotovoltaico che fornisce la potenza di picco desiderata**.

La tipologia di **impianto detto stand-alone** è adatta al servizio di utenze isolate, situate in zone non facilmente accessibili o comunque distanti dalla rete elettrica. L'impianto fotovoltaico isolato è costituito da:

- campo di moduli fotovoltaici,
- convertitore di corrente continua/alternata (inverter),
- regolatore di carica,
- quadro elettrico
- serie di batterie,

Queste sono necessarie ad assicurare la copertura del fabbisogno energetico nelle sue variazioni giornaliere e quindi la continuità di servizio durante la notte o in una giornata coperta.



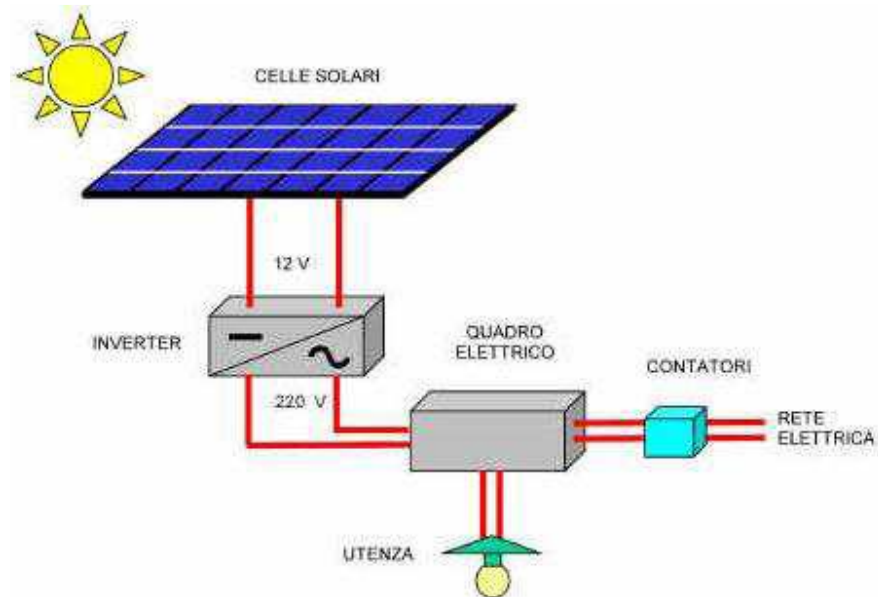
Il generatore fotovoltaico, per garantire l'adeguato funzionamento dell'impianto *stand-alone*, deve garantire nel periodo più sfavorevole una quantità di energia almeno pari a quella consumata dal carico nello stesso arco di tempo; la quota energetica in eccedenza viene così indirizzata agli accumulatori. Si attua così un bilanciamento tra le dimensioni delle superfici e degli accumulatori

# Impianti fotovoltaici

La tipologia di **impianto detto grid-connected** è direttamente allacciata alla rete elettrica fungendo così sia da produttore che da consumatore, **prosumer**. Il sistema è perciò dotato di un **doppio contatore** per la contabilizzazione dell'energia, in entrata e in uscita. Tale sistema è costituito da:

- campo di moduli fotovoltaici,
- convertitore di corrente continua/alternata (*inverter*),
- quadro elettrico,
- contatori.

Tali impianti, privi del sistema di accumulo, **cedono** alla rete elettrica l'eventuale quantità prodotta in eccedenza durante il giorno per poi **sfruttare la rete** stessa la notte, quando l'impianto fotovoltaico è inattivo. Il sistema è quindi dotato di un contatore a valle dell'inverter per contabilizzare l'energia complessivamente prodotta dall'impianto fotovoltaico, e da un **contatore bidirezionale** per valutare i flussi energetici in entrata e in uscita.



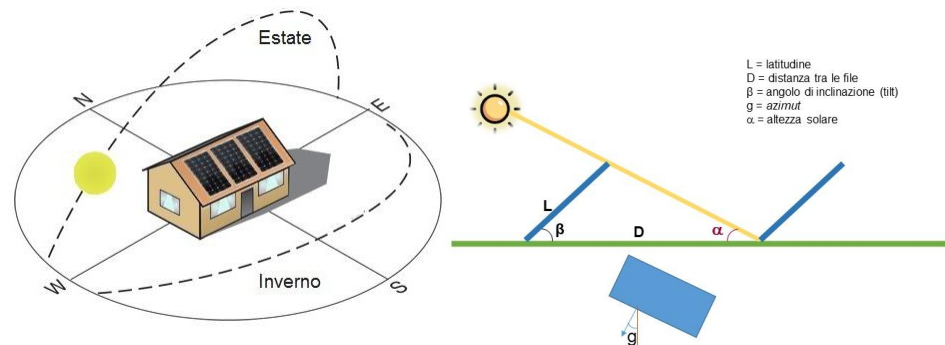
Il dimensionamento dell'impianto non può prescindere dalla **stima dei carichi elettrici dell'organismo edilizio**, in funzione della destinazione d'uso, dei bisogni dell'utenza anche in relazione al carattere annuale o stagionale dell'utenza stessa, che influenza la geometria solare del campo fotovoltaico.

# Posizionamento dell'impianto

La **radiazione solare** varia in base alla latitudine, alle condizioni atmosferiche e all'orientamento delle superfici captanti. In Italia, l'irraggiamento medio annuo varia da circa 1200 kWh/mq a nord fino a oltre 1800 kWh/mq a sud.

Devono essere presi in considerazione i **parametri tipici del sito**, quali la presenza di ostruzioni o di superfici riflettenti e la presenza di particolari condizioni meteorologiche. Il massimo sfruttamento del sistema avviene posizionando il campo fotovoltaico con **esposizione Sud**. Si ottiene comunque una elevata performance entro il quadrante centrato in direzione Sud (22° 30' da Sud verso Est e da Sud verso Ovest); le due posizioni suddette sono da assumersi come limiti tali da consentire una produttività almeno pari al 90% di quella ottenibile con l'azimut ottimale.

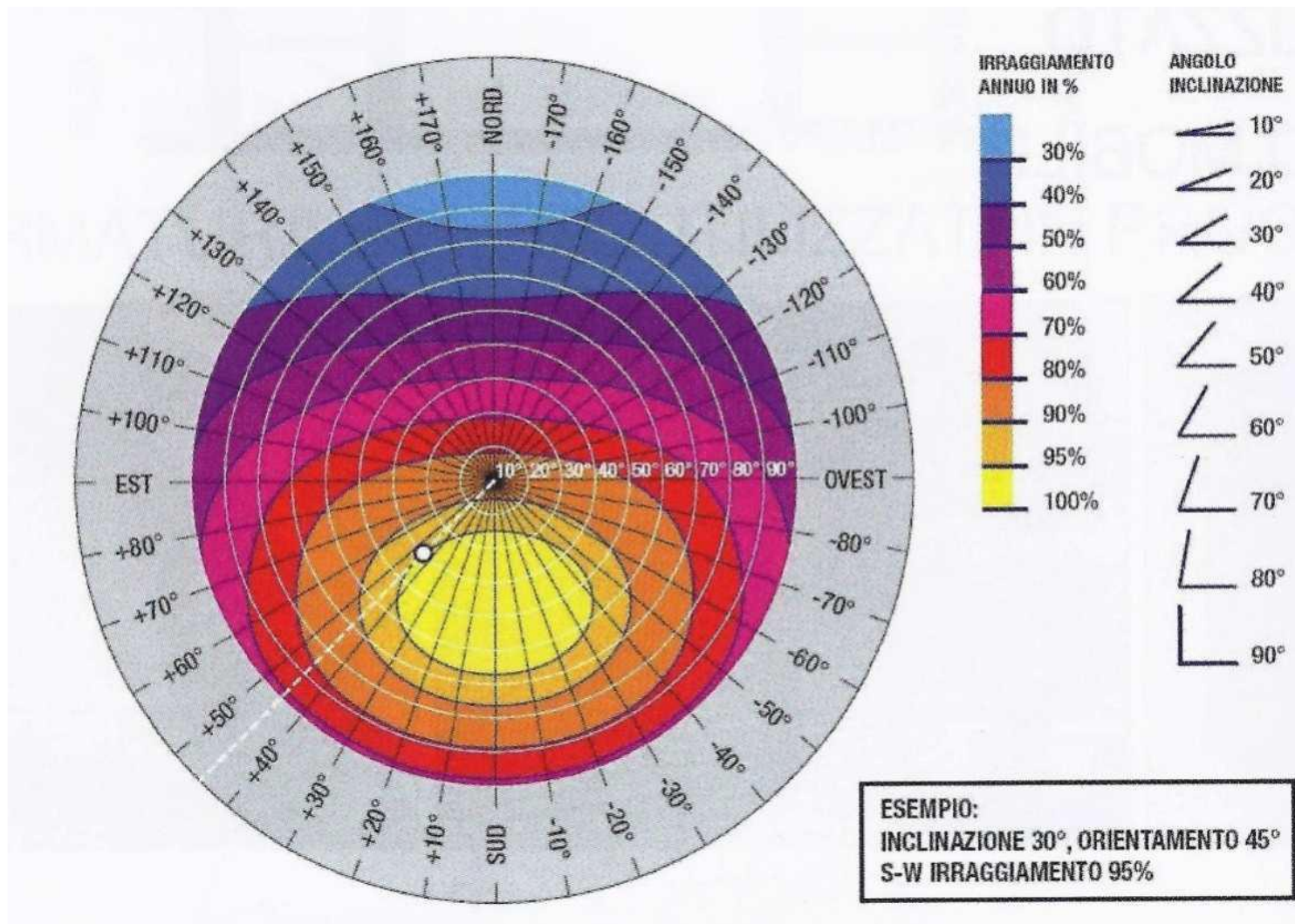
Per quanto riguarda **l'angolo di tilt** le condizioni sono più restrittive:



L = latitudine  
 D = distanza tra le file  
 $\beta$  = angolo di inclinazione (tilt)  
 $\gamma$  = azimut  
 $\alpha$  = altezza solare

- se l'utenza è di tipo annuale, l'angolo di inclinazione ottimale rispetto al piano orizzontale è pari alla **latitudine della località**. Risulta così possibile garantire la massima producibilità nell'arco dell'anno;
- se l'utenza è di tipo stagionale, l'angolo di tilt ottimale, ancora valutato rispetto al piano orizzontale, risulta essere pari al **valore della latitudine aumentato di 10° per utenze invernali**. Della stessa quantità è invece necessario **ridurre l'angolo** di latitudine per utenze a **carattere estivo**.

# Posizionamento dell'impianto



# Integrazione del FV negli edifici

L'**integrazione architettonica** del fotovoltaico (Building Integrated Photovoltaics – BIPV) rappresenta una delle frontiere più interessanti per l'adozione su larga scala dell'energia solare nell'**ambiente costruito**. A differenza degli impianti convenzionali, installati su superfici esistenti (come tetti o pensiline), i sistemi BIPV sono concepiti come **parte integrante della struttura edilizia**. In questo approccio, i moduli fotovoltaici svolgono una doppia funzione: produzione di energia e **componente edilizio** (copertura, facciata, schermatura solare, ecc.).

L'efficacia di questi sistemi dipende da un'attenta **progettazione integrata**: orientamento, inclinazione, ventilazione, accessibilità per la manutenzione e compatibilità estetica devono essere valutati sin dalle fasi iniziali. I materiali disponibili oggi permettono una notevole flessibilità formale, grazie a moduli in silicio cristallino, film sottili, vetri colorati o serigrafati.

L'integrazione può avvenire su diverse parti dell'edificio:

**Tetti e coperture**: moduli che sostituiscono tegole o lamiere, mantenendo la tenuta all'acqua e contribuendo all'isolamento termico.

**Facciate ventilate**: pannelli verticali che fungono da rivestimento esterno, migliorando l'efficienza energetica complessiva grazie all'effetto camino.

**Frangisole e parapetti**: elementi semi-trasparenti o opachi che filtrano la luce solare, proteggono dal surriscaldamento e producono energia.

**Vetri fotovoltaici**: moduli semitrasparenti per serre solari, lucernari o finestre, che coniugano illuminazione naturale e generazione elettrica.



# Sistemi BIPV



I sistemi **Building Integrated Photo-Voltaics** portano alla riformulazione della chiusura verticale, fungendo da vero e proprio involucro.

La tecnologia permette l'applicazione di soluzioni specifiche per il contesto, in quanto caratterizzate da diversi gradi di **trasparenza** e di **colore** superficiale.

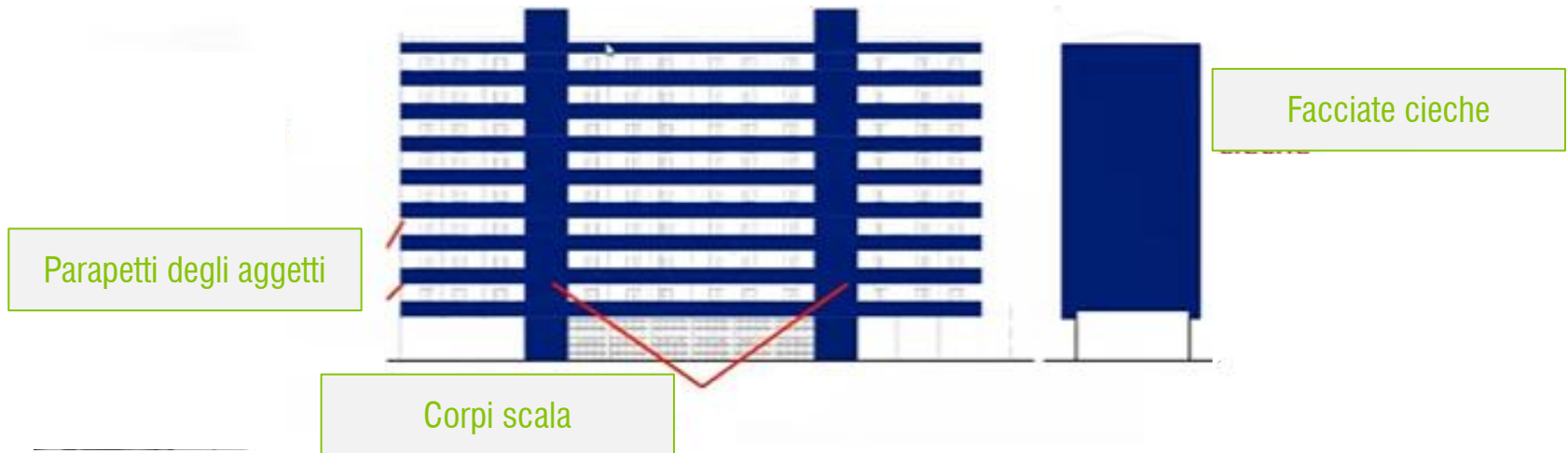
# Sistemi BIPV

La produzione di energia elettrica in-situ può essere ottenuta con **campi fotovoltaici** o **impianti minieolici**.

Nel caso del fotovoltaico, la soluzione primaria orienta verso l'utilizzo di **superfici orizzontali**.

I sistemi **BIPV**, comunque, permettono di sfruttare anche le **superfici verticali**, con due raccomandazioni:

- **Minore irradiazione** rispetto alla **copertura**;
- **Possibili ombreggiamenti** significativi.

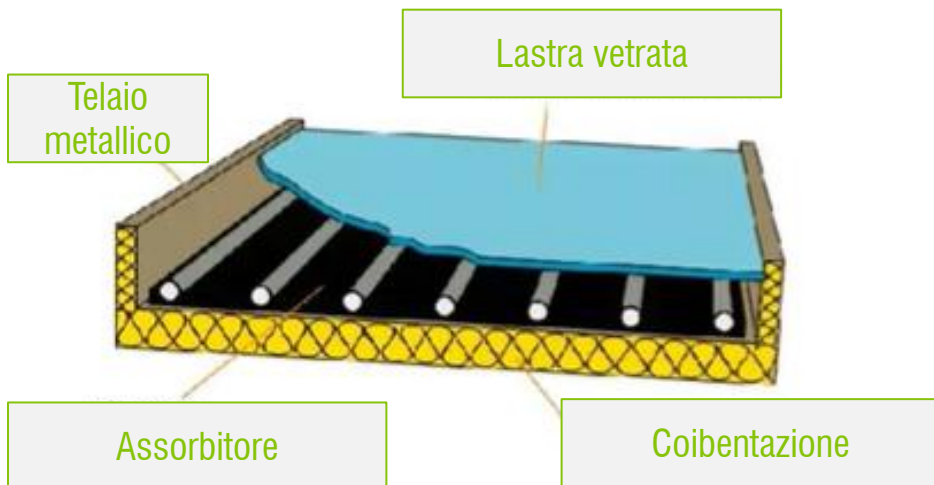


# Sistemi BIPV



# Solare termico

Gli **impianti solari termici** sono dispositivi complessi di **conversione** dell'**energia solare** in **energia termica**, destinabile a diversi servizi, quali la produzione di **acqua calda sanitaria**, il **riscaldamento** ed il raffrescamento degli ambienti, oppure una combinazione di questi. Il principio fisico su cui si basa è quello **dell'assorbimento dell'irraggiamento solare** da parte di una superficie captante, generalmente un collettore, che trasferisce il calore a un fluido termovettore, in genere acqua additivata.



I componenti di un impianto solare termico sono:

- **Collettori solari:** dispositivi che assorbono la radiazione solare e la trasformano in calore. Le tipologie principali sono i collettori piani vetrati, i collettori sottovuoto e, in contesti più semplici, quelli non vetrati.
- **Fluido termovettore:** normalmente una miscela di acqua e glicole, che scorre all'interno di tubazioni e assorbe il calore dal collettore.
- **Scambiatore di calore:** consente il trasferimento dell'energia termica dal fluido al serbatoio di accumulo.
- **Accumulo termico:** serbatoio coibentato che conserva il calore prodotto per renderlo disponibile anche in assenza di sole.
- **Sistema di regolazione e pompaggio:** necessario negli impianti a circolazione forzata, controlla la temperatura e la circolazione del fluido.

# Tipologie di impianto e configurazioni

Il **rendimento** di un collettore termico dipende da **molteplici fattori**: qualità dei materiali, inclinazione e orientamento del pannello, temperatura ambiente, presenza di vento e radiazione solare incidente. L'efficienza stagionale di un impianto può superare il 60%, rendendolo una delle tecnologie più performanti tra le rinnovabili per usi termici.

L'**energia ottenibile** da questi impianti è variabile in funzione dei seguenti parametri:

- la complessiva **disponibilità di energia solare**, dipendente essenzialmente dalla climatologia del sito
- dalla **giacitura della superficie** deputata a captare la radiazione solare;
- la **tipologia di sistema captante** e l'area dedicata al sistema stesso;
- il **rendimento globale dell'impianto** solare termico.

Un impianto ben progettato può coprire **tra il 60% e l'80% del fabbisogno annuo di ACS** in un'abitazione. Non richiede grandi superfici: bastano circa **1,5-2 mq per persona**. Il suo rendimento è alto e il tempo di ritorno economico, grazie agli incentivi, può essere anche inferiore ai 6 anni.

Gli **impianti solari termici** possono essere classificati secondo alcuni criteri principali:

1. Modalità di circolazione del fluido;
2. Tipo di collettore solare utilizzato;
3. Configurazione impiantistica.

# Tipologie di impianto e configurazioni

L'energia solare raccolta mediante i collettori solari può essere utilizzata per **riscaldare l'acqua** utilizzata per **usi domestici**. Va tenuto conto che **i collettori solari non funzionano con continuità**, ma solo durante il dì ed è quindi necessario prevedere un **sistema** di riscaldamento **ausiliario**.

## IMPIANTI SOLARI TERMICI

### componenti essenziali

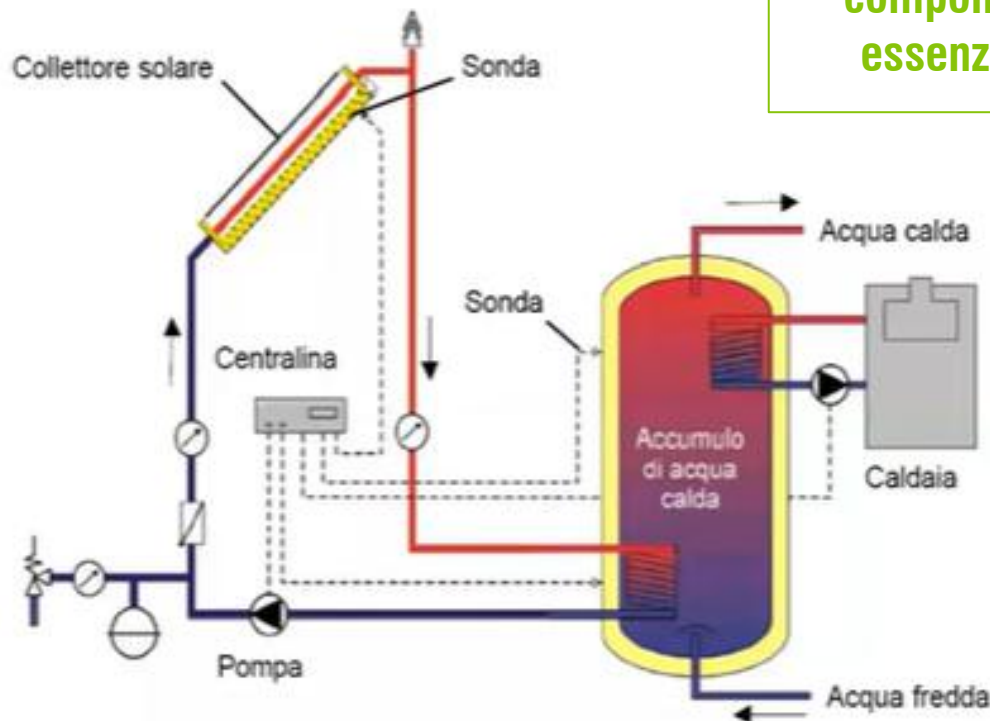
collettori solari

accumulo

circolatori

integrazione ausiliaria

centralina di regolazione



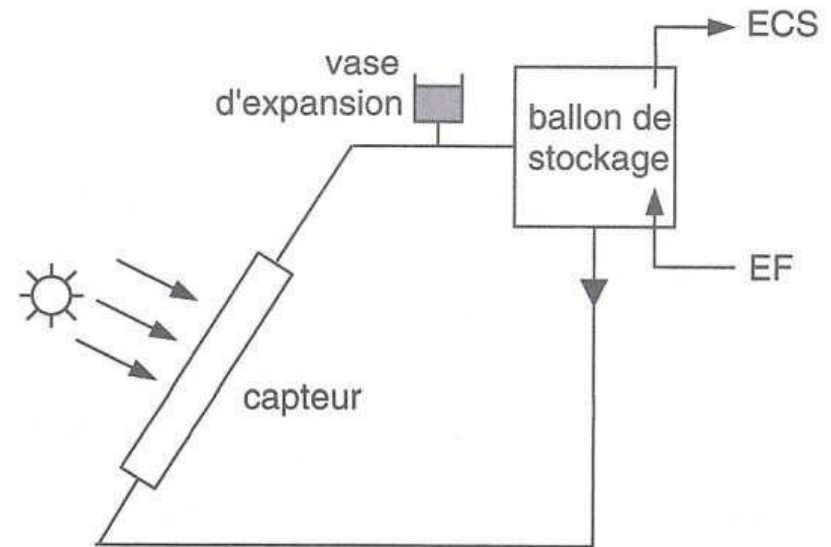
# Tipologie di impianto e configurazioni

## Fluido a circolazione naturale

Il fluido termovettore, costituito da una miscela di acqua e glicole, è mantenuto costantemente separato dall'acqua fornita all'utenza e circola per effetto della convezione termica.

Il fluido circolante viene infatti messo in movimento dalla differenza di densità tra il fluido caldo uscente dal collettore, che tende a salire, e la portata di fluido più freddo uscente dallo scambiatore di calore, discendente: il fluido, all'interno dello scambiatore, cede quindi il calore all'acqua destinata agli usi previsti per l'utenza.

Sono sistemi semplici, economici e affidabili e alimentati unicamente ad energia solare, ma limitati nella distanza tra collettore e accumulo e nella flessibilità architettonica.



Schema di un impianto solare termico a circolazione naturale. EF: acqua fredda; ECS: acqua calda sanitaria

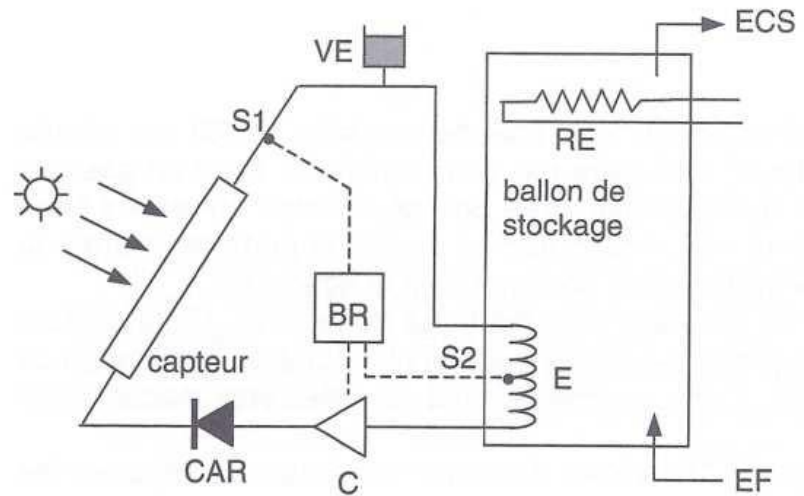
# Tipologie di impianto e configurazioni

## Fluido a circolazione forzata

Il fluido viene fatto circolare mediante pompe, sotto il controllo di centraline elettroniche che regolano flussi e temperature. Il sistema elettronico aziona la pompa di circolazione quando la temperatura del fluido nei collettori supera quella del fluido presente nel serbatoio; all'interno del serbatoio, il fluido scambia calore con l'acqua circolante nel circuito utenze.

Inoltre, quando l'apporto energetico dei collettori è insufficiente, a causa di un ridotto soleggiamento o di un elevato consumo d'acqua contingente, il sistema di controllo aziona il sistema di riscaldamento ausiliario.

Questo consente maggiore libertà progettuale (serbatoio interno, lunga distanza dai collettori), migliori prestazioni, e possibilità di monitoraggio avanzato. Sono impianti più complessi e costosi, ma più adatti ad applicazioni in edifici multifamiliari e complessi misti.



Schema di un impianto solare termico a circolazione forzata.  
 EF: acqua fredda; ECS: acqua calda sanitaria; RE: resistenza elettrica d'integrazione; E: scambiatore di calore; S1, S2: sonde di temperatura; C: circolatore circuito pannelli; CAR: valvola di non ritorno; BR: termoregolatore; VE: vaso d'espansione

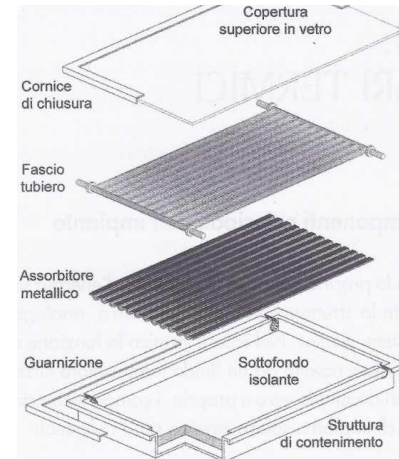
# Tipologie di impianto e configurazioni

## Collettori piani vetrati

Sono la tipologia più diffusa e dalla maggiore tradizione applicativa. Una lastra assorbente nera (spesso con trattamento selettivo) è posta sotto un vetro solare temperato, con isolamento sul lato posteriore. Offrono buone prestazioni e durata, adatti a climi temperati.

**Collettori scoperti:** senza copertura in vetro, più economici e semplici. Adatti per applicazioni stagionali (es. piscine) o climi molto caldi, dove le perdite per convezione sono trascurabili.

**Collettori sottovuoto:** tubi singoli di vetro a doppia parete tra cui è creato un vuoto termico, che riduce le perdite di calore. Hanno rendimenti superiori anche in condizioni di bassa irradiazione o temperature esterne molto rigide. Ideali per zone fredde o usi ad alta temperatura.



Assonometria esplosa di un collettore solare vetrato

Collettore solare non vetrato per piscine, modello TS Pool

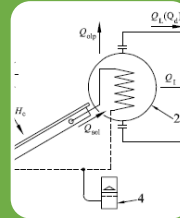
Collettore solare a tubi sottovuoto, modello Vitosol 300-T

# Configurazione e dimensionamento

La **configurazione** di un impianto solare termico varia:

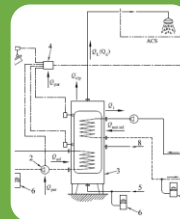
- In base ai **servizi offerti**: la produzione di ACS, il riscaldamento ambienti, la produzione combinata di questi;
- Con la **climatologia del sito** di installazione, in riferimento alla radiazione solare ricevuta e all'andamento delle temperature, che determinano anche la complessità del sistema di controllo;
- A seconda della tipologia e della **destinazione d'uso** dell'organismo edilizio e la quota di fabbisogno da soddisfare con l'ausilio di tale impianto;
- Tenendo conto della **tipologia di integrazione termica** necessaria alla corresponsione del servizio previsto.

L'applicazione dei sistemi solari termici deve tener conto innanzitutto dell'ottimizzazione della captazione solare nel periodo di utilizzo dell'impianto, considerando l'andamento dei prelievi nel corso dell'anno e l'eventuale carattere stagionale dell'utenza.



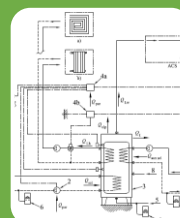
## Preriscaldamento dell'acqua

- Circolazione naturale
- Servizio di produzione acqua calda (piscine e docce all'aperto)



## Produzione di acqua calda sanitaria

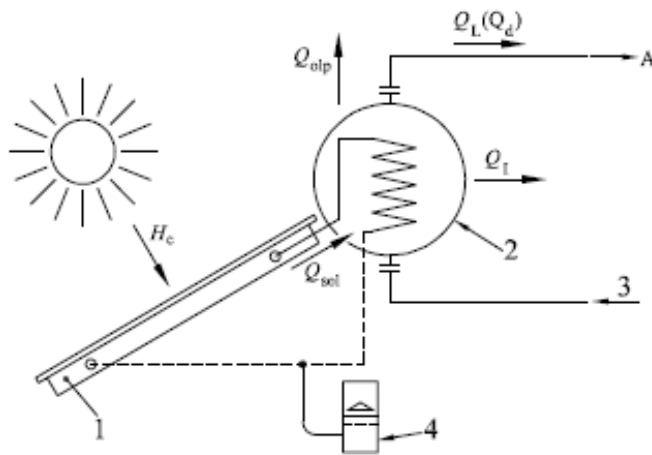
- Circolazione forzata
- Integrazione termica e accumulo
- Sistema assemblato su progetto



## Impianto solare termico per usi combinati

- Circolazione forzata
- Sistemi supplementari di generazione
- Sistema assemblato su progetto

# Tipologie di impianto e configurazioni



Impianto solare termico a circolazione naturale

1. Collettori solari
2. Volume di accumulo
3. Adduzione acqua fredda
4. Vaso d'espansione

$H_C$  irraggiamento solare sui collettori

$Q_{SOL}$  energia solare trasferita dal circuito solare all'accumulo

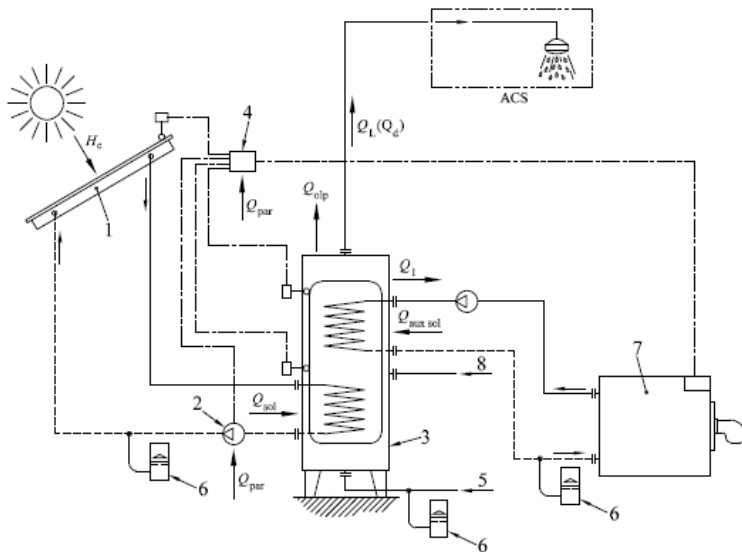
$Q_i$  perdite all'accumulo

$Q_{OLP}$  perdite all'accumulo per eccesso di energia termica

$Q_L$  fabbisogno di energia utile richiesta dal sistema

# Tipologie di impianto e configurazioni

Impianto solare termico a circolazione forzata per la produzione di acqua calda sanitaria con generatore d'integrazione



1. Collettori solari
2. circolatore circuito collettori - accumulo
3. serbatoio d'accumulo a doppio serpentino
4. dispositivo di regolazione dell'impianto
5. adduzione acqua fredda
6. vaso d'espansione
7. generatore di calore ausiliario
8. eventuale tubazione di ricircolo

$H_C$  irraggiamento solare sui collettori

$Q_{SOL}$  energia solare trasferita dal circuito solare all'accumulo

$Q_l$  perdite all'accumulo

$Q_{OLP}$  perdite all'accumulo per eccesso di energia termica

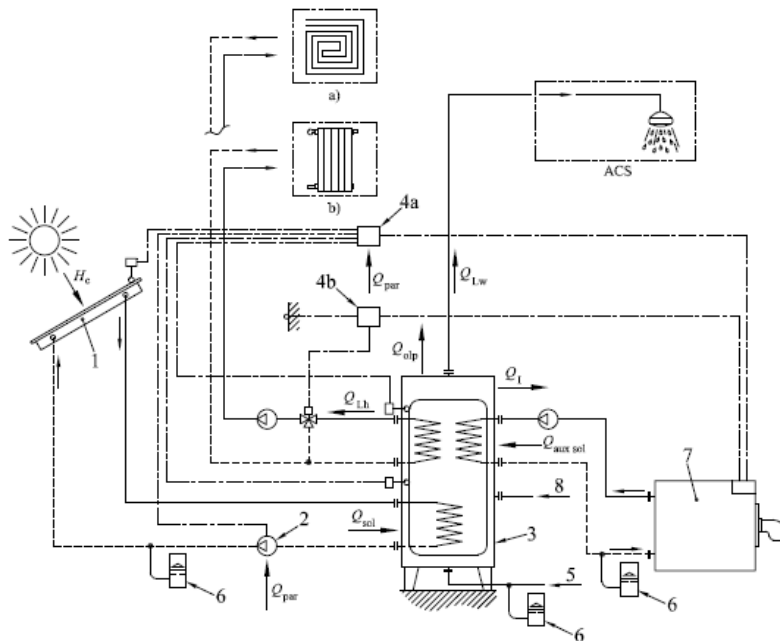
$Q_L$  fabbisogno di energia utile richiesta dal sistema

$Q_{PAR}$  fabbisogno energetico degli ausiliari

$Q_{AUX, SOL}$  energia fornita ad integrazione

# Tipologie di impianto e configurazioni

Impianto solare termico a circolazione forzata per la produzione di acqua calda sanitaria ed il riscaldamento con generatore d'integrazione e bollitore a triplo serpentino



1. Collettori solari
  2. circolatore circuito collettori - accumulo
  3. serbatoio d'accumulo a doppio serpentino
  4. dispositivo di regolazione dell'impianto
  5. adduzione acqua fredda
  6. vaso d'espansione
  7. generatore di calore ausiliario
  8. eventuale tubazione di ricircolo
- a) rete di riscaldamento a bassa temperatura  
b) rete di riscaldamento ad alta temperatura

$H_C$  irraggiamento solare sui collettori

$Q_{SOL}$  energia solare trasferita dal circuito solare all'accumulo

$Q_1$  perdite all'accumulo

$Q_{OLP}$  perdite all'accumulo per eccesso di energia termica

$Q_{L, W}$  fabbisogno di energia utile per ACS

$Q_{L, H}$  fabbisogno di energia utile per riscaldamento

$Q_{PAR}$  fabbisogno energetico degli ausiliari

$Q_{AUX, SOL}$  energia fornita ad integrazione

# Configurazione e dimensionamento

## PARAMETRI DI PROGETTAZIONE

1

Dimensionamento collettori in funzione del fabbisogno ACS ( $\sim 1 \text{ m}^2$  per persona)

2

Orientamento a SUD

3

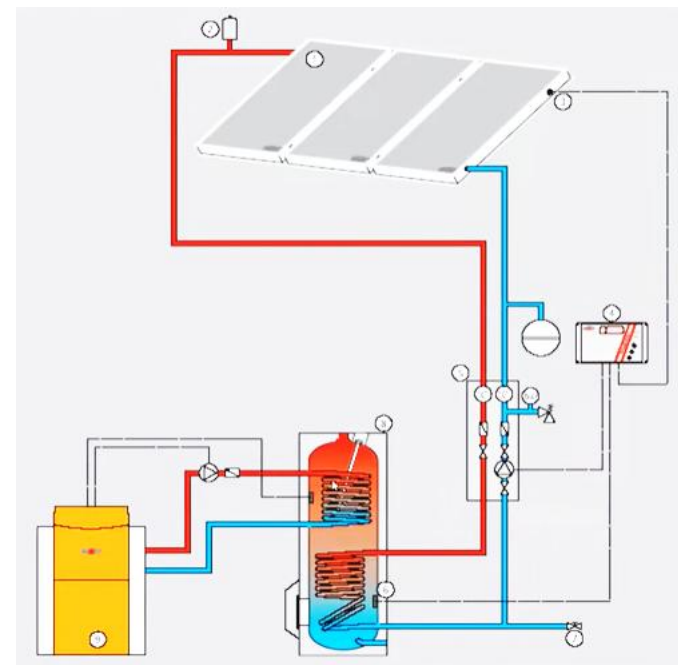
Inclinazione pari alla latitudine del sito. Attenzione alle destinazioni stagionali

4

Capacità di accumulo  $\sim 40 \text{ l/m}^2$  di collettore

5

Coibentazione accumulo  $\sim 10 \text{ cm}$



# 21.4

---

**Energia eolica**

# Energia eolica

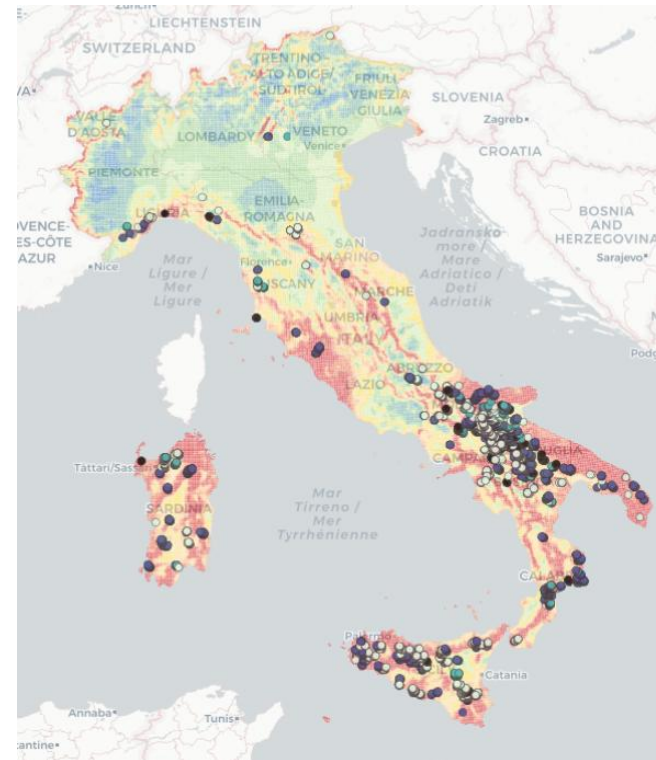
L'**energia eolica** è una delle fonti rinnovabili più antiche utilizzate dall'uomo, e rappresenta oggi una componente strategica della transizione energetica globale. Essa si basa sulla **conversione dell'energia cinetica** del vento **in energia meccanica** e successivamente **elettrica**, mediante aerogeneratori. Il principio fisico è semplice: il vento, spostando le pale di una turbina, mette in rotazione un generatore elettrico. Le turbine eoliche si classificano per taglia e orientamento dell'asse di rotazione. In base alla taglia si distinguono:

**Grandi impianti** (> 100 kW): tipici dei parchi eolici onshore e offshore.

**Mini-eolico** (1–100 kW): adatto a edifici isolati, aziende agricole, piccoli impianti su scala locale.

**Micro-eolico** (< 1 kW): pensato per contesti domestici o urbani, può essere installato su tetti, pali o facciate.

L'eolico è la seconda fonte rinnovabile per produzione di energia elettrica in Europa, dopo l'idroelettrico.



Mappatura della producibilità di grandi impianti in Italia e database degli aerogeneratori

# Risorse per produzione eolica

L'energia eolica determina una **forma impiantistica** concettualmente **semplice**: l'energia dinamica dell'aria in movimento (dovuta a **surriscaldamenti locali** generati dalla radiazione solare) aziona un **dispositivo rotante** a pale **sagomate** che a sua volta attiva un **generatore elettrico**.

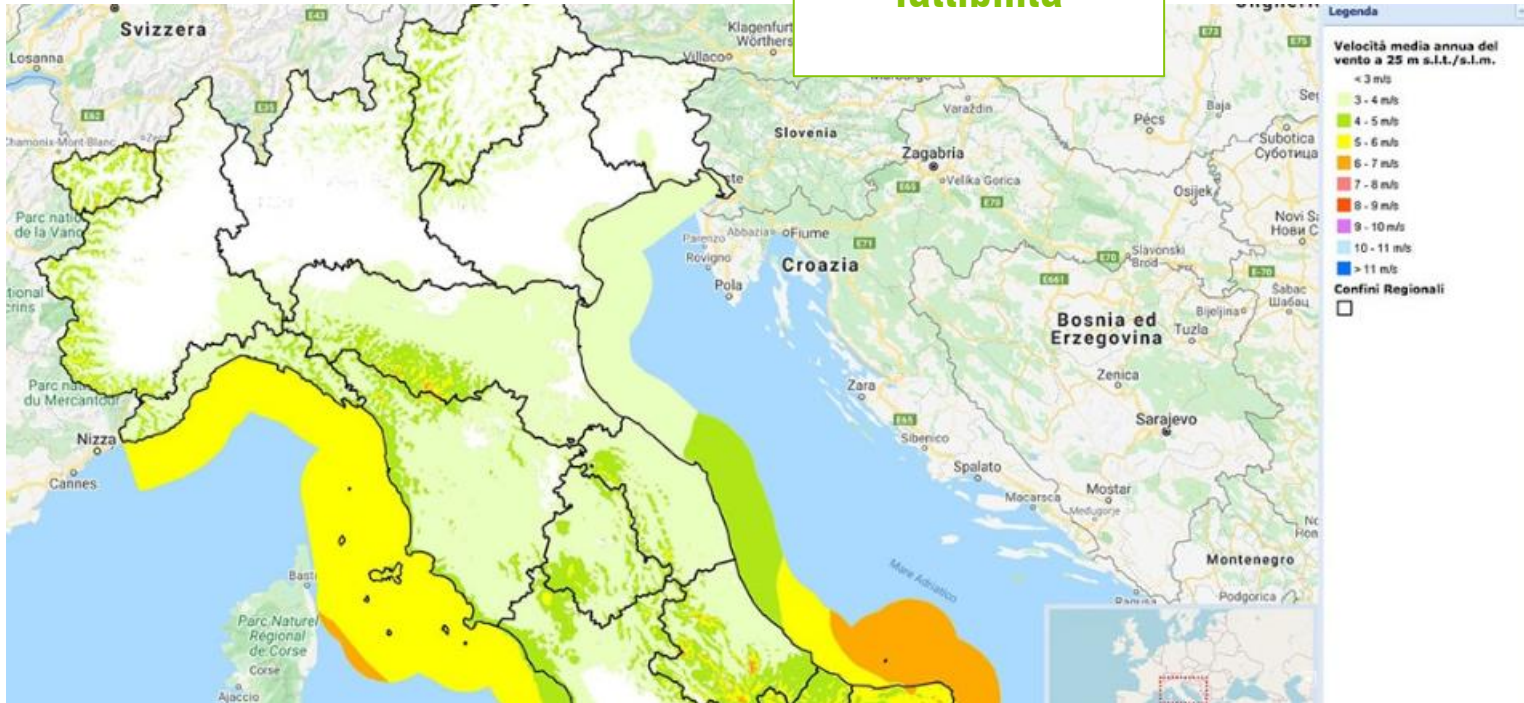
IMPIANTI EOLICI

fattibilità

disponibilità della sorgente

velocità di attivazione

inquinamento acustico

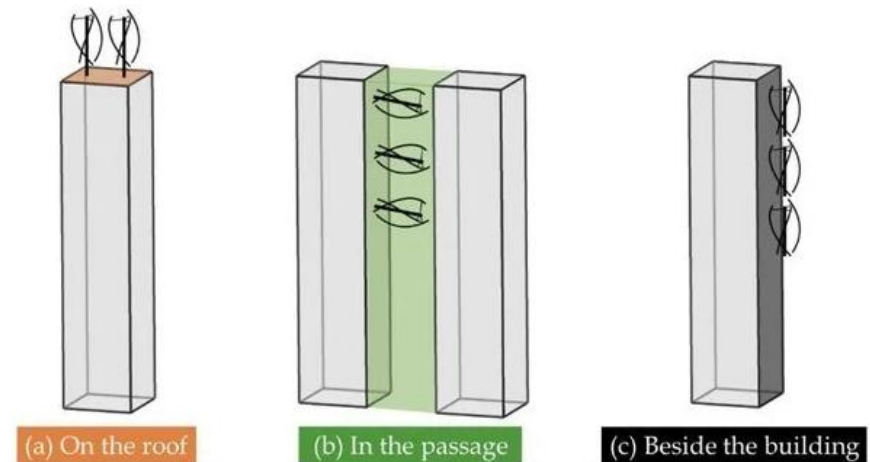


# Energia eolica

L'**energia eolica urbana** non è una semplice riduzione di scala: implica considerazioni completamente diverse in termini di progettazione, normativa, rendimento e accettabilità.

L'eolico **urbano e periurbano** si concentra in particolare su turbine mini e micro, per adattarsi alle esigenze architettoniche, normative e spaziali degli insediamenti umani. Tuttavia, a differenza dei grandi impianti, l'efficienza in contesto urbano è fortemente influenzata da fattori come la **turbolenza**, la **bassa velocità media del vento** e le **interferenze aerodinamiche** generate dagli edifici.

La distanza tra gli edifici, che di solito è molto poca nelle aree più dense, può aumentare significativamente la velocità media del vento e il potenziale eolico a causa del noto effetto di concentrazione. Pertanto, l'impatto della geometria dei palazzi e della loro disposizione è di particolare interesse quando si tratta di caratterizzare e migliorare l'eolico urbano.



Credit: Yu-Hsuan Juan

“HUDSON WINDS” SITE-SPECIFIC PUBLIC ART INSTALLATION PROJECT AT HIGHT LINE | NEW YORK, U.S.A.



# Vento e potenziale energetico

La risorsa eolica è fortemente **aleatoria**, in quanto dipende essenzialmente dal tempo (durata, entità delle raffiche) e dallo spazio (localizzazione, orografia e distanza dal suolo).

Per valutare correttamente il potenziale eolico di un sito, soprattutto in ambito urbano o periurbano, è necessario analizzare diversi parametri legati al vento. Il primo tra tutti è la **velocità del vento**, che non è costante ma varia nel tempo (velocità istantanea), in funzione della **quota**, della **rugosità del suolo** e delle condizioni climatiche locali.

Nella valutazione della velocità istantanea del vento è usuale individuare tre componenti:

- Il **trasporto di massa** che costituisce la frazione utile ai fini del trasporto dell'energia
- La **turbolenza**, il cui contributo energetico è trascurabile ma non l'effetto procurato sugli impianti
- **Morfologia del terreno** e la presenza di ostacoli che riducono la velocità del flusso.

Più la velocità è elevata, maggiore sarà la quantità di energia disponibile, serve **un'analisi anemometrica dettagliata** con misure di **velocità istantanea**, preferibilmente a varie altezze, per stimare la produzione reale.

La **densità dell'aria** gioca anch'essa un ruolo, anche se minore. A quote più elevate l'aria è meno densa, e quindi la potenza disponibile si riduce leggermente. Tuttavia, la **velocità del vento aumenta con l'altezza**, quindi i due effetti si compensano parzialmente.

Morfologia del terreno	N
terreno pianeggiante e poco ondulato edifici di altezza inferiore a 6 ml	0,26
terreno variamente corrugato edifici di altezza inferiore a 12 ml	0,34
terreno a media densità edilizia edifici di altezza inferiore a 18 ml	0,38
terreno a forte connotazione edilizia edifici di altezza superiore a 18 ml	0,45

Esponenti caratteristici dello strato limite del flusso ventoso e riduzione delle velocità presso il suolo in un caso specifico

# Vento e potenziale energetico

La **potenza cinetica** resa disponibile da un flusso di massa d'aria è esprimibile secondo la relazione:

$$P_{vento} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^3$$

dove:

$\rho$  = densità dell'aria (circa 1,225 kg/m<sup>3</sup> a livello del mare),

$S$  = sezione di passaggio del flusso di massa d'aria,

$v$  = velocità del vento.

La potenza è proporzionale al **cuubo della velocità**: anche piccole variazioni nella velocità del vento comportano grandi differenze nella potenza disponibile.

La potenza cinetica viene quindi **convertita** in **potenza meccanica** secondo la formula:

$$P_E = C_p \cdot P_v$$

Non tutta la potenza cinetica può essere convertita in energia meccanica.

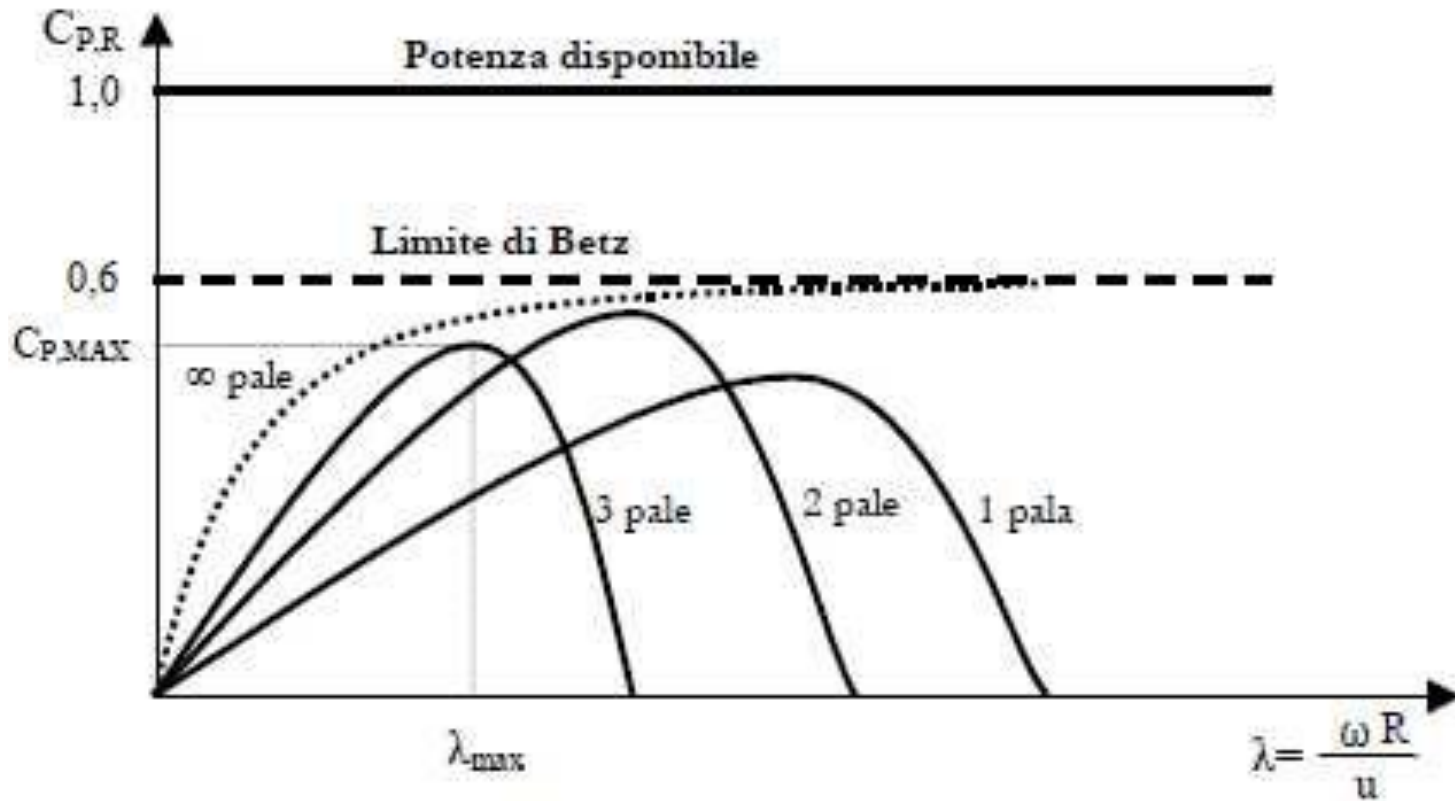
Il **coefficiente di potenza** massimo, detto **limite di Betz**, stabilisce che una turbina può al massimo catturare il **59,3%** dell'energia cinetica.

Questo limite si riflette nel cosiddetto **coefficiente di potenza del rotore** ( $C_p$ ), che rappresenta l'efficienza aerodinamica della turbina nella conversione del vento in energia meccanica. Il  $C_p$  non è costante ma **dipende dalla velocità del vento** ed è funzione del rapporto tra la velocità tangenziale delle estremità delle pale e la velocità del vento.

$$\lambda = \frac{v_{pala}}{v_{vento}}$$

Il coefficiente  $C_p$  manifesta un andamento prima crescente, poi decrescente, all'aumentare del rapporto cinetico  $\lambda$ , con un valore massimo di 0,40÷0,45. **Ogni turbina ha un valore ottimale di  $\lambda$  per cui il  $C_p$  è massimo.**

# Vento e potenziale energetico



Andamento del coefficiente di potenza rotorico in funzione del rapporto cinetico  $\lambda$  e del numero delle pale

# Tecnologie dell'eolico

Una turbina eolica riesce convenzionalmente a **convertire in energia elettrica il 20÷25%** dell'energia messa a disposizione dal movimento delle masse d'aria. Tale rapporto è **inferiore nei cosiddetti parchi eolici**, costituiti da schiere di diverse turbine; infatti la prima macchina investita dal vento genera una riduzione della sua velocità, per cui la macchina successiva godrà di un flusso a minor energia cinetica e maggiormente turbolento. Bisogna quindi partire da una **valutazione site-specific**, con rilievi di vento affidabili e modelli di simulazione dinamica. Un sito può essere reputato idoneo se presenta un regime di vento che assicuri al sistema almeno 100 giorni all'anno di operatività, con **velocità media annuale pari a 4÷6 m/sec**.

È necessario seguire un iter autorizzativo che comprende la **Valutazione di Impatto Ambientale (VIA)** e, quando richiesta, la **Valutazione Ambientale Strategica (VAS)**. Questi processi sono fondamentali per garantire la sostenibilità ambientale dell'intervento.

*Studio di Impatto Ambientale (SIA) completo*  
*Sintesi Non Tecnica del SIA*  
*Progetto Definitivo dell'impianto eolico*  
*Relazione Paesaggistica*  
*Studio di Incidenza (se in prossimità di aree Natura 2000)*  
*Relazione geologica e geotecnica*  
*Studio anemometrico e di producibilità*  
*Valutazione previsionale di impatto acustico*  
*Studio dell'impatto elettromagnetico*  
*Analisi dell'effetto shadow flicker (ombre intermittenti)*  
*Piano di monitoraggio ambientale*  
*Relazione sugli impatti su flora, fauna e biodiversità*  
*Studio di inserimento urbanistico*  
*Piano preliminare di dismissione dell'impianto*  
*Documentazione fotografica con fotosimulazioni*  
*Analisi delle alternative progettuali e opzione zero*  
*Relazione sulla gestione delle terre e rocce da scavo*  
*Documentazione attestante la disponibilità delle aree*

# Tecnologie dell'eolico

Le turbine eoliche, analogamente agli impianti fotovoltaici, possono **alimentare un'utenza isolata** che autoconsuma l'energia elettrica prodotta o essere **allacciate alla rete** verso la quale convogliare l'energia stessa.

Le turbine eoliche più diffuse presentano un asse di rotazione orizzontale, e si compongono di alcuni elementi tecnici essenziali.

**Pale del rotore:** sono generalmente due o tre, realizzate in materiali compositi leggeri (fibra di vetro o carbonio) e ottimizzate dal punto di vista aerodinamico per massimizzare la conversione dell'energia cinetica del vento. Le pale sono collegate all'hub centrale.

**Mozzo (hub):** collega le pale all'albero principale e trasmette il moto rotatorio. Può includere un meccanismo di passo variabile per ottimizzare la resa alle diverse velocità del vento.

**Navicella (nacelle):** ospita i componenti meccanici ed elettrici essenziali: l'albero principale, il moltiplicatore (gearbox), il generatore, i freni e i sensori. È montata sulla sommità della torre e orientata verso il vento tramite un sistema di imbardata.

**Torre:** sostiene la navicella e le pale. La sua altezza varia in funzione della dimensione dell'impianto e del sito. Maggiore altezza consente di intercettare venti più forti e stabili. Solitamente a sezione tubolare.

**Sistema di imbardata (yaw):** orienta la turbina nella direzione del vento.

**Sistema di controllo e sicurezza:** include sensori, controller e meccanismi di frenata per garantire funzionamento ottimale e spegnimento in caso di vento eccessivo.

**Fondazioni:** assicurano la stabilità strutturale dell'impianto.

# Tecnologie dell'eolico

**Navicella** (o gondola) rappresenta il cuore operativo di un aerogeneratore, contenendo i componenti meccanici ed elettrici fondamentali per la conversione dell'energia eolica in energia elettrica. Questo compartimento è posizionato sulla sommità della torre e ospita sistemi sofisticati che lavorano in sinergia e contiene:

**Generatore elettrico:** responsabile della conversione dell'energia meccanica rotazionale in energia elettrica.

**Rotore:** trasmette il movimento rotatorio generato dal vento. L'albero principale è supportato da cuscinetti di grandi dimensioni progettati per resistere agli elevati carichi meccanici.

**Moltiplicatore di giri** (o gearbox): costituito da un sistema di ingranaggi che aumenta la velocità di rotazione dall'albero lento all'albero veloce collegato al generatore.

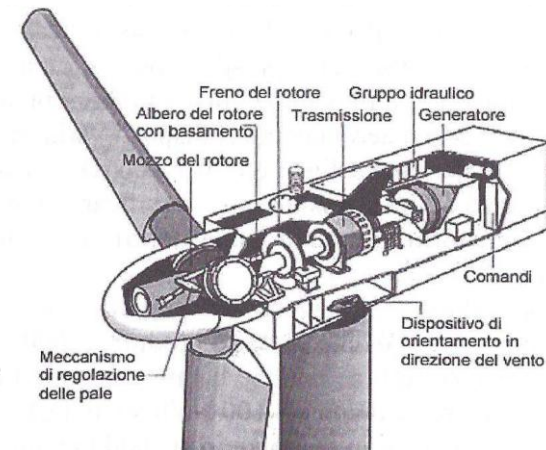
**Sistema di controllo dell'imbardata** (yaw system): permette alla navicella di ruotare orizzontalmente per orientare il rotore nella direzione del vento.

**Sistema di frenaggio:** è progettato per arrestare la rotazione delle pale in condizioni meteorologiche estreme o durante la manutenzione.

**Sistema di controllo centrale:** computer industriali e sensori che monitorano continuamente parametri come velocità del vento, temperatura, vibrazioni e carichi strutturali, ottimizzando l'operatività dell'aerogeneratore.

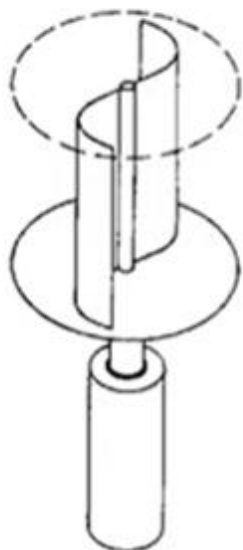
**Trasformatore:** interposto tra l'aerogeneratore e la rete elettrica, la cui funzione è di variare la tensione in uscita in modo da portarla al valore richiesto per l'immissione in rete

Elementi essenziali di un aerogeneratore: sezione della navicella

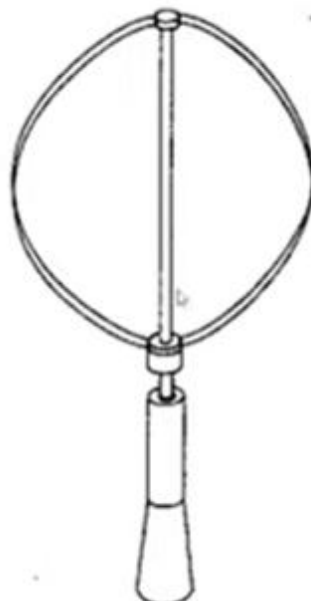


# Eolico e minieolico

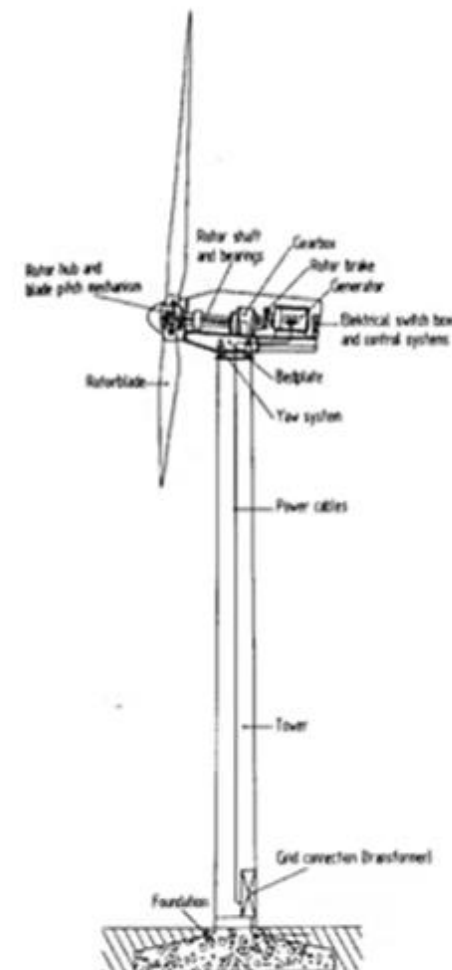
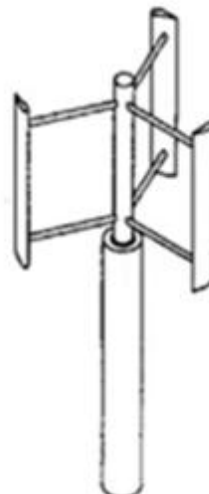
macchina Savonius



macchina Darrieus



Macchina H-rotor



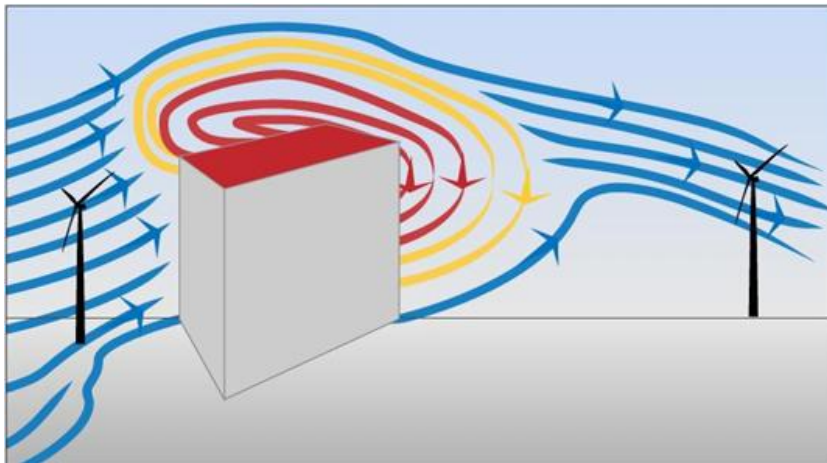
# Tecnologie del micro eolico

Quando parliamo di contesti urbani, dobbiamo spostare l'attenzione dai grandi parchi eolici a soluzioni più piccole e diffuse. Una turbina eolica in città, per esempio, deve confrontarsi con un vento più instabile, turbolento e direzionalmente variabile. Questo significa che le tecnologie devono essere più resilienti, leggere, silenziose e integrate con l'architettura, si parla quindi di macchine di piccola taglia con una potenza installata variabile da 5kW a 100kW.

Il rendimento globale di un sistema microeolico è inferiore a quello ottenibile da una turbina di grande taglia (un valore piuttosto ricorrente è 0,4) a causa delle ridotte dimensioni del sistema. Le turbine eoliche, realizzate solitamente in materiale composito.

Nel micro eolico, le turbine possono essere classificate in due grandi categorie in base all'orientamento dell'asse di rotazione: **turbine ad asse orizzontale** (HAWT) e **turbine ad asse verticale** (VAWT).

La scelta della tipologia dipende da numerosi fattori: velocità e direzione del vento, spazio disponibile, vincoli urbanistici, e obiettivi energetici del progetto.



Influenza di un edificio: flusso laminare (blu), turbolento (rosso)

# Microeolico



# Minieolico



Soluzioni di microeolico con  
potenza < 20 kW



# Tecnologie del micro eolico

Le **turbine ad asse orizzontale** sono le più efficienti in termini di rendimento ( $C_p$ ), soprattutto in contesti dove il vento ha direzione e velocità relativamente costanti. Il rotore è montato su un palo verticale, con le pale orientate nella direzione del vento, spesso tramite una coda direzionale o un sistema di orientamento attivo. Queste turbine hanno un TSR ottimale compreso tra 6 e 8, permettendo un buon **compromesso tra potenza prodotta e sollecitazioni meccaniche**. Tuttavia, necessitano di un flusso d'aria laminare e uno spazio libero da turbolenze, difficili da ottenere in ambienti urbani.



Le **turbine ad asse verticale** sono più adatte per contesti **complessi e turbolenti**, come tetti o aree edificate. Non richiedono orientamento al vento e sono generalmente più silenziose e meno invasive visivamente. Tuttavia, presentano un TSR più basso (1–3) e un **rendimento inferiore**. Sono utili in **soluzioni integrate con edifici** (Building Integrated Wind Turbines, BIWT) e per applicazioni a bassa potenza.

Possono essere principalmente di due tipi:

- **Savonius**: turbine a paletta, capaci di avviarsi autonomamente anche in presenza di deboli correnti d'aria, ma caratterizzata da un rendimento piuttosto basso.
- **Darrieus**: rendimento decisamente più elevato (approssimativamente doppio rispetto alla macchina Savonius), ma essa non è in grado di avviarsi automaticamente e di cogliere velocità contenute del vento.

# Integrazione architettonica e urbanistica

L'integrazione del microeolico in contesti urbani e periurbani pone una serie di sfide progettuali, normative e funzionali che lo distinguono nettamente dalle applicazioni eoliche su larga scala. Le turbine eoliche di piccola taglia – generalmente con potenza inferiore a 20 kW – possono trovare collocazione su edifici o in lotti privati, contribuendo all'autoproduzione energetica. Tuttavia, la loro efficacia dipende fortemente dal **microclima urbano**, dalla **turbolenza del vento** e dalla **quota di installazione**.

L'efficienza delle microturbine in ambito urbano è limitata da venti deboli e instabili. Per questo motivo, sono preferibili soluzioni ad asse verticale (VAWT), più tolleranti alla turbolenza. Tuttavia, l'**analisi anemologica** locale resta fondamentale per ogni progetto, anche per piccole installazioni.

A **livello architettonico**, l'integrazione implica considerare:

- **Orientamento e posizione** della turbina rispetto ai venti dominanti.
- **Effetti strutturali** sul fabbricato (peso, vibrazioni, trasmissione acustica).
- Accessibilità per la **manutenzione**.
- **Impatto visivo** sul paesaggio urbano e sul profilo architettonico.

Dal **punto di vista urbanistico**, l'installazione deve essere valutata in relazione:

- alla **densità edilizia** circostante;
- alla presenza di **vincoli paesaggistici** o **storico-monumentali**;
- al **regolamento edilizio** locale e alle linee **guida regionali**, spesso stringenti per installazioni sopra tetto.

21.5

---

**Geotermia**

# Geotermia

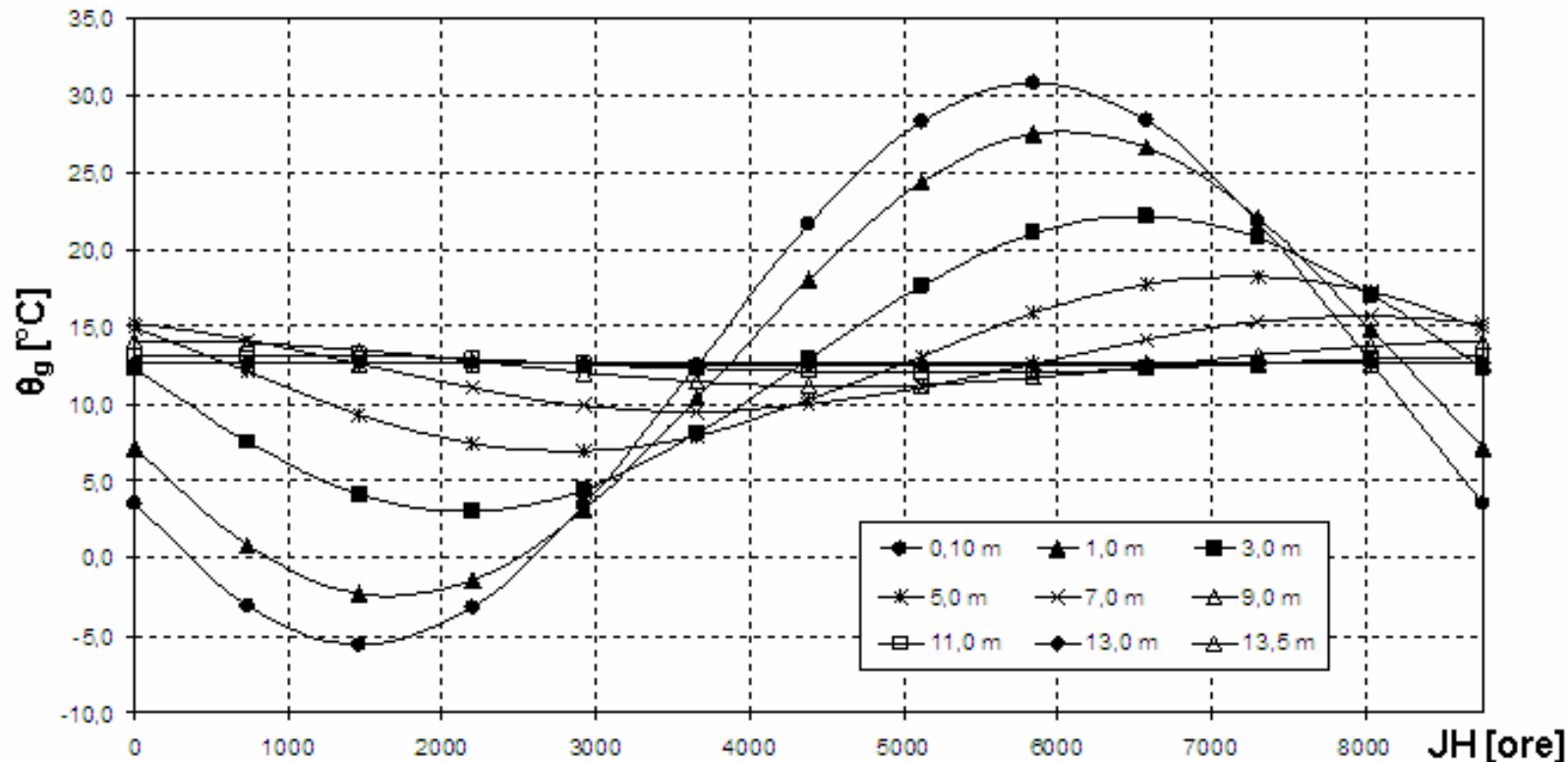
L'energia geotermica rappresenta una fonte rinnovabile stabile e continua, derivata dal calore immagazzinato nel sottosuolo terrestre. In ambito edilizio, si fa principalmente riferimento alla **geotermia a bassa entalpia**, cioè su quella fascia superficiale del sottosuolo in cui la temperatura è relativamente costante (generalmente entro i 100–150 metri di profondità). Questo calore viene intercettato attraverso delle sonde per il riscaldamento e il raffrescamento degli edifici tramite **pompe di calore geotermiche**.

A differenza delle fonti rinnovabili che dipendono fortemente dalle condizioni meteorologiche, la geotermia garantisce un apporto costante durante tutto l'anno.

Questo rende il sottosuolo una fonte termica ideale sia per fornire calore in inverno, sia per dissipare calore in estate.

Le **pompe di calore geotermiche** sono dispositivi termodinamici che sfruttano il calore naturale del terreno per riscaldare, raffrescare e produrre acqua calda sanitaria. Il loro principio di funzionamento si basa sul **ciclo frigorifero inverso**: un fluido termovettore (acqua o miscela acqua-glicole) circola in un circuito chiuso (sonda geotermica) e assorbe calore dal sottosuolo; questo calore viene poi "sollevato" termicamente tramite la pompa di calore per essere trasferito all'impianto di distribuzione termica dell'edificio.

# Geotermia

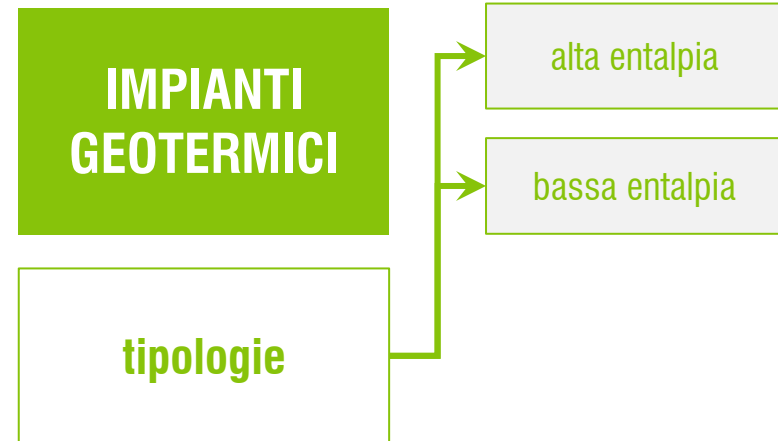


Profili di temperatura nel corso dell'anno in un terreno sabbioso umido a diverse profondità, una temperatura media annuale dell'aria esterna di 13 °C ed un'escursione termica annuale media di 17 °C.

# Tipologie di sistemi geotermici per l'edilizia

La più **conveniente** forma di **utilizzo** di una **pompa di calore** prevede l'**associazione** a sistemi di captazione dell'energia presente nel **terreno**. Essendo la temperatura nel terreno **quasi costante** nel corso dell'anno già a pochi metri di profondità, questa sorgente risulta la più **idonea** all'abbinamento alla pompa di calore per la climatizzazione invernale ed estiva.

I sistemi geotermici ad **alta entalpia** sono caratterizzati dalla suzione del calore ad elevate profondità e adatti all'**uso diretto** del calore stesso. Il fluido termovettore è costituito dall'acqua, a temperatura anche superiore a 100 °C; a tali scopi il sistema è costituito da un pozzo di **prelievo** ed uno di **reimmissione** delle acque.

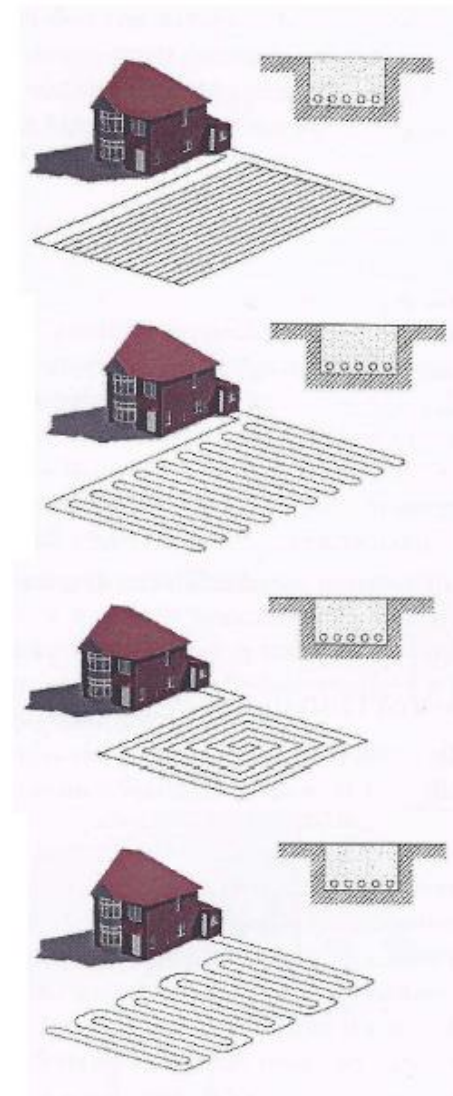


I sistemi geotermici a **bassa entalpia** sono invece abbinati prevalentemente a **pompe di calore** acqua-acqua, i quali prevedono il prelievo di acqua a **bassa temperatura** da sottosuolo o l'impiego di **scambiatori di calore**.

# Tipologie di sistemi geotermici per l'edilizia

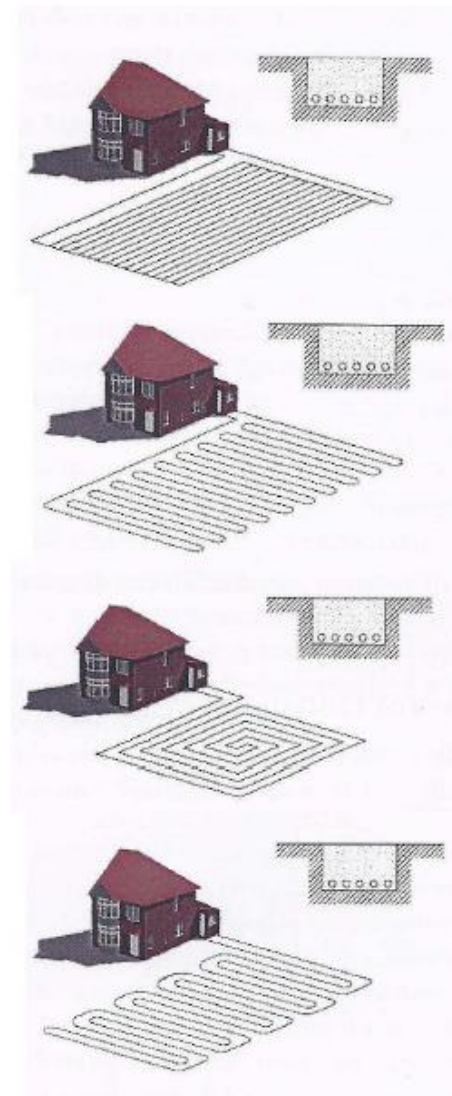
Le tipologie di applicazione delle pompe di calore geotermiche individuabili sono:

- la **disposizione orizzontale**, in cui gli scambiatori vengono posti in **scavi orizzontali**, perciò necessitano di congrue aree destinate a giardino. I collettori geotermici orizzontali (in inglese, **Horizontal GCHPs, Ground Coupled Heat Pumps**) sfruttano il **calore accumulato negli strati superficiali** della superficie terrestre: entro una profondità di 5 m, è possibile disporre di temperature comprese tra 8 °C e 14 °C nel corso di tutto l'anno. Il calore accumulato entro questa profondità **deriva dall'irraggiamento solare e dalle precipitazioni**, mentre è trascurabile il contributo dell'energia geotermica. Per questo motivo è fruttuoso ricorrere a questa tipologia distributiva in spazi aperti e ben soleggiati, nei quali tali contributi sono rilevanti.



# Tipologie di sistemi geotermici per l'edilizia

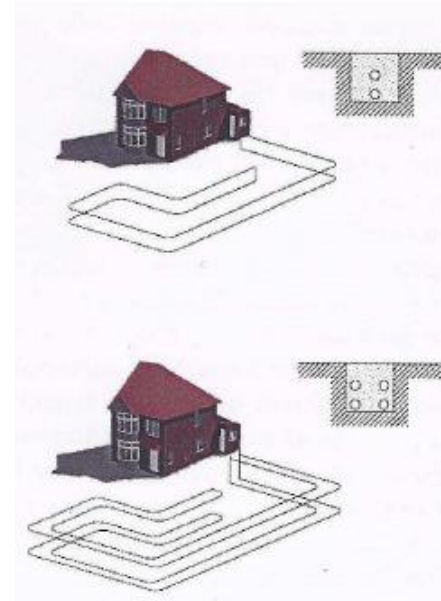
- Gli scambiatori possono essere posizionati ad una **profondità di 0,8÷1,2 m** mediante lo sbancamento di una superficie ampia. Le tubazioni, realizzate usualmente in **polietilene** o **polipropilene** con diametro esterno di 20÷25 mm (all'interno delle quali circola una **soluzione incongelabile di acqua e glicole**), sono disposte in **serpentine** installate manualmente, previa posa di uno **strato di sabbia** di spessore pari a circa 20 cm, e successivo ricoprimento con il terreno rimosso in fase di scavo.



# Tipologie di sistemi geotermici per l'edilizia

Le tipologie di applicazione delle pompe di calore geotermiche individuabili sono:

- la **disposizione compatta**, costituita dallo scavo di trincee, larghe in genere 60 cm, con l'immediato beneficio di una riduzione del volume di terreno scavato. Le tubazioni, tipicamente in PE-X, sono disposte a profondità variabili tra 1,2 ml e 3 ml, generando in sezione disposizioni diverse, riconducibili comunque a due famiglie:
  - ad **anello chiuso**, in cui nella stessa sezione di trincea corrono tubazioni di mandata e di ritorno;
  - ad **anello aperto**, secondo la quale nella stessa sezione sono accoppiate tubazioni in cui circola fluido alla medesima temperatura.
- I collettori ad anello si sviluppano secondo piani (due, tre o quattro) distanti non meno di 0,40 ml: contenendo l'effetto dell'interferenza, la potenza termica ricavabile dal terreno è prossima a quella ottenibile da una disposizione a serpentino.

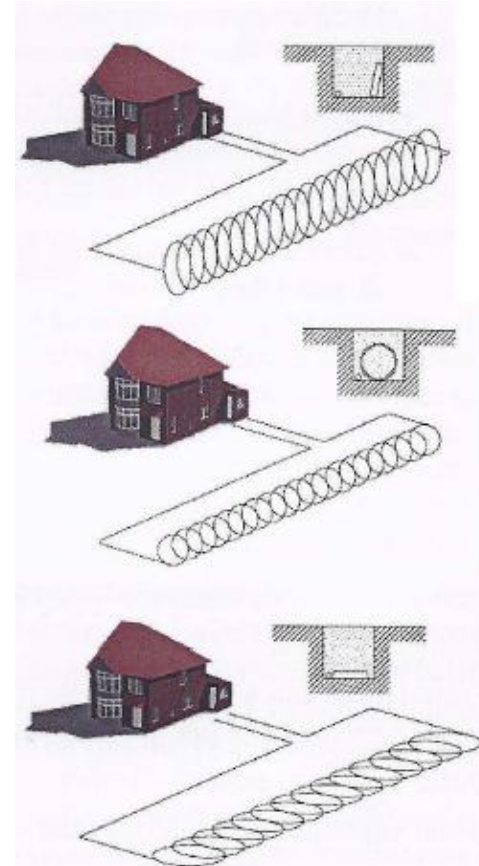


# Tipologie di sistemi geotermici per l'edilizia

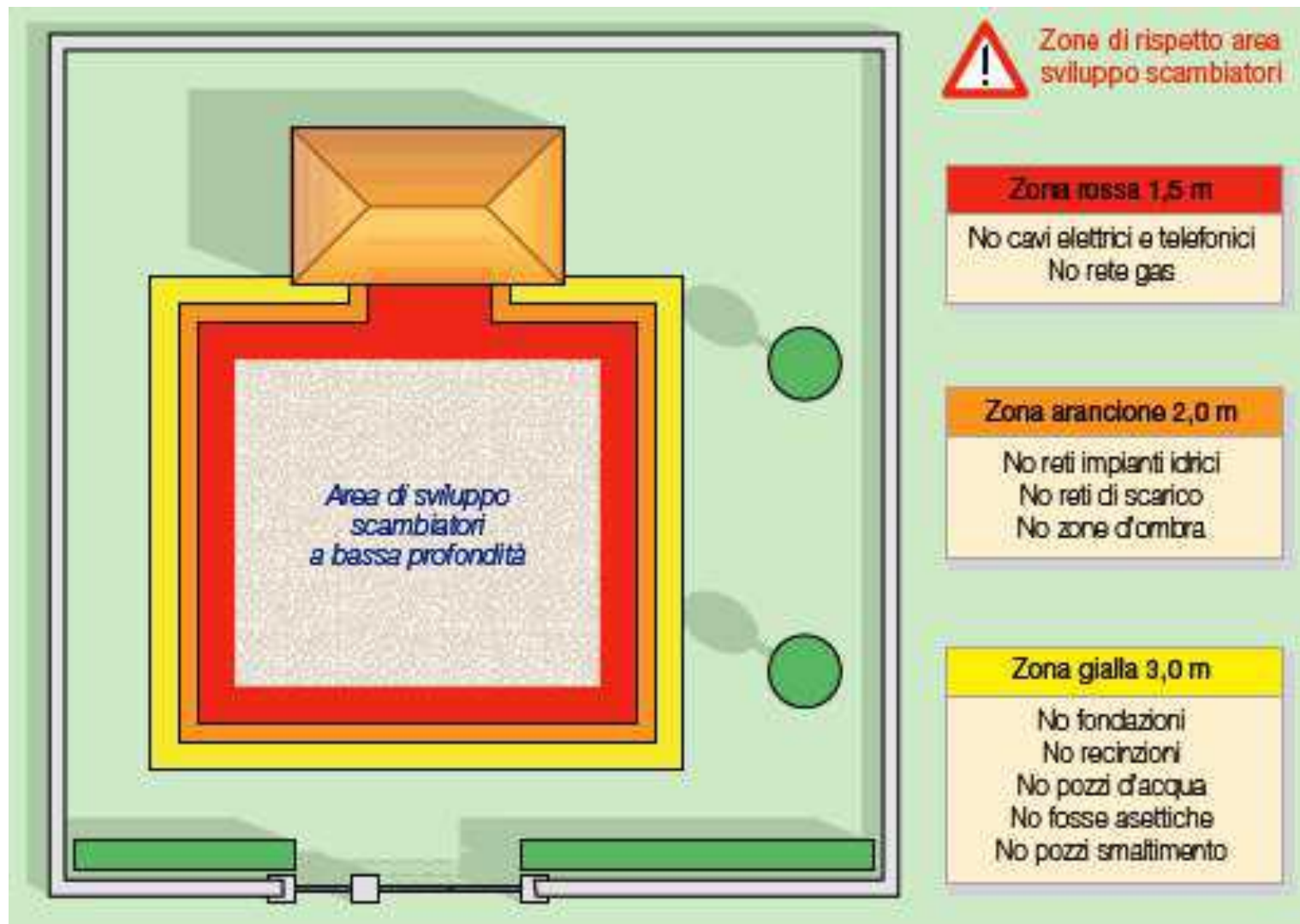
Le tipologie di applicazione delle pompe di calore geotermiche individuabili sono:

- la **disposizione** cosiddetta '**a bobina**' o '**a spirale**', realizzabile sia in scavi a sbancamento che in trincee; l'elevato grado di interferenza rende chiaramente necessario un notevole sviluppo delle tubazioni. L'asse delle spirali si colloca in media a 1,5 ml dalla quota del piano campagna; allo scopo di prevenire un eccessivo raffreddamento del terreno, due trincee adiacenti devono essere distanziate di almeno 2,5 ml.

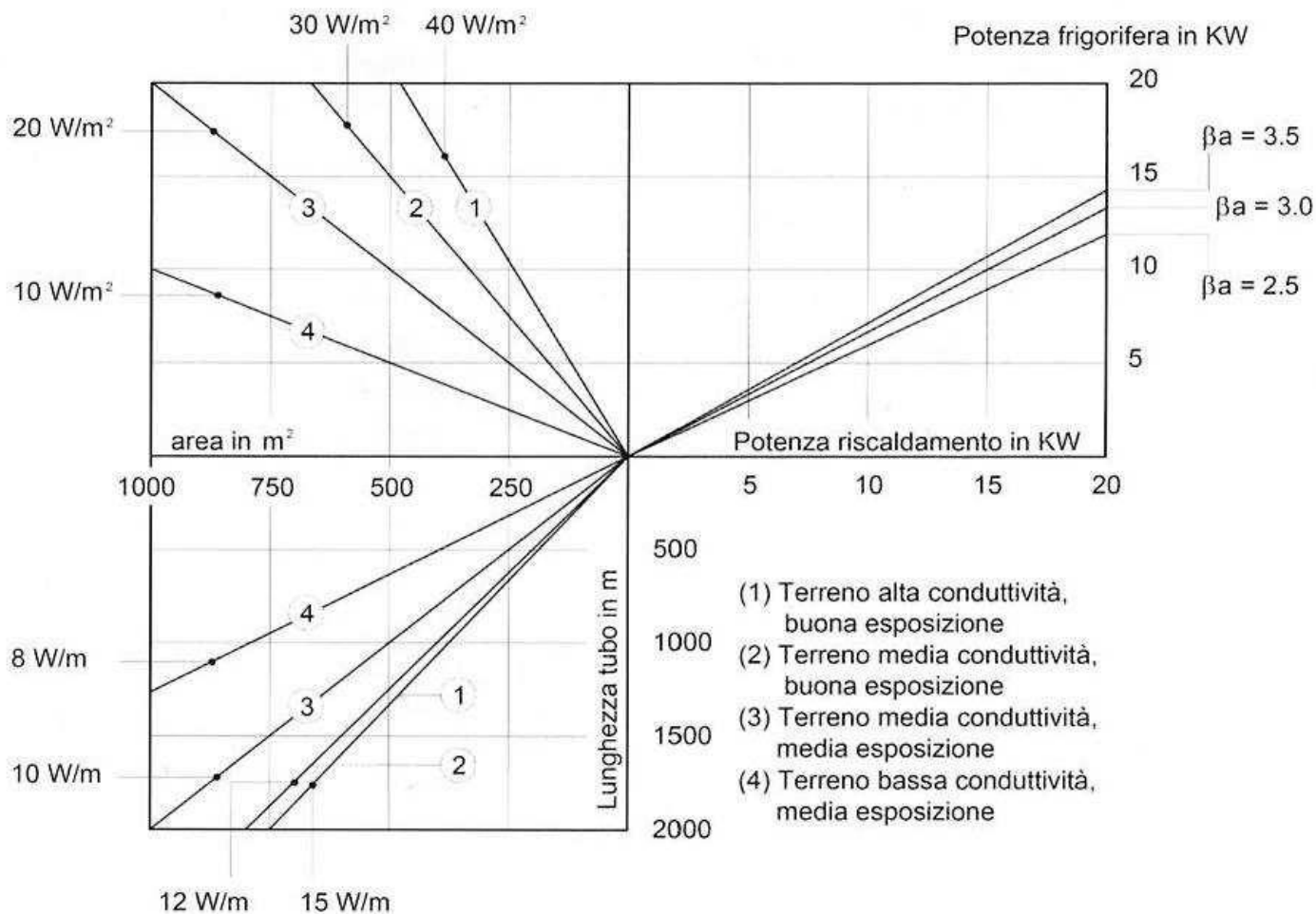
La superficie necessaria a questa tipologia distributiva è notevolmente elevata, e può raggiungere i 1500 m<sup>2</sup>; ne è allora preclusa l'applicazione in interventi in cui è ridotta la disponibilità di terreno. Se applicata a terreni ghiaiosi, la distribuzione è suscettibile di variazioni di potenza scambiata, in base al contenuto d'acqua dello strato di posa.



# Tipologie di sistemi geotermici per l'edilizia



# Tipologie di sistemi geotermici per l'edilizia

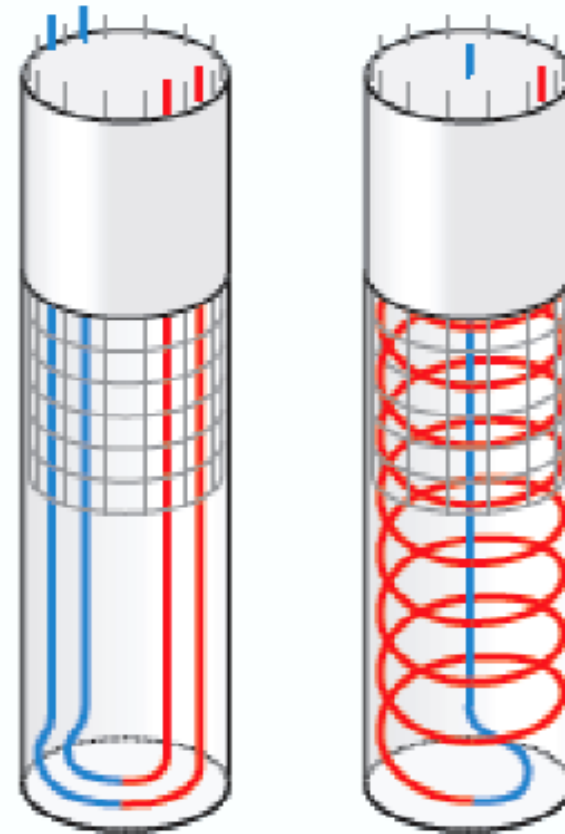


Normogramma per il predimensionamento dei sistemi a collettori geometrici orizzontali

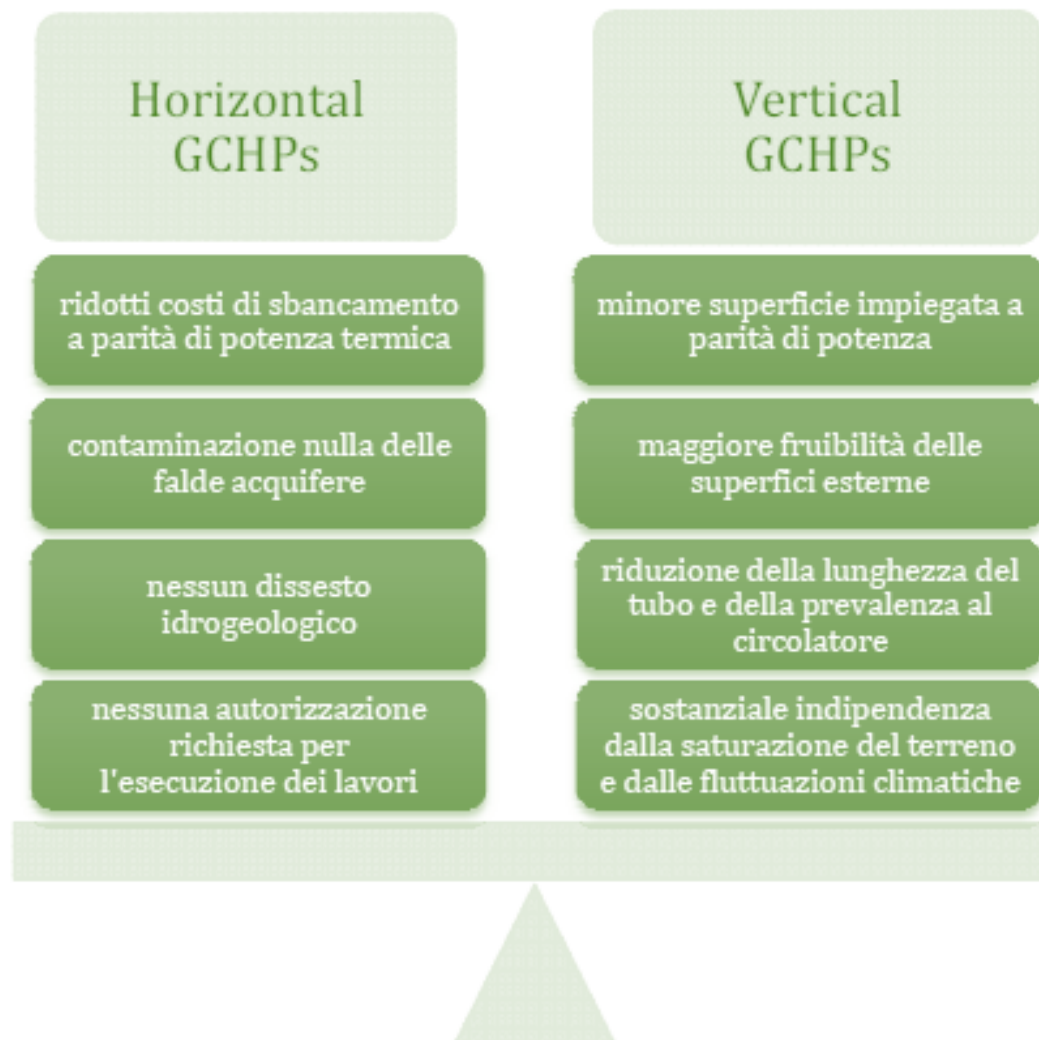
# Tipologie di sistemi geotermici per l'edilizia

Le tipologie di applicazione delle pompe di calore geotermiche individuabili sono:

- la **disposizione verticale**, detta a **sonde geotermiche**. Le sonde geotermiche verticali (in inglese, **Vertical GCHPs**) utilizzano il calore disponibile nel terreno fino ad una profondità di 300 ml. L'impianto geotermico a sonde verticali è realizzato mediante perforazioni di diametro generalmente compreso tra 100 e 180 mm, in funzione della tipologia di sonda impiegata. In ciascun foro si inseriscono successivamente uno o due circuiti ad 'U', in tubazioni di polietilene ad elevata resistenza il cui diametro varia in genere tra i 25 ed i 40 mm. Al termine dell'inserimento dello scambiatore di calore nella perforazione, la sonda geotermica viene sigillata con una colata bentonitica, in modo da esaltare il contatto fisico tra lo scambiatore di calore ed il terreno circostante e rendere massimo lo scambio termico per conduzione.



# Tipologie di sistemi geotermici per l'edilizia



# 21.6

---

**Prescrizioni normative**

# Implementazione fonti rinnovabili

## QUOTE MINIME DI COPERTURA DA FER

Si deve dare seguito agli **obblighi di integrazione minima** previsti dal **D. Lgs. 199/2021**.

### Rinnovabile termica:

- **Acqua calda sanitaria (ACS)**: deve essere coperta da FER per almeno il 50%
- **Climatizzazione (invernale, estiva) e ACS**: dal 2026 l'obbligo di copertura è salito dal 60% del fabbisogno totale (era il 50% fino al 2025 e il 35% fino al 2016)
- **Eccezioni**: Sono esclusi gli edifici allacciati a reti di teleriscaldamento che coprono l'intero fabbisogno. Per gli edifici nei centri storici, le quote sono ridotte al 20%.

### Potenza elettrica FER installati sopra, all'interno o nelle pertinenze dell'edificio

- La potenza minima da installare ( $P$ ) è calcolata in base alla superficie in pianta dell'edificio ( $S$ ) divisa per un coefficiente  $K$
- Dal 2026 il valore di  $K$  è pari a 20 (mentre era 50 fino al 2025 e 65 fino al 2016)

### Requisiti tecnici ed edifici pubblici

- I pannelli solari e fotovoltaici devono essere **aderenti o integrati** alle coperture, rispettandone inclinazione e orientamento.
- Per gli edifici pubblici o ad uso pubblico tutte le percentuali di copertura sono incrementate del 10% (es. 35% → 38,5%)

### Sanzioni

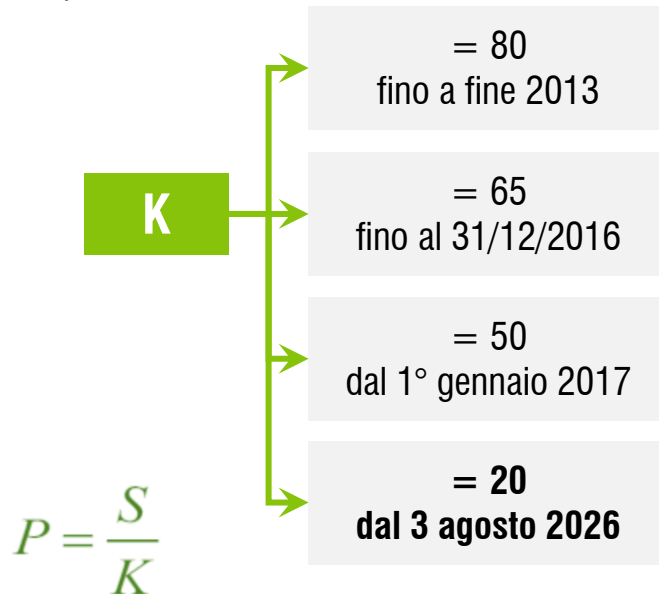
- La mancata osservanza di questi obblighi comporta una penalizzazione, ovvero la riduzione dell'indice di prestazione energetica globale ammesso per l'edificio, calcolata secondo una specifica formula che mette in relazione la quota obbligatoria con quella effettivamente realizzata.

# Implementazione fonti rinnovabili

La potenza elettrica degli impianti alimentati da fonti rinnovabili è da installare:

- sull'involucro dell'edificio;
- nelle pertinenze dell'edificio,

per entrambe le categorie d'intervento è determinata in funzione della **superficie S in pianta** dell'edificio e da un coefficiente K variabile con le predette scadenze temporali.



Le **prestazioni minime** inerenti gli **edifici pubblici** sono **incrementate del 10%**.

Nel caso in cui non sia possibile ottemperare, in tutto o in parte, all'obbligo di integrazione delle FER, non è più sufficiente documentare tale impossibilità, ma è necessario ridurre l'indice di prestazione energetica complessiva, come segue:

$$I \leq I_{192} \cdot \left[ \frac{1}{2} + \frac{\frac{\%_{\text{effettiva}}}{\%_{\text{obbligo}}} + \frac{P_{\text{effettiva}}}{P_{\text{obbligo}}}}{4} \right]$$

- $\%_{\text{obbligo}}$  : percentuale dei consumi per riscaldamento, produzione ACS; raffrescamento da coprire tramite FER;
- $\%_{\text{effettiva}}$  : percentuale effettivamente coperta;
- $P_{\text{obbligo}}$  : potenza elettrica minima da installare;
- $P_{\text{effettiva}}$  : potenza elettrica effettivamente installata.

# 21.7

---

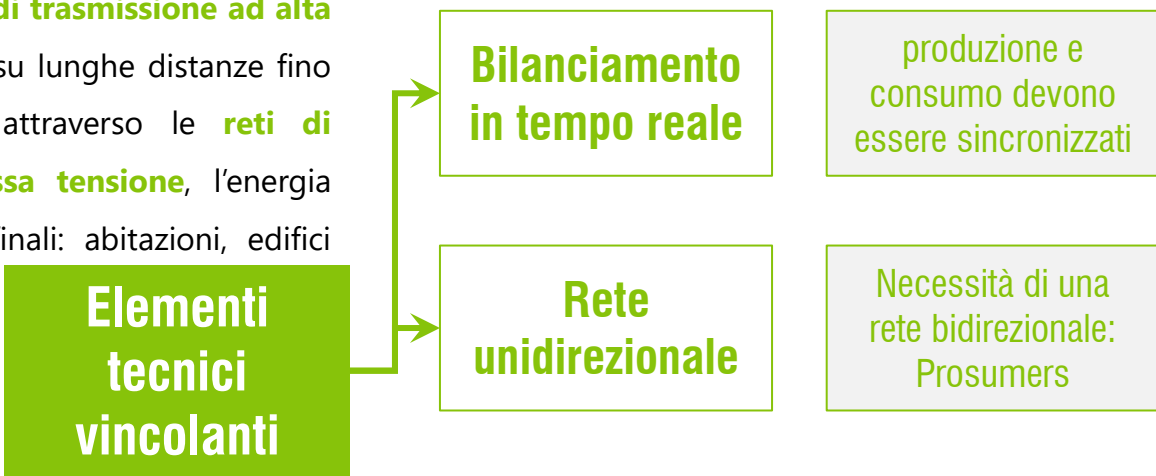
## **Struttura e funzionamento del sistema elettrico nazionale**

# Struttura del sistema elettrico

Il sistema elettrico italiano rappresenta una complessa rete di infrastrutture, attori e regole che garantisce la disponibilità continua di energia elettrica su tutto il territorio nazionale. Questa infrastruttura è complessa, stratificata nel tempo, e ha delle regole precise oltre che dei limiti tecnici ben definiti.

Tradizionalmente, il sistema elettrico è stato organizzato secondo una **logica centralizzata**. La produzione di energia avviene in pochi grandi impianti – centrali termoelettriche, nucleari o idroelettriche – che immettono energia in una **rete di trasmissione ad alta tensione**, la quale la trasporta su lunghe distanze fino ai centri di consumo. Qui, attraverso le **reti di distribuzione a media e bassa tensione**, l'energia viene consegnata agli utenti finali: abitazioni, edifici pubblici, industrie, infrastrutture.

Alcuni **vincoli**, quali il necessario **bilanciamento** tra l'energia prodotta e quella consumata alle utenze, la **variazione della domanda** nel periodo giornaliero, settimanale e stagionale, **l'assenza di sistemi di stoccaggio** a livello di rete, la necessità di controllare la **frequenza, la tensione e la massima potenza** della corrente elettrica circolante in rete, richiedono la presenza di un soggetto capace di **coordinare la produzione delle diverse centrali** secondo le esigenze espresse dagli utilizzatori.



# Struttura del sistema elettrico

La struttura del sistema elettrico italiano è articolata e regolamentata per garantire l'approvvigionamento continuo, sicuro e sostenibile dell'energia elettrica. Si compone di **quattro anelli principali: produzione, trasmissione, distribuzione e vendita**, ed è governato da una serie di soggetti pubblici e privati.

Il primo elemento è la **generazione**, dove l'energia viene **prodotta** attraverso diverse tecnologie come centrali termoelettriche, idroelettriche, eoliche o fotovoltaiche, ciascuna con caratteristiche peculiari di programmabilità e flessibilità.

L'energia prodotta viene poi **immessa nella rete** di **trasmissione**, costituita da linee ad alta e altissima tensione, che trasportano grandi quantità di energia su lunghe distanze minimizzando le perdite.

PRODUZIONE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chi produce: impianti termoelettrici idroelettrici, eolici, fotovoltaici geotermici e biomasse</li> <li>• Tipi di impianti: Grandi centrali (enel, edison A2A...), piccoli produttori (impianti fotovoltaici, prosumer)</li> <li>• Regolazione: Libertà di accesso al mercato (mercato libero), normative sulle fonti rinnovabili</li> </ul>
TRASMISSIONE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestore unico: TERNA S.p.A.</li> <li>• Ruolo: Gestisce la rete di trasmissione Nazionale (RTN) ad alta e altissima tensione, pianifica e sviluppa l'infrastruttura (75mila KM di linee); garantisce l'equilibrio tra domanda e offerta</li> <li>• Proprietà: pubblica, controllata dallo Stato attraverso Cassa Depositi e Prestiti</li> </ul>
DISTRIBUZIONE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestori principali: e-distribuzione (Enel), circa 85% del territorio, Enti locali</li> <li>• Compiti: Trasporto energia a media e bassa tensione, collegamento tra la trasmissione e le utenze, manutenzione reti locali e gestione dei guasti</li> <li>• Attività regolata: concessioni pluriennali e tariffe fissate da ARERA</li> </ul>
MERCATO E VENDITA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mercato libero: Oltre 600 fornitori autorizzati (Enel Energia, Edison, Sogenergia; Illumia, ecc.), prezzi a condizioni contrattuali liberamente definiti</li> </ul>
REGOLAZIONE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ARERA (Autorità Regolazione per Energia Reti e Ambiente): regola le tariffe di rete, la qualità del servizio e tutela i consumatori</li> <li>• GSE (Gestore dei Servizi Energetici): gestisce gli incentivi per la produzione da fonti rinnovabili, sostiene l'autoconsumo e le CER</li> <li>• GME (Gestore dei Mercati Energetici): organizzazione e gestione del mercato elettrico, organizza la contrattazione per i certificati verdi e i titoli di efficienza energetica</li> </ul>

# Struttura del sistema elettrico

Successivamente, la rete di **distribuzione**, composta da **linee a media e bassa tensione**, capillarmente diffuse sul territorio, consegna l'energia ai punti di consumo finale.

Il quarto elemento è rappresentato dai **sistemi di controllo e dispacciamento** che orchestrano l'intero processo, garantendo costantemente l'equilibrio tra generazione e carico, regolando tensione e frequenza, e gestendo i flussi energetici per evitare sovraccarichi o interruzioni.

Decreto Legislativo 79/1999 (Decreto Bersani): liberalizzazione del mercato elettrico.

D.lgs. 210/2021: recepimento del pacchetto europeo sull'energia pulita.

Delibere ARERA (es. 111/06, 487/18, ecc.): definiscono ruoli e obblighi tecnici.

Codice di rete di TERNA: regole tecniche per connessione e gestione della rete.

PRODUZIONE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chi produce: impianti termoelettrici idroelettrici, eolici, fotovoltaici geotermici e biomasse</li> <li>• Tipi di impianti: Grandi centrali (enel, edison A2A.., piccoli produttori (impianti fotovoltaici, prosumer)</li> <li>• Regolazione: Libertà di accesso al mercato (mercato libero), normative sulle fonti rinnovabili</li> </ul>
TRASMISSIONE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestore unico: TERNA S.p.A.</li> <li>• Ruolo: Gestisce la rete di trasmissione Nazionale (RTN) ad alta e altissima tensione, pianifica e sviluppa l'infrastruttura (75mila KM di linee); garantisce l'equilibrio tra domanda e offerta</li> <li>• Proprietà: pubblica, controllata dallo Stato attraverso Cassa Depositi e Prestiti</li> </ul>
DISTRIBUZIONE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestori principali: e-distribuzione (Enel), circa 85% del territorio, Enti locali</li> <li>• Compiti: Trasporto energia a media e bassa tensione, collegamento tra la trasmissione e le utenze, manutenzione reti locali e gestione dei guasti</li> <li>• Attività regolata: concessioni pluriennali e tariffe fissate da ARERA</li> </ul>
MERCATO E VENDITA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mercato libero: Oltre 600 fornitori autorizzati (Enel Energia, Edison, Sogenergia; Illumia, ecc.), prezzi a condizioni contrattuali liberamente definiti</li> </ul>
REGOLAZIONE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ARERA (Autorità Regolazione per Energia Reti e Ambiente): regola le tariffe di rete, la qualità del servizio e tutela i consumatori</li> <li>• GSE (Gestore dei Servizi Energetici): gestisce gli incentivi per la produzione da fonti rinnovabili, sostiene l'autoconsumo e le CER</li> <li>• GME (Gestore dei Mercati Energetici): organizzazione e gestione del mercato elettrico, organizza la contrattazione per i certificati verdi e i titoli di efficienza energetica</li> </ul>

# Produzione

La produzione di energia in Italia ha subito significative trasformazioni negli ultimi anni, con una crescente attenzione verso la **sostenibilità** e la **riduzione della dipendenza energetica** dall'estero. Il mix energetico italiano è composto da diverse fonti, con una **predominanza delle fonti fossili**, sebbene in diminuzione, e una crescita costante delle fonti rinnovabili. Nel 2023, la produzione di energia elettrica è stata così suddivisa:

## Fonti fossili: 63,2%

- Gas naturale: 82,7% del totale termoelettrico
- Carbone: 8,3%
- Derivati petroliferi: 2,0%
- Altri combustibili: 7,1%

## Fonti rinnovabili: 36,8%

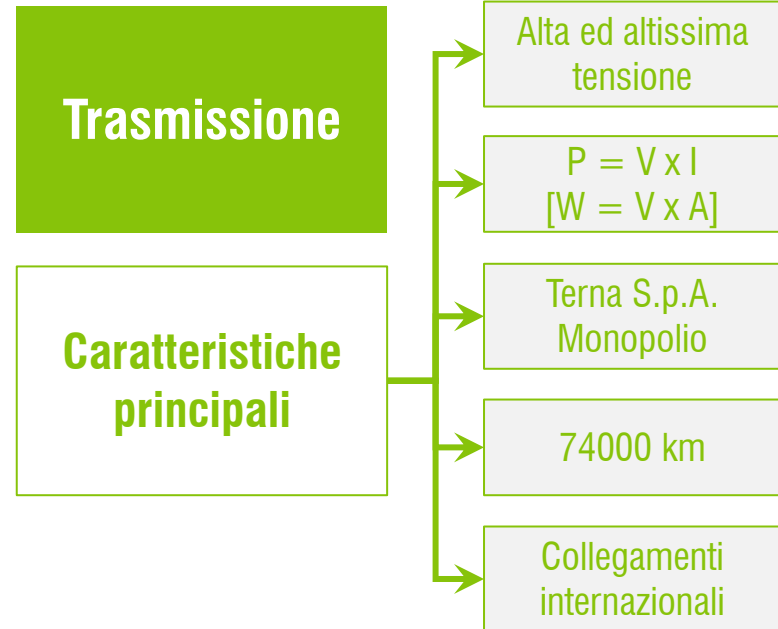
- Idroelettrico: 38,2% delle rinnovabili
- Eolico: 28,4%
- Fotovoltaico: 14%
- Bioenergia e geotermia: restante percentuale



# Trasmissione

Il **sistema di trasmissione** dell'energia elettrica costituisce l'infrastruttura fondamentale che consente di **portare l'elettricità prodotta nei grandi impianti** – tradizionali o da fonti rinnovabili – **fino alle cabine primarie** che poi trasferiranno alla rete di distribuzione locale.

In Italia, la trasmissione avviene tramite la **Rete di Trasmissione Nazionale (RTN)**, una rete capillare di oltre 74.000 chilometri gestita da Terna, il principale operatore italiano e uno dei più grandi a livello europeo. L'energia, una volta prodotta, viene innanzitutto "elevata" di tensione – tipicamente a **132, 220 o 380 kV** – attraverso trasformatori elevatori. L'elevazione di tensione consente di trasportare energia su lunghe distanze riducendo le perdite per effetto Joule. Una volta giunta nei pressi dei centri urbani o industriali, l'energia viene "ridotta" di tensione attraverso sottostazioni e trasformatori riduttori, per poi essere immessa nella rete di distribuzione locale.



# Distribuzione

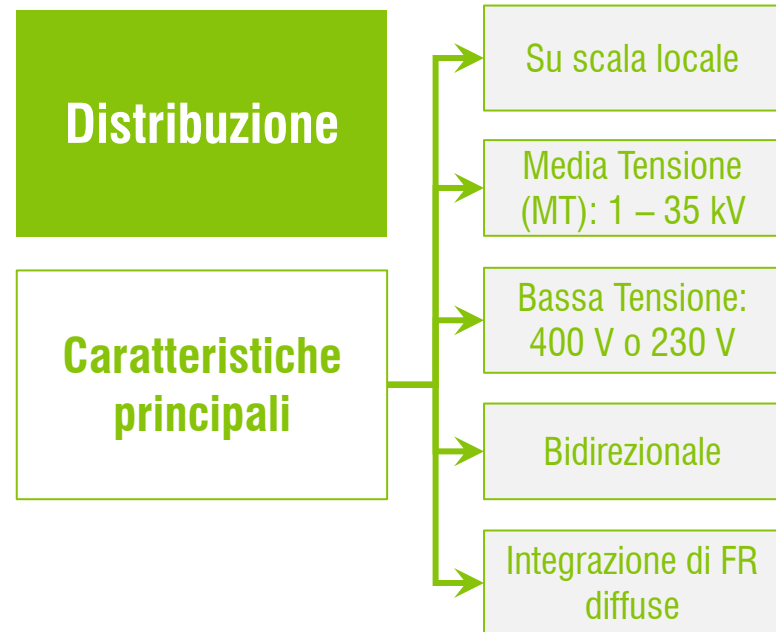
La **rete di distribuzione** rappresenta l'ultimo tratto del percorso che l'energia elettrica compie per giungere al punto d'uso. Dopo essere stata trasportata ad alta tensione sulla rete nazionale, l'elettricità entra nella rete di **distribuzione locale attraverso le sottostazioni**, dove viene abbassata a livelli compatibili con le esigenze dei consumatori finali. In Italia, la rete di distribuzione è composta da oltre 1 milione di km di linee elettriche e gestita da numerosi operatori. Il principale è **e-distribuzione**, con oltre il 90% del mercato, ma esistono anche altri gestori.

La distribuzione si articola su due livelli principali:

Media Tensione (MT), compresa tra 1 e 35 kV, che serve clienti industriali, commerciali e servizi pubblici.

Bassa Tensione (BT), tipicamente a 400 V o 230 V, destinata ad abitazioni, piccoli negozi e artigiani.

Uno degli aspetti cruciali del sistema di distribuzione moderno è la necessità di gestire la generazione distribuita.



# Enti di gestione del servizio elettrico

Il sistema elettrico italiano è strutturato in maniera complessa e articolata, con diversi soggetti istituzionali e industriali coinvolti nella sua gestione, regolazione e funzionamento.

Al vertice della regolazione troviamo **ARERA** (Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente), un'autorità indipendente che definisce le tariffe di accesso alla rete, promuove la concorrenza e tutela i consumatori, garantendo trasparenza e qualità del servizio.

**TERNA S.p.A.**, il Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) ha il compito tecnico e strategico di pianificare, sviluppare e gestire le infrastrutture ad alta tensione, che rappresentano la spina dorsale della rete elettrica. TERNA si occupa del dispacciamento, cioè dell'equilibrio in tempo reale tra domanda e offerta di energia, coordinando flussi e risorse per garantire la stabilità del sistema.

**GSE (Gestore dei Servizi Energetici)** svolge invece un ruolo complementare e orientato alla sostenibilità. È il punto di riferimento per lo sviluppo delle fonti rinnovabili e per la promozione dell'efficienza energetica. Gestisce i meccanismi di incentivazione – come quelli per le comunità energetiche rinnovabili – e ha un ruolo operativo nella compravendita dell'energia elettrica incentivata.

A livello locale, i **distributori di energia** come e-distribuzione, Areti o Unareti sono responsabili delle infrastrutture a media e bassa tensione. Essi mantengono e sviluppano la rete, eseguono gli allacciamenti, leggono i contatori e garantiscono la continuità del servizio nelle città e nei territori.

Infine, i **venditori di energia** (es. Enel Energia, Sorgenia, Edison) operano nel mercato libero, proponendo ai clienti finali diverse offerte commerciali. Si occupano della fatturazione e del rapporto diretto con l'utenza, fungendo da interfaccia finale dell'intero sistema.

# 21.8

---

**Comunità Energetiche Rinnovabili**

# Configurazioni per la sostenibilità

## Sostenibilità e comunità

Il concetto di **sostenibilità**, così come definito dalla Commissione Brundtland nel 1987, implica la capacità di **soddisfare i bisogni della generazione presente senza compromettere quelli delle generazioni future**. In questo contesto, il ruolo delle **comunità** è diventato sempre più centrale nella transizione verso un modello di sviluppo più equo, resiliente e rispettoso dell'ambiente.

Le **comunità sostenibili** sono insiemi di cittadini, organizzazioni e istituzioni locali che collaborano per migliorare la qualità della vita, ridurre l'impatto ambientale e rafforzare i legami sociali ed economici. Si fondano su principi quali la **partecipazione attiva**, la **condivisione delle risorse** e l'**autonomia energetica**. Le fonti rinnovabili, in particolare, offrono un'opportunità concreta per le comunità di diventare protagoniste della transizione ecologica, promuovendo modelli distribuiti di produzione e consumo.

Le **Comunità Energetiche Rinnovabili** (CER) rappresentano un'espressione concreta di questi principi. Esse favoriscono l'adozione di **impianti a fonte rinnovabile a livello locale**, incoraggiano la **condivisione dell'energia prodotta** e creano valore sociale, economico e ambientale sul territorio. In tal modo, non solo si riduce la dipendenza energetica da fonti fossili, ma si costruisce anche un nuovo modello di cittadinanza energetica, basato su corresponsabilità e trasparenza.

Inoltre, la sostenibilità delle comunità non si limita alla dimensione ambientale, ma include anche la **coesione sociale**, l'**inclusione** e l'**equità**. Le CER, se ben progettate, possono **coinvolgere fasce vulnerabili** della popolazione e **contrastare la povertà energetica**, rendendo l'energia accessibile e più equamente distribuita.

# Quadro normativo europeo ed italiano

A livello europeo, la principale cornice legislativa è rappresentata dal **Clean Energy Package**, un insieme di direttive e regolamenti adottati tra il 2018 e il 2019 per accelerare la transizione energetica e trasformando i consumatori in produttori, **prosumer**.

In particolare, due direttive sono fondamentali per la nascita delle CER:

- **La Direttiva (UE) 2018/2001** (RED II) sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, che introduce il concetto di "comunità di energia rinnovabile";
- **La Direttiva (UE) 2019/944** sul mercato interno dell'energia elettrica, che definisce la "comunità energetica dei cittadini" e promuove modelli di partecipazione attiva e locale

L'Italia ha recepito queste direttive inizialmente con il **Decreto Milleproroghe (Legge 8/2020)**, che ha introdotto in via sperimentale le CER, e successivamente con il **Decreto Legislativo 199/2021**, che ha dato attuazione completa alla RED II. Nel 2024 è stato approvato il **Decreto CER definitivo**, che stabilisce le regole operative, gli incentivi economici (tariffe incentivanti e contributi a fondo perduto), e le modalità di accesso al servizio di condivisione dell'energia tramite il GSE (Gestore dei Servizi Energetici).

Alcuni punti chiave del quadro normativo italiano sono:

- La CER può essere costituita da cittadini, PMI, enti locali, cooperative, condomini.
- I membri devono essere connessi alla **stessa cabina primaria** di trasformazione elettrica.
- L'energia condivisa dà diritto a **incentivi per kWh autoconsumati virtualmente**, solo se prodotti e consumati in contemporanea (con criteri temporali definiti).

# Cosa sono le Comunità Energetiche Rinnovabili

# 87

Le **Comunità Energetiche Rinnovabili (CER)** sono soggetti giuridici composti da una pluralità di attori, cittadini, enti pubblici, imprese, cooperative, condomini, che collaborano per produrre, consumare, condividere, accumulare e vendere **energia da fonti rinnovabili**, generata localmente.

Secondo la definizione introdotta dalla normativa l'obiettivo principale di una CER non è il profitto, ma la **generazione di benefici ambientali, economici e sociali** a favore dei membri e del territorio.

Le CER si fondano su tre principi chiave:

1. **Produzione locale di energia rinnovabile**, tramite impianti come fotovoltaico, mini-eolico, biomassa;
2. **Condivisione virtuale dei consumi**, attraverso il sistema elettrico nazionale e la piattaforma di gestione del GSE;
3. **Partecipazione attiva dei membri**, che possono essere sia consumatori che produttori, i cosiddetti **prosumer**.

Un elemento fondamentale è il **vincolo geografico**: i membri devono essere allacciati alla stessa **cabina primaria** di distribuzione dell'energia elettrica. Questo garantisce che la condivisione dell'energia avvenga in un ambito territoriale coerente e gestibile.

I benefici per i membri di una CER includono:

- Riduzione delle bollette energetiche;
- Incentivi per l'energia condivisa;
- Maggiore indipendenza energetica;
- Miglioramento dell'impatto ambientale locale;
- Rafforzamento del tessuto sociale e delle reti di collaborazione.

Le CER rappresentano un cambiamento di paradigma nel modo di concepire l'energia: da un sistema centralizzato e passivo, a un modello **distribuito, partecipativo e cooperativo**. Sono uno strumento concreto per rendere le comunità protagoniste della transizione ecologica.

# Altri modelli di condivisione dell'energia

Oltre alle Comunità Energetiche Rinnovabili (CER), il quadro normativo italiano ed europeo riconosce altri modelli di gestione condivisa dell'energia, che si basano sul principio dell'**autoconsumo**. Questi modelli differiscono per struttura, scala e grado di cooperazione tra i soggetti coinvolti.

## 1. Autoconsumo individuale

È il modello più semplice: un singolo soggetto (privato o impresa) installa un impianto fotovoltaico sul proprio edificio e utilizza l'energia prodotta per i propri consumi. L'eventuale surplus viene immesso in rete e valorizzato economicamente tramite lo scambio sul posto o il ritiro dedicato.

Questi modelli, pur diversi tra loro, promuovono la **produzione distribuita**, l'efficienza energetica e la riduzione delle emissioni. Inoltre, rappresentano soluzioni flessibili che possono essere adattate a diverse esigenze architettoniche, sociali ed economiche.

## 2. Autoconsumo collettivo

Introdotta dal Decreto Milleproroghe (2020), consente a più soggetti che risiedono nello stesso edificio o condominio di condividere l'energia prodotta da uno o più impianti rinnovabili installati sul tetto o in aree comuni. Ogni utente ha una propria utenza elettrica, ma beneficia della quota parte dell'energia condivisa secondo una ripartizione prestabilita.

## 3. Autoconsumo a distanza

Si riferisce a configurazioni in cui l'impianto è installato in un punto della rete e serve più utenze sparse sul territorio, collegate alla stessa cabina primaria. In questo caso la proprietà deve essere la stessa.

La scelta del modello più adatto dipende da **fattori tecnici** (tipo di edificio, disponibilità di **spazi**), **normativi** (tipologia di utenti), **economici** (accesso a incentivi) e **organizzativi** (livello di collaborazione tra i partecipanti).

# Funzionamento tecnico di una CER

Il funzionamento tecnico di una CER si basa su un sistema di **produzione distribuita** e **condivisione virtuale** dell'energia da fonti rinnovabili tra più soggetti connessi alla stessa rete locale.

Una CER si compone tipicamente di:

- **impianti di produzione** (es. fotovoltaico su tetti di edifici pubblici, privati o industriali);
- **utenti consumatori**;
- **prosumer**, cioè soggetti che producono e consumano energia;
- **un referente o coordinatore** che rappresenta la CER presso il GSE.

Gli impianti generano energia rinnovabile che viene immessa nella rete elettrica. L'energia prodotta e **non autoconsumata istantaneamente** viene **virtualmente condivisa** tra i membri della comunità, secondo regole definite dal GSE. Ogni mese, il GSE calcola la quantità di energia autoconsumata collettivamente calcolata ora per ora.

La quantità di energia che è stata prodotta e consumata **simultaneamente** tra i membri dà diritto a un incentivo economico per ogni kWh condiviso, oltre ai benefici diretti in bolletta per l'energia consumata localmente. I flussi energetici restano fisicamente sulla rete nazionale, ma la condivisione avviene a livello amministrativo.

Per il monitoraggio e la gestione dell'energia, le CER utilizzano sistemi digitali avanzati:

- **contatori intelligenti**;
- **piattaforme IoT o cloud** per l'analisi dei consumi;
- in alcuni casi, sistemi basati su **blockchain** per garantire trasparenza e tracciabilità.

Il corretto funzionamento tecnico di una CER richiede una **buona progettazione energetica**, conoscenze informatiche e collaborazione tra diverse figure: ingegneri, architetti, tecnici impiantisti e operatori del settore energetico.

# Benefici economici e investimenti per le CER

90

Le Comunità Energetiche Rinnovabili (CER) offrono **benefici economici concreti** per i partecipanti, sia in termini di **riduzione delle spese energetiche** che di accesso a **incentivi statali**.

Uno dei vantaggi principali è rappresentato dal **contributo economico per l'energia condivisa**, riconosciuto dal Gestore dei Servizi Energetici (GSE) sulla base della quantità di energia rinnovabile **autoconsumata virtualmente** tra i membri della CER. A questo si somma il risparmio diretto sulle bollette, grazie alla produzione e al consumo locale di energia.

Inoltre, il Decreto CER 2024 prevede **contributi a fondo perduto** fino al 40% dell'investimento per impianti realizzati in comuni sotto i 5.000 abitanti, finanziati dal PNRR, incentivando lo sviluppo nelle aree interne e rurali.

Dal punto di vista finanziario, una CER può strutturarsi secondo diversi **modelli di business**:

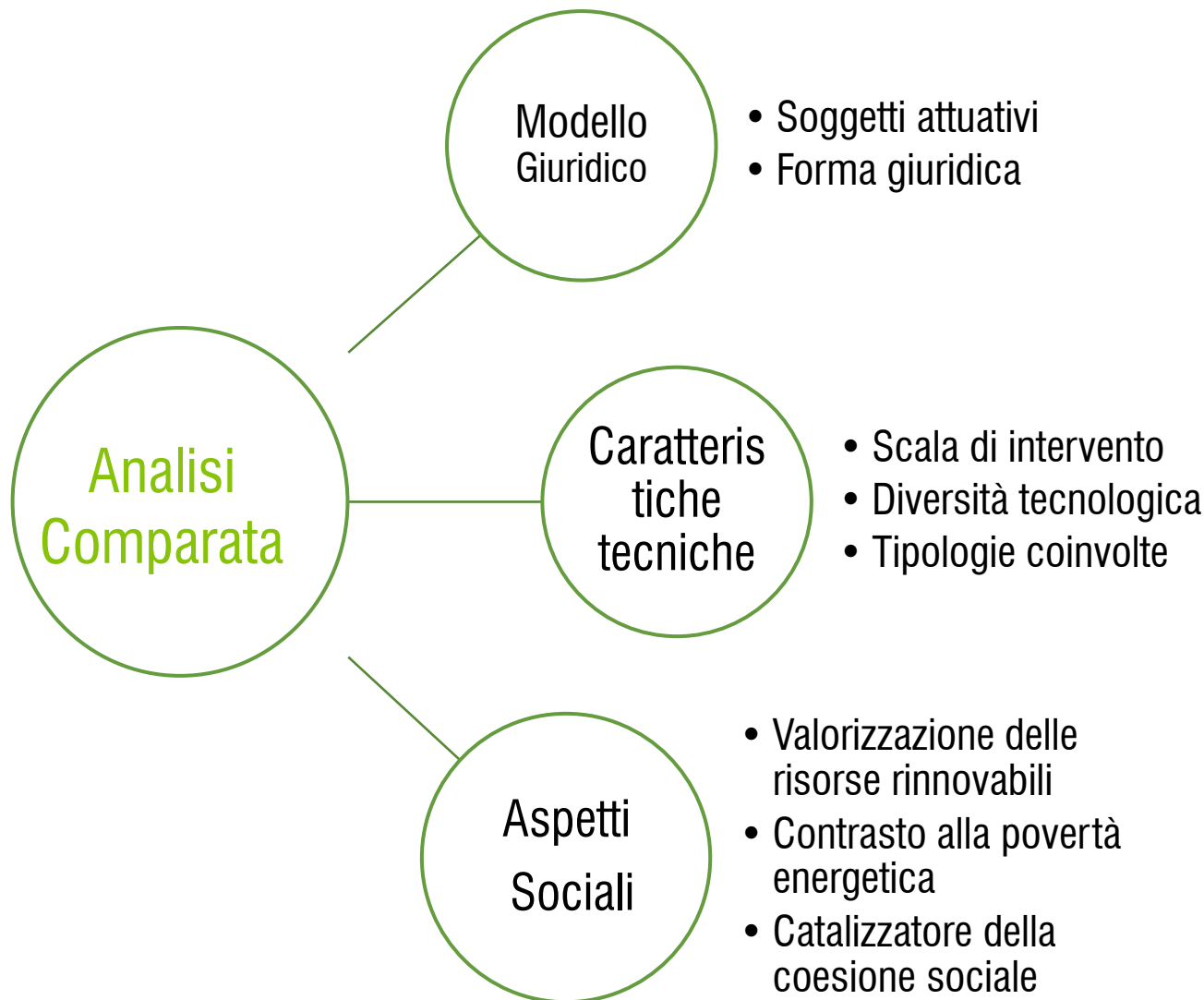
**Modello centralizzato**: un soggetto promotore (es. ente pubblico o cooperativa) realizza l'impianto e gestisce la CER, distribuendo i benefici tra i membri secondo criteri prestabiliti.

**Modello partecipativo**: tutti i membri contribuiscono in parte all'investimento iniziale e condividono proporzionalmente i benefici.

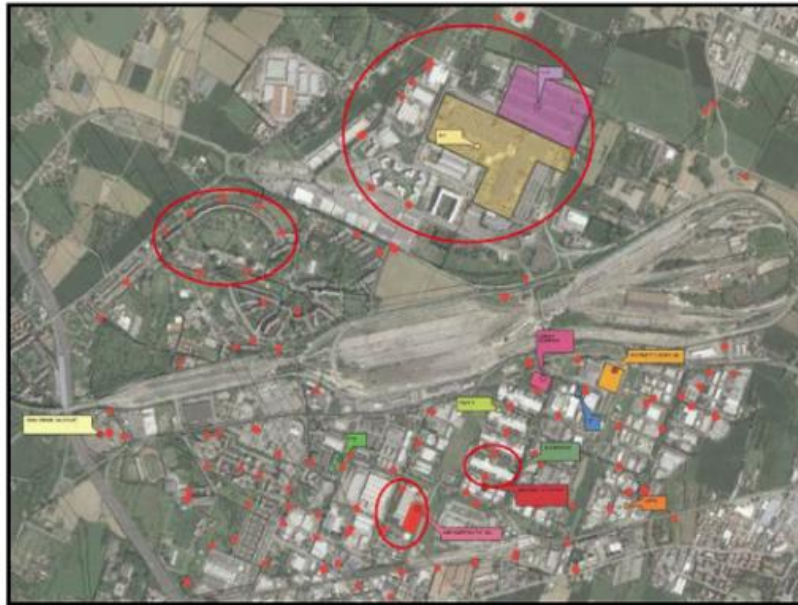
**Modello misto**: combinazione dei due, utile in contesti con risorse disomogenee (es. tra cittadini e PMI).

Per chi progetta, è fondamentale conoscere questi modelli: si tratta di costruire **infrastrutture energetiche**, ma anche **modelli economici inclusivi**.

# Framework comparato di casi studio



# Progetto GECO



AESS, ENEA, UniBo partenariato pubblico-privato

impianti preesistenti integra più fonti energetiche  
200KW installati contesti urbani densi

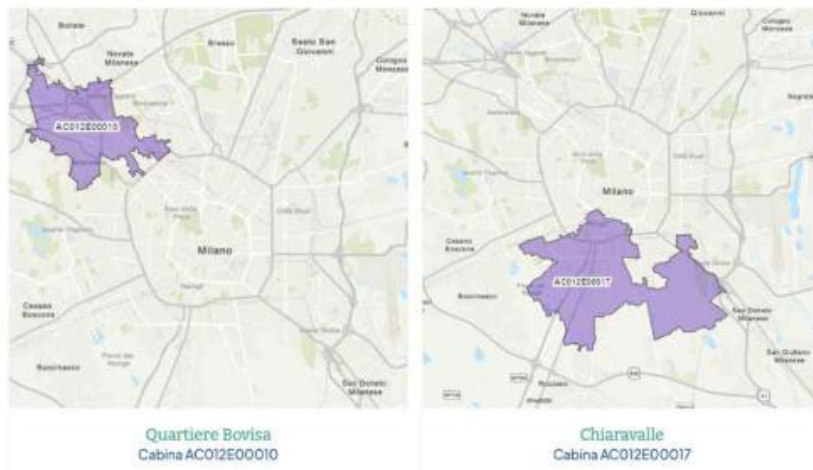
forte connotazione sociale con infrastrutture e servizi  
collettivi

Il progetto **GECO (Green Energy COmmunity)** è una delle prime Comunità Energetiche Rinnovabili urbane in Italia, nata nel 2020 nel quartiere Pilastro-Roveri di **Bologna**. È promosso da **AESS (Agenzia per l'Energia e lo Sviluppo Sostenibile)**, in collaborazione con ENEA, **Università di Bologna**, CAAB, e altri partner pubblici e privati.

I punti chiave del progetto:

- **Impianti fotovoltaici** installati su edifici pubblici, aziende e residenze.
- Condivisione dell'energia tra **prosumer e consumatori** allacciati alla stessa cabina primaria.
- **Monitoraggio digitale** dei flussi energetici e analisi dei dati tramite piattaforma dedicata
- .Attenzione al **coinvolgimento della cittadinanza**, con percorsi di formazione, incontri e laboratori per accrescere la consapevolezza energetica.

# Progetto CER.ca.MI solidale



Politecnico di Milano, Comune di Milano  
Associazione di CER

5625 kW impianti 778 famiglie coinvolgibili  
contesti urbani densi

obiettivo di produrre e consumare energia pulita  
avviare un processo di partecipazione

CER.ca.MI Solidale è la prima Comunità Energetica Rinnovabile (CER) solidale del **Comune di Milano**, ufficialmente avviata il 14 ottobre 2024. È promossa dal Comune di Milano in collaborazione con il **Politecnico di Milano** e tre realtà sociali del territorio: **Abitare Società Cooperativa, Cooperativa Diapason e Associazione Terzo Paesaggio**.

Il progetto mira a promuovere la produzione e la condivisione di energia rinnovabile attraverso impianti fotovoltaici installati su edifici pubblici e privati nei quartieri di Bovisa, Chiaravalle, Città Studi e Niguarda.

Un elemento distintivo di CER.ca.MI è la sua vocazione solidale: gli incentivi economici generati dalla condivisione dell'energia non vengono redistribuiti tra i membri, ma destinati a finanziare progetti sociali e ambientali a beneficio delle comunità locali, con particolare attenzione alla lotta contro la povertà energetica.

# San Giovanni Teuccio



Legambiente Campania ed enti del terzo settore  
Comunità Energetica e Solidale di Napoli Est

53 kW di fotovoltaico  
Edilizia popolare e un centro educativo  
Denso contesto urbano

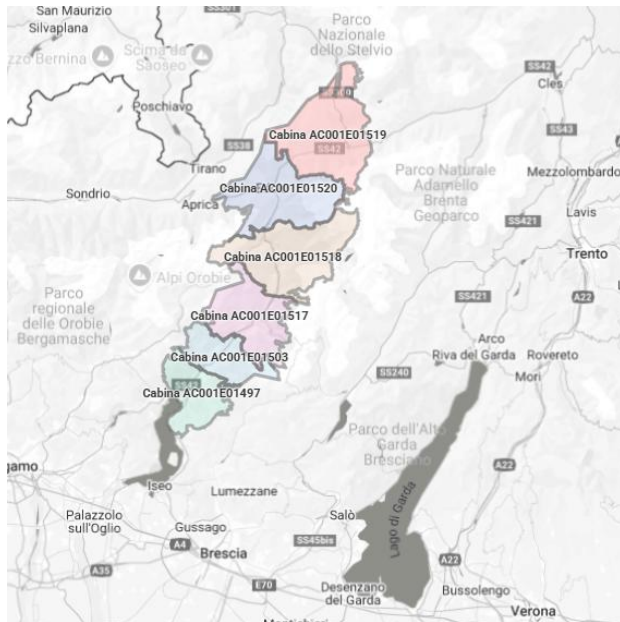
solidarietà sociale  
Contrasto alla povertà energetica

Nel quartiere di San Giovanni a Teuccio, nella periferia orientale di **Napoli**, è nata nel 2021 la prima Comunità Energetica Rinnovabile e Solidale (CERS) d'Italia. Il progetto è stato promosso da Legambiente Campania, in collaborazione con la Fondazione Famiglia di Maria e con il sostegno della Fondazione Con il Sud.

Caratteristiche principali del progetto:

- **Impianto fotovoltaico:** installato sul tetto della Fondazione Famiglia di Maria, con una potenza di 53 kW, composto da 166 pannelli solari
- Beneficiari: coinvolge circa **40 famiglie del quartiere**, molte delle quali in condizioni di disagio socio-economico, che condividono l'energia prodotta.
- **Finalità solidale:** gli incentivi economici derivanti dalla condivisione dell'energia vengono destinati a progetti sociali e ambientali per la comunità locale.

# CER della Valle Camonica



23 Comuni  
Associazione non riconosciuta

6 cabine primarie  
contesti semi-rurali con piccoli comuni

generare vantaggi ambientali, economici e sociali  
per i propri membri e per le comunità locali

La **Comunità Energetica Rinnovabile (CER) della Valle Camonica** rappresenta un esempio significativo di collaborazione intercomunale per promuovere la sostenibilità energetica. Costituita nel gennaio 2025, questa iniziativa coinvolge **23 comuni della Valle Camonica**, con la **Comunità Montana** come ente capofila.

Caratteristiche principali del progetto:

- Obiettivi principali: promuovere la produzione e condivisione di energia rinnovabile, principalmente attraverso l'autoconsumo, per generare benefici ambientali, economici e sociali.
- Educazione e coinvolgimento: organizzazione di incontri informativi e attività educative per sensibilizzare la popolazione sulla sostenibilità energetica.