

Le principali fonti di energia rinnovabile

Domitilla CICCHI

L'inesauribilità di risorse come il sole, il mare o il vento e la possibilità di un loro utilizzo per la produzione di energia termica ed elettrica, ha portato a definirle energie rinnovabili. Più nello specifico, si considerano fonti energetiche rinnovabili quella eolica, solare, geotermica, del moto ondoso, maremotrice, idraulica, delle biomasse, dei gas di discarica e di quelli residuati dai processi di depurazione. In particolare, per biomasse si intende la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani. La produzione di energia elettrica e termica attraverso l'ausilio di queste fonti permette di abbattere le emissioni inquinanti derivanti dall'impiego di combustibili fossili consentendo nello stesso momento di risparmiare economicamente sui consumi. L'entità di questi parametri dipenderà ovviamente dalle dimensioni dell'impianto e quindi dalla tipologia del soggetto realizzatore, dalla disponibilità di spazi e denaro e dagli obiettivi.

Non tutte le forme di energia sopra citate possono essere implementate a livello privato-domestico, nel senso che non è né possibile né conveniente un loro sfruttamento in impianti di piccola taglia. Un esempio è rappresentato dall'energia delle maree o dal potere calorifico dei gas di discarica o di quelli residuati dalle filiere dei trattamenti di depurazione dei reflui. Ad oggi le forme di energia maggiormente utilizzate anche a livello domestico sono: l'energia solare (solare termico e fotovoltaico), quella eolica (minieolico), l'energia potenziale dell'acqua (minidroeletrico) e l'energia delle biomasse.

L'ENERGIA DEL SOLE

L'energia solare è la fonte primaria di energia per antonomasia, della quale si sfruttano sia gli effetti diretti che indiretti. Il suo utilizzo può essere finalizzato alla produzione di energia termica, frigorifera elettrica o meccanica.

Sicuramente l'impiego più immediato ed "intuitivo" dell'energia solare è quello che consente la produzione di energia termica. In dipendenza delle temperature raggiunte dal fluido termovettore (cioè il fluido destinato ad "accumulare" il calore solare) le tecnologie per lo sfruttamento dell'energia solare si possono classificare in:

- *Tecnologie a bassa temperatura:* comprendono i sistemi che usano un collettore per captare e trasferire energia solare per produrre acqua calda o climatizzare gli edifici. Le temperature raggiunte dal fluido termovettore sono di circa 70°C;

- *Tecnologie a media temperatura:* richiedono dispositivi a debole concentrazione in modo da raggiungere temperature fino ai 250°C per l'utilizzo del calore principalmente in processi industriali o per la produzione di acqua dissalata;

- *Tecnologie ad alta temperatura:* richiedono sistemi più spinti atti a concentrare la radiazione solare per raggiungere temperature superiori anche ai 400°C essenzialmente per la produzione di energia elettrica per via termodinamica.

Da questa breve descrizione è facile intuire che le tecnologie più utilizzate a livello domestico, sono quelle a bassa temperatura. In questi sistemi la captazione della radiazione solare avviene per mezzo del così detto collettore solare che costituisce l'elemento fondamentale di tutto il sistema poiché in esso si realizza la captazione della radiazione ed il trasferimento di calore al fluido termovettore. Ci sono diversi tipi di collettori solari che si differenziano per struttura, prestazioni e prezzi.

Una semplice classificazione li distingue in:

Collettori scoperti:

Semplici ed economici sono formati da piccoli tubi neri (polipropilene, PVC, neoprene o metallo) attraverso i quali circola l'acqua. Questa tipologia di collettore non possiede isolamento supplementare, quindi le temperature che si possono raggiungere sono piuttosto limitate. Il loro impiego è ideale qualora siano richieste temperature non troppo elevate: riscaldamento piscine, acqua calda sanitaria, alberghi, campeggi e stabilimenti balneari.

Collettori piani (o collettori vetrati):

Ad oggi i più utilizzati, sono formati da un contenitore costruito con materiale isolante avente una copertura trasparente realizzata in vetro o materiale plastico. All'interno del contenitore è inserito un assorbitore metallico annerito, con lo scopo di sfruttare al meglio la selettività della copertura nel campo dell'infrarosso, aumentandone l'efficienza (Fig.1).

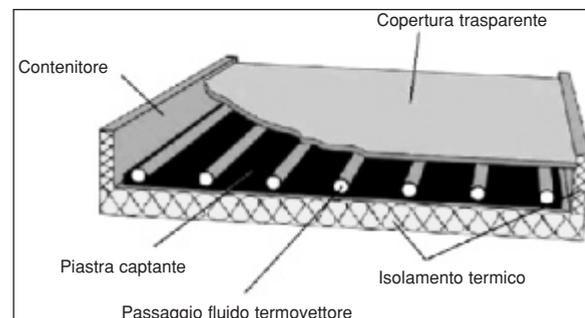


Fig. 1 - Sezione di un collettore solare termico vetrato

Questi collettori sfruttano il cosiddetto “effetto serra”: la copertura infatti risulta quasi completamente trasparente alla radiazione solare ed opaca alla radiazione infrarossa che la piastra assorbente emette riscaldandosi. Di conseguenza quest’ultima non riesce a riattraversare la copertura ma viene quasi completamente assorbita da questa che, riscaldandosi, cede parte del calore all’interno del collettore e parte all’esterno. In questo modo l’energia termica proveniente dal sole viene “catturata” e trasferita al fluido termovettore contenuto nelle tubazioni inserite all’interno del pannello stesso. Il collettore piano può raggiungere in estate anche temperature di 70 °C; è l’ideale per il riscaldamento dell’acqua nelle abitazioni e per il riscaldamento di ambienti. Rendimenti superiori anche del 10% si possono ottenere con l’applicazione di assorbitori selettivi. L’impiego di collettori di questo tipo è indicato per l’uso annuale, anche in condizioni climatiche meno favorevoli.

Collettori sottovuoto:

Sono composti da una serie di tubi in vetro sottovuoto all’interno dei quali è collocato l’assorbitore (una lastra di metallo con rivestimento superficiale selettivo scuro) che raccoglie energia solare e la trasferisce al fluido che trasporta il calore (Fig. 2). Le elevate prestazioni di questo tipo di isolamento comportano una netta riduzione delle perdite ed un forte aumento di rendimento; si possono raggiungere temperature di circa 100 °C anche in condizioni climatiche severe. Ovviamente tutto questo comporta un incremento di prezzo notevole.

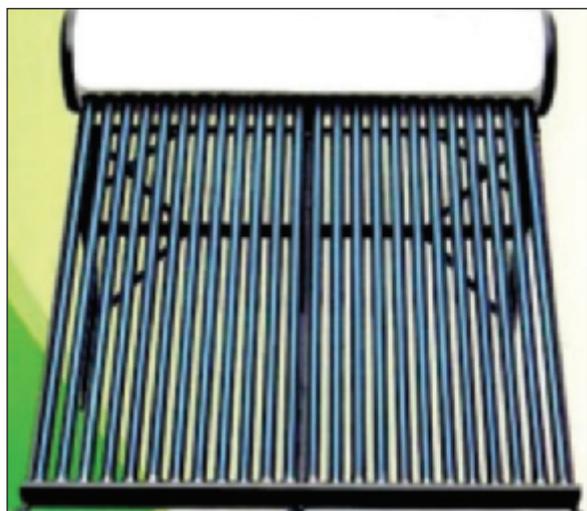


Fig. 2 - Collettore solare termico a tubi sottovuoto.

I componenti principali comuni a tutte le tipologie di impianto solare termico sono i seguenti: collettori solari, serbatoio di accumulo, circuito distributivo, centralina di controllo e dispositivi di integrazione termica. Il fluido termovettore che si scalda all’interno del collettore, cede il proprio calore all’acqua da riscaldare all’interno del serbatoio di accumulo che può essere separato dal collettore o integrato (Fig.3a) e 3b).

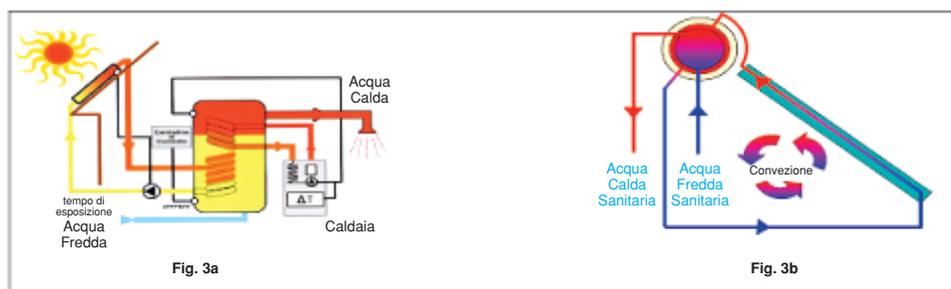


Fig. 3
Fig. 3a - Collettore solare termico con serbatoio di accumulo separato;
Fig. 3b - Collettore solare termico con serbatoio di accumulo integrato.

Ragioni sanitarie e condizioni di esercizio, rendono generalmente necessaria la presenza di due circuiti distinti all’interno del serbatoio di accumulo: uno per la circolazione del fluido nel circuito solare e l’altro per l’acqua dell’impianto di utilizzazione finale (Fig.3a).

Il serbatoio di accumulo svolge un ruolo di “volano termico” tra i collettori solari e la rete di utilizzazione consentendo di erogare acqua calda anche quando la radiazione solare è assente o limitata. A tale scopo, oltre ad un isolamento ottimale di tutta la superficie del serbatoio, quasi tutti i serbatoi sono dotati anche di uno scambiatore di calore integrativo. Fondamentalmente ci sono due possibilità di integrazione con energia tradizionale: tramite una resistenza elettrica oppure tramite uno scambiatore in cui circola fluido caldo proveniente da una sorgente ausiliaria (caldaia Fig. 3a) che scambia calore con l’acqua del serbatoio. Generalmente lo scambiatore di calore solare, in cui circola il fluido termovettore, è posto nella parte bassa del serbatoio di accumulo dove la naturale stratificazione dell’acqua fa sì che ci siano temperature minori, mentre il prelievo dell’acqua da destinare all’utenza ed il dispositivo di integrazione vengono collocati nella parte alta caratterizzata da temperature più elevate. L’azionamento dei sistemi integrativi è regolato da un termostato ad immersione che viene posizionato nella parte alta del serbatoio così da controllare la temperatura di prelievo dell’acqua lasciando operare a temperatura inferiore la parte bassa, ove è posto lo scambiatore solare. La dimensione del serbatoio dipende dalla superficie dei collettori solari a cui è asservito. In linea di massima ad ogni metro quadrato di pannello solare piano deve corrispondere un volume del serbatoio di accumulo di 60-70 litri.

La circolazione del fluido termovettore tra i collettori solari ed il serbatoio di accumulo può avvenire tramite il fenomeno della convezione naturale oppure per mezzo della spinta meccanica di una pompa di circolazione. Si parla nei due casi rispettivamente di impianti a circolazione naturale ed impianti a circolazione forzata. Negli impianti del primo tipo, il serbatoio deve essere installato ad una quota più elevata di quella dei collettori affinché possa verificarsi il processo convettivo naturale. La differenza di quota deve essere almeno pari a 0,6-0,8 m anche per evitare inversioni di flusso quando la temperatura dell’acqua nel serbatoio è più elevata di quella nei collettori, come può avvenire ad esempio nel periodo notturno.

In un sistema a circolazione forzata l'impiego di una pompa adeguatamente dimensionata, permette di mantenere in circolazione il fluido termovettore con la portata desiderata qualunque siano le condizioni climatiche esterne e la posizione dei collettori solari rispetto a quella del serbatoio di accumulo.

Un sistema di questo tipo non è autoregolante come quelli a circolazione naturale ma ha bisogno di un sistema di regolazione automatico in modo da realizzare il trasferimento dell'energia soltanto nei periodi in cui l'acqua del serbatoio ha una temperatura minore di quella del fluido termovettore all'uscita dei collettori. Generalmente con un sistema ben progettato si riesce a coprire l'80-90% del fabbisogno sanitario ed il 40-50% del fabbisogno per riscaldamento con un edificio ben coibentato con sistema di riscaldamento a pavimento. A questo proposito, è bene precisare che gli impianti solari termici di questo tipo, si adattano bene all'integrazione con sistemi di riscaldamento a pannelli radianti che lavorano a bassa temperatura.

Integrando l'impianto con una macchina ad assorbimento si può avere anche l'aria condizionata (*solar cooling*) con un unico sistema solare, riducendo quindi ulteriormente anche i costi energetici dell'elettricità nei periodi estivi.

L'energia solare può essere sfruttata anche per la produzione di energia elettrica grazie all'effetto fotovoltaico: l'interazione della radiazione luminosa con gli elettroni di valenza nei materiali semiconduttori, quali il silicio. Le strutture comunemente utilizzate per la conversione della radiazione luminosa in energia elettrica vengono chiamate celle fotovoltaiche.

Realizzare una cella è un processo complesso che prevede diversi passi, il più importante dei quali è sicuramente il drogaggio: trattamento con boro (per la realizzazione dello strato p) e fosforo (per la realizzazione dello strato n, esposto direttamente alla radiazione solare).

Quando la cella viene investita da un flusso luminoso, l'energia associata a tale flusso è in grado di liberare un certo numero di coppie elettrone lacuna negli atomi di silicio che intercettano i fotoni con energia sufficiente. Le coppie di cariche così generate risentono del potenziale elettrico interno alla giunzione e si muovono di conseguenza: gli elettroni generati nella giunzione p sono attirati verso la n mentre le lacune generate nella giunzione n sono attratte verso la p. La cella fotovoltaica si comporta quindi come un generatore con il polo positivo sulla giunzione p e quello negativo sulla giunzione n.

Per raccogliere il flusso elettrico vengono realizzati dei contatti metallici sui lati anteriore e posteriore della cella. Il contatto sul lato posteriore viene esteso a tutta la cella, mentre quello sul lato frontale, esposto alla luce, viene disposto a forma di griglia o con delle sottili ramificazioni, così da minimizzare le resistenze elettriche e garantire allo stesso tempo una sufficiente trasparenza dello strato anteriore alla luce.

Ad oggi le celle fotovoltaiche disponibili sul mercato possono essere realizzate con diverse modalità di lavorazione e materiali. Le più utilizzate e diffuse sono quelle in silicio monocristallino, policristallino e a film sottile.

Le celle in silicio monocristallino presentano il grado di maggiore purezza del materiale e garantiscono le migliori prestazioni in termini di efficienza a fronte però del prezzo più elevato. Quelle attualmente in commercio hanno un'efficienza variabile tra il 14 ed il 19%. La loro naturale vocazione è rappresentata da applicazioni in cui sia necessaria un'elevata efficienza a fronte di una superficie captante ridotta, come l'uso combinato con sistemi solari termici, sistemi isolati dalla rete elettrica in condizioni climatiche severe, alimentazione di impianti per la desalinizzazione o il pompaggio dell'acqua.

Le celle in silicio policristallino, hanno una struttura meno ordinata rispetto a quella del silicio monocristallino, con una conseguente diminuzione d'efficienza, che si attesta tra l'11 ed il 14%. Sono quelle maggiormente utilizzate per applicazioni private.

Alla tecnologia a film sottile appartengono le soluzioni più recenti in cui è prevista la deposizione su un substrato vitreo di una opportuna combinazione di diversi materiali. Le principali tecnologie di film sottile sono: CdTe (telloruro di cadmio), CIS (diseleniuro di rame e indio), silicio amorfo.

Le efficienze sono inferiori rispetto a quelle delle celle in silicio cristallino per cui per ottenere la medesima produzione energetica è necessaria una superficie di installazione superiore. Tuttavia, presentano importanti vantaggi che le rendono una soluzione più interessante in numerosi contesti. Per prima cosa, hanno una resa energetica superiore alle alte temperature, per cui si adattano meglio a climi caldi come quelli dei Paesi del Mediterraneo. Inoltre, riescono a produrre energia elettrica anche con la luce diffusa e tempo nuvoloso mentre i moduli in silicio cristallino quasi esclusivamente con luce diretta. Con la tecnologia a film sottile possono essere proposti moduli in formati flessibili, con la possibilità di seguire agevolmente la curvatura delle superfici su cui vengono installati.

Le celle rappresentano gli elementi per realizzare il così detto modulo fotovoltaico che non è altro che una struttura formata da più celle solari collegate tra di loro.

Nella terminologia tecnica si parla anche di pannello fotovoltaico, che è costituito da più moduli assemblati in un'unica struttura rigida, ed inoltre viene definita la stringa, composta da un numero variabile di moduli collegati in serie per ottenere una tensione particolare. Nei grandi impianti, più stringhe vengono collegate in parallelo per formare il generatore fotovoltaico (Fig.4).

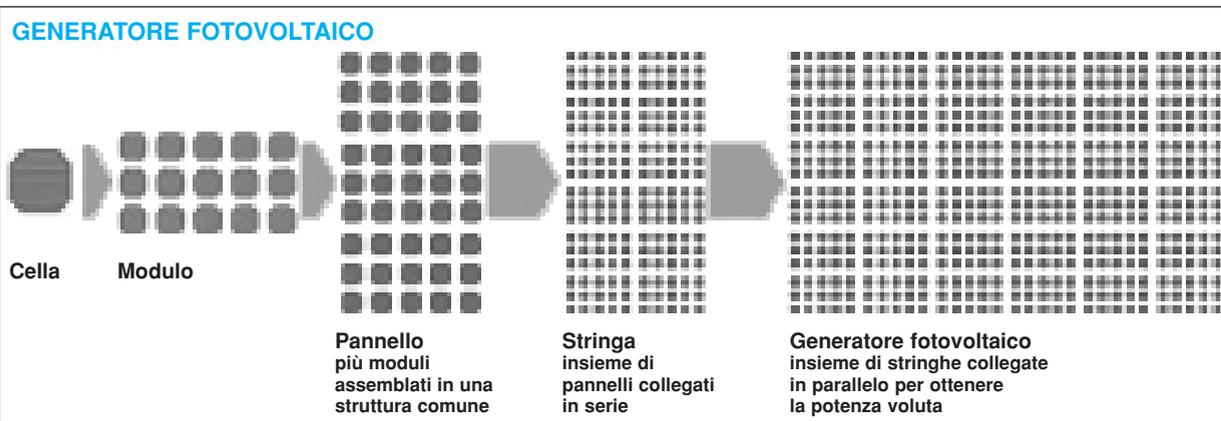


Fig. 4 - Dalla cella al generatore fotovoltaico.

L'impianto fotovoltaico può avere due configurazioni: impianto connesso alla rete elettrica (grid-connected; Fig. 5a) o ad isola (stand alone; non connesso alla rete; Fig. 5b).

Gli elementi principali di un impianto stand-alone sono:

- I moduli fotovoltaici: costituiti dalle celle fotovoltaiche connesse in serie, per la conversione dell'energia solare in energia elettrica;
- Il regolatore di carica: con funzione protettiva degli accumulatori e delle utenze finali da eventuali anomalie di esercizio, come carica eccessiva del generatore;
- L'inverter: per la conversione della corrente continua generata dai moduli in corrente alternata richiesta dall'utente;
- Le batterie: per l'accumulo della corrente ge-

nerata nei momenti di non contemporaneità tra produzione e consumo.

Gli impianti grid connected sono caratterizzati dagli stessi elementi principali tuttavia, essendo direttamente collegati alla rete elettrica nazionale non necessitano di regolatore di carica e batterie di accumulo per l'energia prodotta e non immediatamente consumata. Il surplus energetico viene immesso in rete mentre nei momenti in cui la produzione dell'impianto fotovoltaico è nulla, come ad esempio di notte, i fabbisogni di energia elettrica dell'utente vengono soddisfatti dalla rete stessa.

Per avere un'idea di quelli che sono i rendimenti di un impianto fotovoltaico, si devono considerare i rendimenti dei suoi costituenti principali: moduli, inverter e cablaggi.

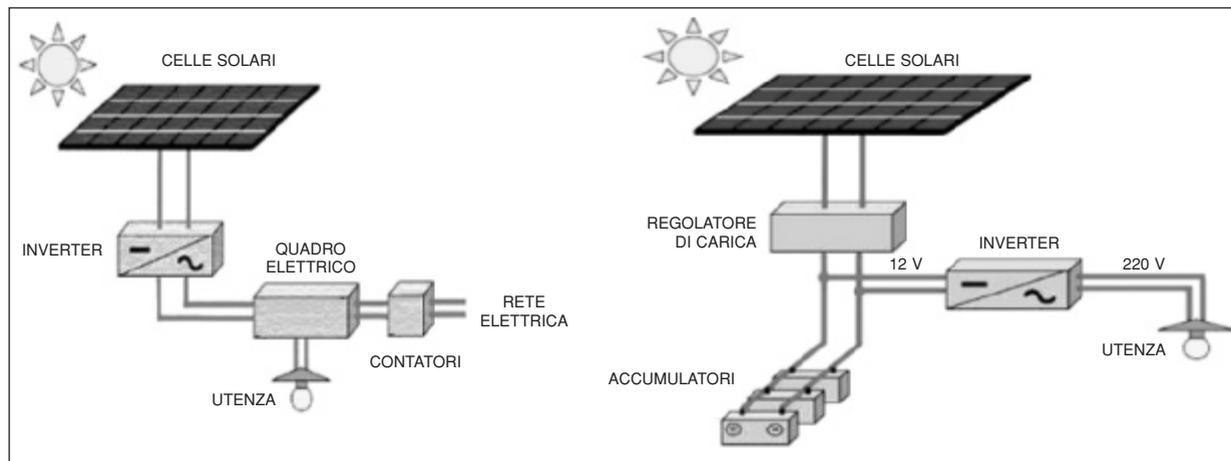


Fig. 5 - Schemi di impianto grid connected e stand alone.

Considerando per esempio un inverter con rendimento pari al 95%, moduli con rendimenti di circa il 14% e cavi in cui si hanno perdite pari a 1%, il rendimento del sistema, sarà:

$$0,14 \text{ (modulo)} \times 0,95 \text{ (inverter)} \times 0,99 \text{ (cavi)} = 13,17\%$$

Questo significa che per ogni metro quadro di moduli installati si potrà convertire in energia elettrica una potenza di 131,7 W/m², dato che il sole rende disponibile, in condizioni standard, 1000 W/m².

Per l'ottimizzazione della produzione di energia elettrica da un impianto fotovoltaico è necessario

che la radiazione incidente risulti il più perpendicolare possibile alla superficie del modulo. A tale scopo, vengono utilizzati gli inseguitori solari (Fig. 6): dispositivi meccanici che muovono il pannello in funzione delle ore del giorno e del periodo dell'anno. Si possono avere sistemi d'inseguimento i cui movimenti interessano uno o entrambi gli assi di rotazione, quello orizzontale e quello verticale. La logica di funzionamento è quella di individuare la posizione del sole, con l'ausilio di un sensore dedicato, e di posizionare il pannello ortogonale rispetto ai raggi.



Fig. 6 - Esempio di modulo fotovoltaico con sistema di inseguimento.

L'ENERGIA DELLA TERRA

Per energia geotermica si intende l'energia contenuta sotto forma di calore nell'interno della terra.

L'origine di questo calore è relazionata alla natura interna del nostro pianeta ed ai processi fisici che in esso hanno luogo.

L'utilizzazione principale dell'energia geotermica consiste nella generazione di energia elettrica dal vapore naturale, ma possono avere significato economico anche gli usi diretti del calore geotermico nel riscaldamento e raffreddamento di edifici, serre o in processi industriali. Le applicazioni del calore geotermico per impieghi di tipo non elettrico sono: usi agricoli, zootecnici e di acquicoltura; usi industriali; teleriscaldamento; riscaldamento di luoghi abitati ed altri usi civili; usi balneo termali. Molto diffuso a livello civile è l'impiego della geotermia per riscaldare o raffreddare gli edifici: attraverso semplici schemi impiantistici in inverno si estrae calore dal terreno per riscaldare gli edifici risparmiando fino al 60% rispetto al gas metano mentre in estate si cede calore al terreno ottenendo un buon grado di raffreddamento interno.

Si parla in questo caso di "geotermia a bassa entalpia" proprio per differenziarla da quella classica in cui l'applicazione tecnologica implica temperature del sottosuolo superiori ai 40°C. La porzione di sottosuolo generalmente interessata da questo tipo di tecnologia è quella che va da qualche metro fino e non oltre i 200 metri di profondità. La profondità mediamente raggiungibile varia da regione a regione e dipende ovviamente dal tipo di suolo e dalle restrizioni normative.

Sono soprattutto le pompe di calore ad essere impiegate nell'utilizzo del calore geotermico in quanto la loro capacità di scambiare calore tra fluidi a temperature diverse offre molteplicità di utilizzo. A partire da 10 m di profondità, la temperatura del terreno risulta pressoché costante tutto l'anno. Oltre tale profondità, il gradiente geotermico medio aumenta di circa 3 °C ogni 100 m. Mediamente a 100 ÷ 150 m di profondità si registrano temperature del terreno comprese tra 13 e

17°C; queste condizioni, costanti tutto l'anno e indipendenti dalle condizioni climatiche esterne, risultano ottimali per l'associazione pompa di calore – sonda geotermica.

Lo scambio termico fra sorgente e pompa di calore viene effettuato con molteplici mezzi tra i quali i più diffusi sono: sonde geotermiche verticali o orizzontali, geostrutture.

Le sonde geotermiche sono costituite da tubi in polietilene (ad oggi la quasi totalità delle installazioni utilizza scambiatori in polietilene ad alta densità PEAD o HDPE, PE 100 PN 10/16), all'interno delle quali circola acqua con antigelo. Le sonde più diffuse sono quelle verticali che possono essere sostituite da quelle orizzontali in caso di disponibilità di superfici piuttosto ampie. È necessaria una estensione di terreno 2 - 3 volte superiore alla superficie dei locali da riscaldare (se l'obiettivo è solo quello di provvedere al riscaldamento) o 3 - 3,5 volte superiore alla superficie dei locali da riscaldare (se si vuole sia riscaldare che raffreddare).

Lo schema classico di funzionamento di un impianto con sonde geotermiche verticali e pompa di calore è illustrato in Fig.7.

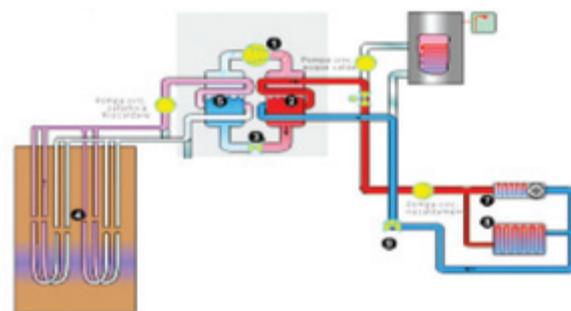


Fig. 7a

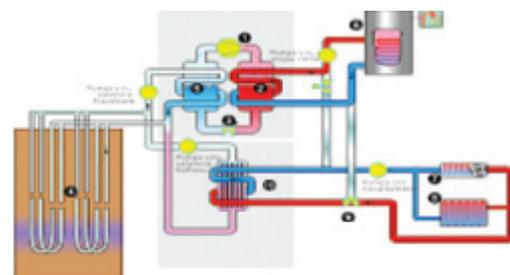


Fig. 7b

Fig. 7 - Schema di funzionamento di sonde geotermiche abbinata a pompa di calore. 7a) Schema di riscaldamento; 7b) Schema di raffreddamento.

Durante la stagione invernale, il fluido circolante nelle sonde si riscalda assorbendo calore dal terreno per poi cederlo al fluido termovettore della pompa di calore nell'evaporatore. Dall'altra parte, il calore rilasciato dal condensatore della pompa di calore viene utilizzato per il riscaldamento e/o la produzione di acqua calda sanitaria. Durante la stagione estiva invece, il fluido termovettore arriva nelle sonde geotermiche ad una temperatura superiore quindi invece di ricevere, cede calore al terreno stesso.

Posto a contatto con l'evaporatore della pompa di calore, viene raffreddato ulteriormente contribuendo al raffreddamento del fluido che circola nel sistema a pannelli radianti. Dall'altra parte, il calore rilasciato dalla pompa di calore, contribuisce alla produzione di acqua calda sanitaria.

Le tipologie di scambiatori esistenti per le sonde verticali sono due:

- Scambiatori ad U
 - singola U
 - doppia U
- Scambiatori coassiali
 - tubi coassiali semplici
 - tubi coassiali complessi

La soluzione ad U è quella adottata nella maggior parte dei casi dato che presenta un rapporto favorevole tra costi di realizzazione e caratteristiche tecniche. Dopo aver realizzato a regola d'arte le perforazioni all'interno delle quali alloggianno le sonde geotermiche, generalmente del diametro di 10-15 cm, queste vengono poste in opera e collegate al collettore esterno che bilancia il flusso di calore proveniente dal terreno e lo convoglia alla pompa di calore all'interno del fabbricato. Nel caso di trivellazioni multiple, tra le varie sonde deve esserci una distanza di almeno 8 - 10 mt (reticolo) per evitare interferenze termiche.

Per estrarre calore dal sottosuolo mediante la sonda geotermica verticale, è sufficiente immettere il fluido termovettore nella sonda ad una temperatura di 4-6°C inferiore a quella del sottosuolo.

In funzione del tipo di suolo e delle ore di funzionamento, le prestazioni del sistema si possono mediamente attestare dai 50 a 60 W/m.

Oggi sono disponibili una varietà enorme di metodi di perforazione, per fori da pochi metri fino a profondità di 12 km. Nella energia geotermica il 50% del costo è legato alla ricerca ed alla perforazione dei pozzi di produzione e di reiniezione.

Gli scambiatori orizzontali sono tipicamente realizzati in polibutilene o rame, e installati orizzontalmente nel terreno ad una profondità di 1,2-1,5 m con un interasse di almeno 40 cm. Questo tipo di sistema utilizza il flusso termico proveniente dalla superficie, determinato in modo diretto o indiretto dall'energia solare (radiazione solare, pioggia, ecc.). In questo caso, in funzione del tipo di suolo e delle ore di funzionamento, le prestazioni sono comprese fra i 10 e i 40 W/m². Se si dispone di una sufficiente area questa soluzione è generalmente più conveniente in termini di rapporto costi-benefici rispetto a quella a sonda verticale. Non è però particolarmente indicata per il raffreddamento estivo, in quanto nei mesi caldi il terreno raggiunge ben presto alte temperature che non agevolano lo scambio in raffreddamento.

La scelta di una pompa di calore non adatta e non ad elevata efficienza, l'errato dimensionamento o l'imperizia nella posa delle sonde geotermiche possono compromettere in maniera definitiva la convenienza del sistema.

Altro sistema utilizzato è quello dei così detti "pali energetici" in cui i collettori geotermici sono incorporati nei pali di fondazione.

L'ENERGIA DELLA BIOMASSA

La produzione di energia elettrica e termica "pulita" può avvenire anche attraverso l'utilizzo della così detta biomassa. In particolare, la biomassa utilizzabile ai fini energetici consiste in tutti quei materiali organici che possono essere utilizzati direttamente come combustibili ovvero trasformati in combustibili solidi, liquidi o gassosi. Si parla quindi di bio-energia e di bio-combustibili.

La biomassa utilizzata per fini energetici, può derivare da colture dedicate o residuali ed essenzialmente si possono distinguere tre filiere di produzione: quella del legno, quella dell'agricoltura e quella dei rifiuti.

Esempi di biomasse appartenenti a questi tre gruppi sono il pioppo, il salice, l'eucalipto, la legna da ardere, la segatura derivante da processi di lavorazione nelle segherie, la colza, la barbabietola da zucchero, la patata, gli scarti dei prodotti agro-alimentari, i prodotti organici derivanti dall'attività biologica dell'uomo e degli animali, i rifiuti organici di origine vegetale. Come si può intuire dalla tipologia di materie prime, i prodotti delle filiere del legno sono principalmente pellet e cippato; dall'agricoltura si ottengono invece oli vegetali, biodiesel e cippato, mentre dalla filiera dei rifiuti, biogas e prodotti per la termovalorizzazione.

I processi per l'impiego di questi prodotti sono attualmente riconducibili a due categorie: processi termochimici e processi biochimici.

I processi termochimici, basati sull'azione del calore, sono rappresentati da pirolisi, carbonizzazione, gassificazione e combustione e sono adatti soprattutto per biomasse legnose, sottoprodotti colturali di tipo ligno-cellulosico e scarti di lavorazioni agricole ed alimentari (lolla, pula, gusci, noccioli, etc.). Da questi processi si ottengono calore, oli e gas combustibili. I processi di combustione diretta sono finalizzati alla produzione di calore e si attuano con buoni rendimenti dipendenti dalle tipologie di caldaie utilizzate. Dai processi di pirolisi e gassificazione si ottengono invece altre forme di combustibili ed in particolare: dei sottoprodotti gassosi, liquidi e solidi della pirolisi vengono utilizzati gli oli soprattutto negli impianti di grandi dimensioni mentre il combustibile gassoso che si ottiene dai processi di gassificazione, può essere impiegato in diversi modi, in dipendenza delle sue caratteristiche dovute al processo di gassificazione utilizzato. La gassificazione può essere fatta in aria, in ossigeno o con idrogeno. Dalla gassificazione ad aria si ottengono vapore e gas a basso potere calorifico inferiore che possono essere impiegati in motori diesel; dai gassificatori ad ossigeno e dagli idrogassificatori si ottengono invece gas combustibili a medio potere calorifico inferiore che ad esempio possono essere trasformati in metanolo.

I principali processi biochimici sono invece rappresentati da digestione anaerobica ed aerobica

della biomassa e fermentazione alcolica per la produzione di etanolo. La digestione anaerobica non è altro che una fermentazione della materia organica ad opera di micro-organismi in assenza di ossigeno, dalla quale si ricava biogas ricco in metano. Il biogas prodotto viene raccolto, essiccato, compresso ed immagazzinato per essere utilizzato come combustibile in caldaie a gas per la produzione di calore o in motori a combustione interna per la produzione di energia elettrica.

Il processo di digestione aerobica evolve, in un ambiente condizionato dalla presenza di ossigeno, attraverso fasi diverse che sono determinate dalla variazione della temperatura all'interno del sistema, permettendo l'attività successiva di diverse popolazioni di batteri che attuano la degradazione dei substrati organici. L'attività metabolica, produce un elevato riscaldamento del substrato ed il calore prodotto può essere così trasferito all'esterno, mediante scambiatori a fluido.

Infine, attraverso la fermentazione alcolica della biomassa si ha la trasformazione dei glucidi contenuti nelle produzioni vegetali in etanolo che risulta un prodotto utilizzabile anche nei motori a combustione interna.

Mentre la biomassa utilizzata nei processi termochimici precedentemente descritti, deve essere caratterizzata da un contenuto di umidità non superiore al 30%, per i trattamenti biochimici non sussiste questa restrizione e possono quindi essere impiegate tipologie di biomassa quali ad esempio reflui zootecnici e biomassa eterogenea immagazzinata nelle discariche controllate.

L'ENERGIA DEL VENTO

La generazione di energia elettrica con il vento avviene attraverso i generatori eolici.

Un generatore eolico è costituito dai seguenti elementi fondamentali:

– *Rotore*: il rotore è costituito da un mozzo sul quale sono realizzate le pale che generalmente sono in fibra di vetro. I rotori possono essere realizzati con una, due o tre pale. Nel caso di rotore a singola pala, è presente dalla parte opposta alla pala un contrappeso in modo da equilibrare il rotore e garantire la rotazione. Se il rotore è costituito da due pale, i vantaggi sono quelli di maggiore velocità di rotazione, a scapito però di essere più rumorosi rispetto a quelli a una pala. Da un punto di vista di efficienza energetica la differenza tra i due è quasi nulla. I rotori a singola pala presentano delle velocità di rotazioni maggiori di quello a due pale, ma la resa energetica risulta essere inferiore.

Alcuni sviluppi hanno visto l'introduzione di rotori multipala (24), oppure con pale mobili.

– *Moltiplicatore*: attraverso un sistema di ingranaggi la velocità del rotore viene aumentata attraverso il moltiplicatore di giri in modo da raggiungere la giusta velocità per la generazione dell'energia.

– *Il generatore*: permette la trasformazione dell'energia meccanica, data dalla rotazione della pala, in energia elettrica.

– *Sistema di controllo*: permette la gestione dell'aerogeneratore durante tutte le fasi di funzionamento.

– *La navicella e il sistema di imbardata*: la navicella permette la protezione dei componenti atti alla generazione dell'energia, escluso il rotore. Per il corretto funzionamento del generatore è necessario che venga mantenuto un allineamento fedele tra l'asse del rotore e la direzione del vento. Questo allineamento viene garantito attraverso il sistema di imbardata, rappresentato, per i sistemi di piccola potenza da una pinna posta sulla navicella.

– *Sistema Frenante*: permette di fermare il rotore attraverso il sistema di frenaggio aerodinamico e attraverso il sistema di frenaggio meccanico. Con il primo sistema frenante viene controllata la potenza del generatore, ad esempio durante situazioni di sovravelocità. Con il secondo sistema frenante si ottiene il completo arresto del rotore.

– *La torre e il basamento*: rappresenta la parte meccanica necessaria al sostentamento del rotore. Deve essere in grado di sostenere le vibrazioni ed i movimenti causati dalla rotazione del rotore.

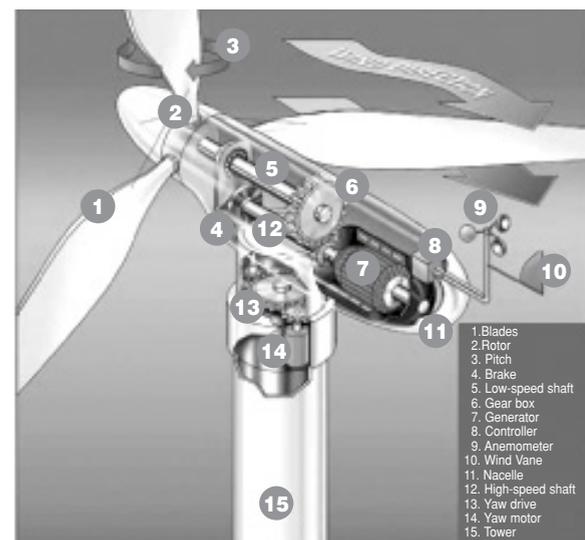


Fig. 8 - Schematizzazione dei principali elementi di un generatore eolico.

Il generatore, direttamente collegato al rotore, può essere del tipo sincrono o asincrono. La tipologia più frequente è il generatore sincrono a magneti permanenti. La corrente in uscita dall'alternatore, monofase o trifase, viene trasformata in continua attraverso un gruppo di conversione (raddrizzatore) ed eventualmente, in funzione degli usi finali, ritrasformata in alternata tramite inverter.

La producibilità di un impianto eolico dipende in primis dal tipo di pala eolica installata e chiaramente dalla ventosità del sito.

Per captare bene il vento è necessario montare il generatore sulla torre, di altezza non inferiore a 10 m (meglio 15-30 m). Più in alto si va, più forte sarà il vento, meno marcate le turbolenze. Non conviene montare il generatore su un edificio, dato che può trasmettere vibrazioni con venti forti e l'edificio crea turbolenze che sollecitano a dismisura il generatore.

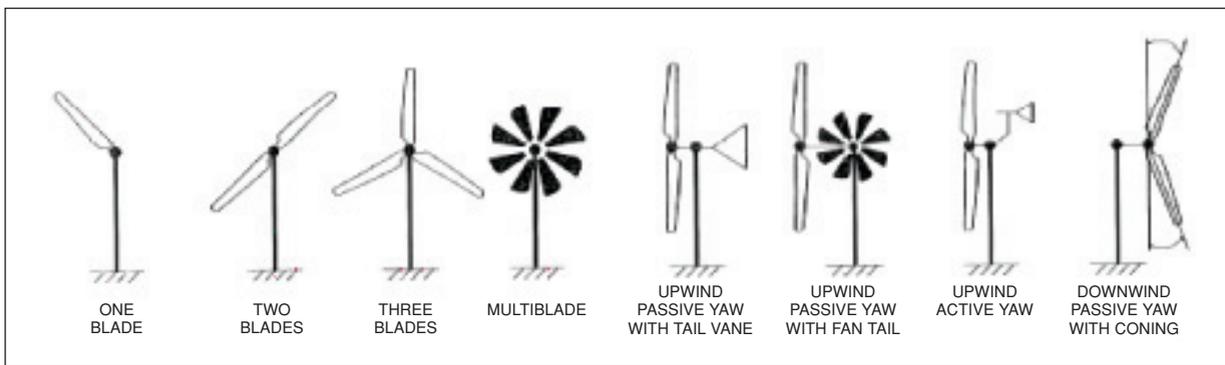


Fig. 9 - Esempi di turbine eoliche ad asse orizzontale e verticale.

Le turbine eoliche possono essere suddivise in due grandi categorie: turbine ad asse verticale (VAWT) e ad asse orizzontale (HAWT). La differenza tra le due consiste nella disposizione dell'asse della turbina rispetto alla torre; esempi di turbine ad asse verticale e orizzontale sono riportati in Fig.9.

Le turbine ad asse verticale possono essere divise in due grandi macrocategorie, a seconda del tipo di tecnologia utilizzata nella costruzione del rotore: macchina di tipo Darrieus (a catenaria o ad H) o Savonius (Fig.9).

I generatori eolici si differenziano inoltre per altezza e potenza e, parlando di turbine ad asse orizzontale, in generale, aumentando il diametro, aumenta l'altezza della torre e la potenza (Fig.10).

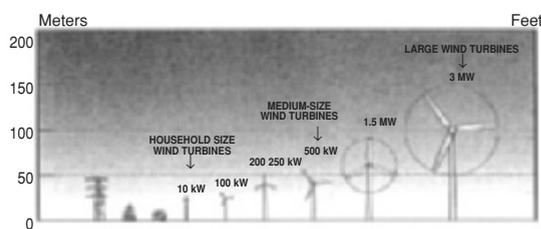


Fig. 10 - Diametro di turbine eoliche ad asse orizzontale in funzione della potenza e dell'altezza della torre.

La classificazione delle turbine eoliche può essere fatta anche in termini di potenza di picco. In tal senso si distinguono:

	Potenza nominale (kW)	Area Spazzata (m ²)
Microturbine	<1	<2
Miniturbine	<100	<200
Media taglia	<1000	>200
Grande taglia	>1000	>200

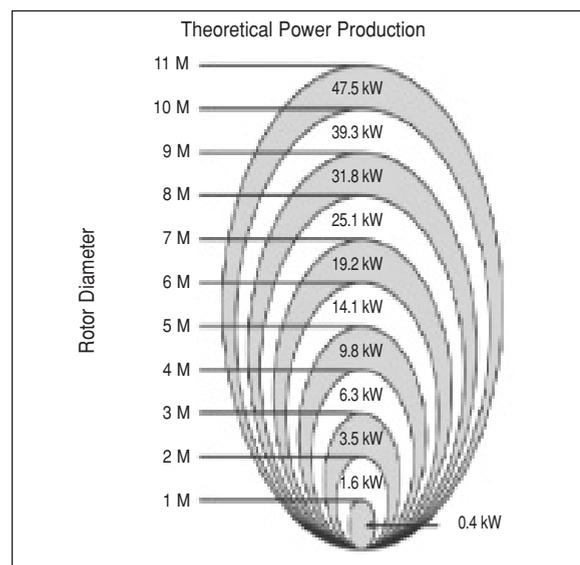


Fig. 11 - Andamento della potenza di turbine eoliche ad asse orizzontale in funzione del diametro del rotore per velocità del vento di 10 m/s.

Le microturbine sono adatte a fornire energia a strutture come camper, cucine da campo, ospedali da campo, barche a vela, yacht, mentre per alimentare le utenze domestiche sono necessarie potenze maggiori. Si parla in quest'ultimo caso di minieolico e la configurazione di turbina più utilizzata è quella di tipo HAWT; sono caratterizzate da rotore sopravento rispetto alla torre e dalla presenza di una deriva che permette l'istantaneo posizionamento in funzione della direzione del vento. Il minieolico elettrico nasce per utenze isolate, accoppiato a batterie e a generatori diesel (Fig.12). Solo negli ultimi anni si sta diffondendo anche in utenze connesse in rete (Fig.13), ai fini dell'autoconsumo anche grazie alla nascita di sistemi statali incentivanti questo tipo di produzione.

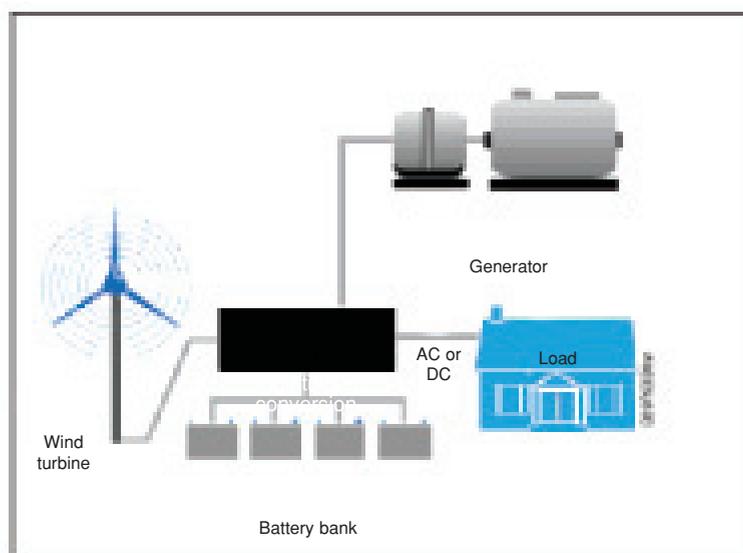


Fig. 12 - Schema di impianto eolico stand alone.

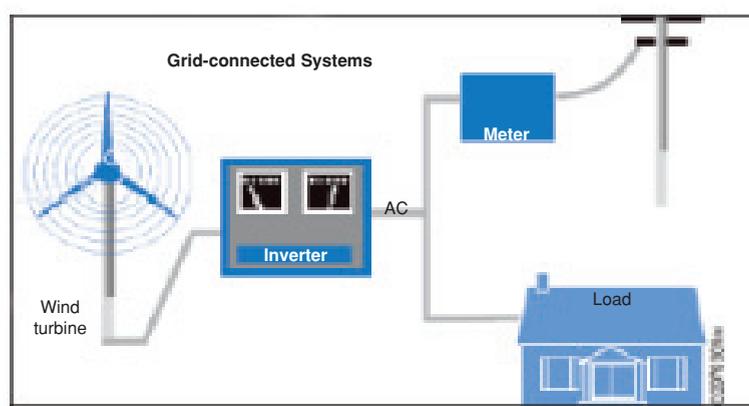


Fig. 13 - Schema di impianto eolico connesso in rete.

Nel caso di installazioni off-grid, la presenza dell'inverter è opzionale, rendendosi necessaria qualora l'impianto fosse collegato direttamente all'alimentazione principale dell'utenza domestica. Nel caso di allacciamento dell'impianto alla rete elettrica invece l'installazione dell'inverter

per la conversione della corrente da continua in alternata è sempre necessaria.

L'ENERGIA DELL'ACQUA

Fin dai primordi della produzione d'energia elettrica, l'idroelettrico è stato, ed è tuttora, la più importante fonte rinnovabile utilizzata.

Mentre i grandi impianti idroelettrici convenzionali richiedono estese superfici, con notevoli costi ambientali e sociali, un piccolo impianto idroelettrico (con una potenza installata inferiore a 10 MW), se opportunamente progettato, si integra facilmente nell'ecosistema locale.

Lo scopo di un impianto idroelettrico è quello di convertire l'energia potenziale di una massa d'acqua che defluisce con una certa differenza di quota (denominata salto o caduta), in energia elettrica nel punto più basso dell'impianto, dove è collocata la centrale. La potenza dell'impianto è proporzionale alla portata d'acqua ed al salto, che rappresentano i requisiti fondamentali per la produzione di energia idroelettrica.

Elementi fondamentali di un impianto idroelettrico sono, in ordine da monte verso valle:

1) L'opera di presa dell'acqua: che devia verso le opere di adduzione alla centrale il corso d'acqua o parte di esso;

2) Opere di convogliamento: tramite canali a pelo libero, tubazioni o gallerie, l'acqua viene trasportata fino al punto idoneo per realizzare il salto idraulico da sfruttare;

3.1) Opere alla vasca di carico (se il convogliamento è fatto con canali a pelo libero): dissabbiatori, scarichi di fondo, griglie;

3.2) Opere all'imbocco della condotta (se il convogliamento è fatto con tubazioni in pressione): pozzo piezometrico e valvole;

4) Camera di carico o condotta in pressione: rispettivamente nel caso in cui il salto sia piccolo o elevato;

5) Turbina idraulica: per la trasformazione dell'energia idraulica in energia meccanica;

6) Macchina elettrogeneratrice: per la trasformazione dell'energia meccanica in energia elettrica;

7) Apparecchiature elettriche;

8) Canale di scarico dell'acqua che ha ceduto la propria energia.

Gli impianti idroelettrici possono essere classificati in base al salto disponibile ed alla tipologia di alimentazione dell'acqua. Secondo questi criteri, si suddividono in:

- Impianti ad alta caduta: al di sopra di 100 m.
- Impianti a media caduta: 30-100 m.
- Impianti a bassa caduta: 2-30 m.

Oppure:

- Impianti ad acqua fluente.
- Impianti con la centrale al piede di una diga.
- Impianti inseriti in un canale od in una condotta per approvvigionamento idrico.

La maggior parte dei piccoli impianti idroelettrici sono "ad acqua fluente": la produzione di energia elettrica è legata alla disponibilità naturale di acqua del corpo adduttore (il fiume). Quando il corso d'acqua è in magra e la portata scende al di sotto di un certo valore predeterminato (pari alla portata minima della turbina installata sull'impianto), la produzione di energia cessa.

Questo significa, ovviamente, che piccoli impianti indipendenti non sono in grado di fornire energia con continuità, almeno che essi non siano dimensionati in modo tale da avere sempre acqua sufficiente per funzionare.

Questo problema può essere risolto in due modi. Il primo è l'utilizzo di laghi esistenti o bacini artificiali di accumulo posti a monte dell'impianto. Il secondo è la connessione dell'impianto ad una rete di distribuzione elettrica che faccia fronte ai fabbisogni dell'utenza collegata quando la portata d'acqua non è sufficiente ad attivare la produzione.

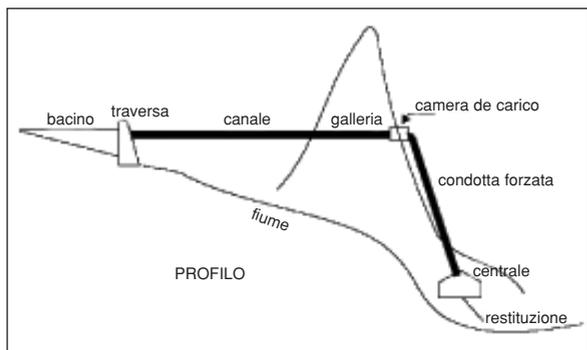


Fig. 14 - Impianto idroelettrico ad alta caduta.

Il costo di realizzazione di serbatoi artificiali è piuttosto elevato e potrebbe inficiare la convenienza dell'investimento di realizzazione di un impianto idroelettrico. Se invece è già presente in sito un serbatoio costruito per altri scopi (controllo delle piene, irrigazione, etc.), la produzione di energia elettrica utilizzando le portate compatibili con l'uso prevalente del serbatoio o con i rilasci a fini ecologici può essere possibile. Si rientra allora nella casistica di "Impianti con la centrale al piede di una diga". Questi si differenziano in base alla soluzione adottata per far confluire l'acqua che si trova a monte della diga fino alla turbina. Le soluzioni impiantistiche utilizzate dipendono dalla conformazione dell'opera di sbarramento. Se ad esempio la diga possiede già uno scarico di fondo la soluzione può essere quella illustrata in Fig. 15a. Altrimenti, se la diga non è troppo alta, si può installare una turbina in sifone (Fig. 15b) che può essere collocata sia sul coronamento della diga sia sulla sua parte di valle.

La configurazione di impianti idroelettrici per lo sfruttamento dell'energia potenziale dell'acqua nel caso di canali irrigui, avviene in maniera distinta in dipendenza della contemporaneità tra realizzazione del canale e dell'impianto. Nel caso di realizzazione contemporanea delle due opere, il canale può essere realizzato fin da subito con una larghezza tale da poter ospitare la camera di carico, la centrale, il canale di restituzione e il bypass laterale (Fig. 16)

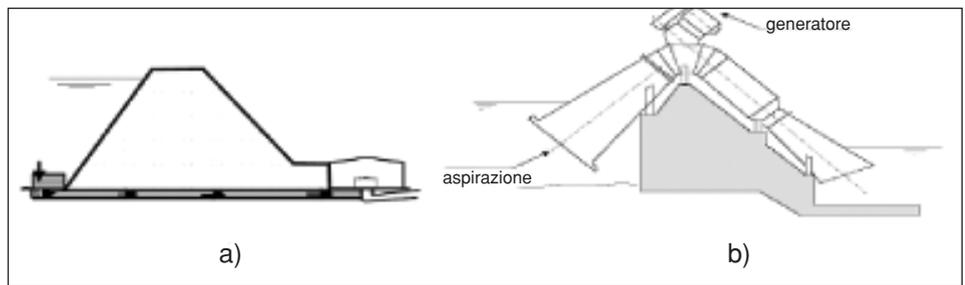


Fig. 15 - a) Adduzione dell'acqua dal serbatoio alla centrale per diga con scarico di fondo; b) Esempio di installazione di turbina in sifone.

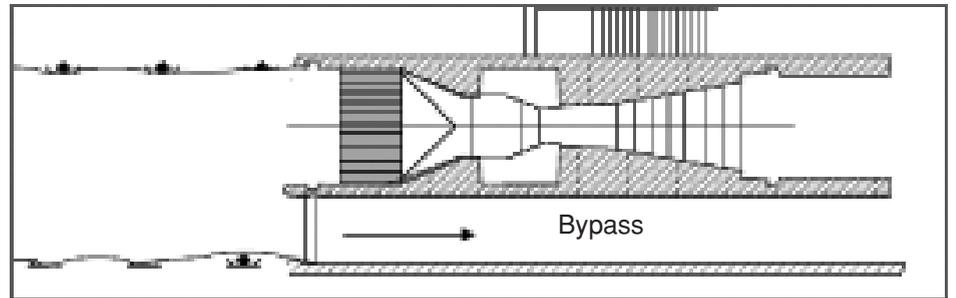


Fig. 16 - Impianto idroelettrico in canale irriguo di contemporanea realizzazione.

Se il canale invece è già esistente questo dovrebbe essere leggermente allargato per poter ospitare la presa e lo scaricatore di superficie. Dalla presa una condotta forzata che corre lungo il canale convoglia l'acqua in pressione alla turbina, attraversata la quale, tramite un breve canale di restituzione, l'acqua è scaricata nel corso d'acqua (Fig. 17).

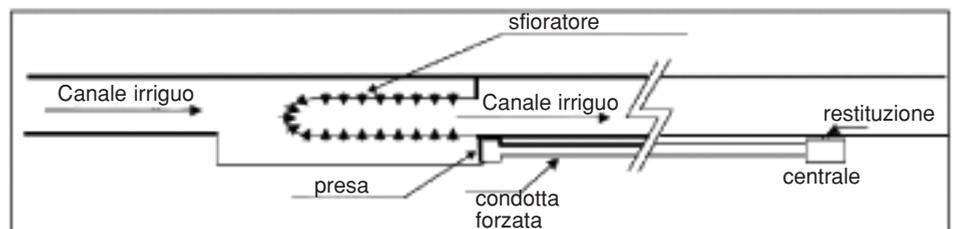


Fig. 17 - Impianto idroelettrico in canale irriguo di precedente realizzazione.

Infine, nel caso di impianti di potabilizzazione un intervento interessante potrebbe essere quello di inserire una turbina alla fine della tubazione di adduzione dell'acqua dall'accumulo all'impianto di trattamento, convertendo così in elettricità l'energia che altrimenti verrebbe dissipata.

In generale, la fattibilità di un impianto idroelettrico, dipende da un elevato numero di fattori quali ad esempio la topografia e geomorfologia del sito, la disponibilità della risorsa idrica e del suo potenziale energetico. Il potenziale energetico dell'impianto è proporzionale al prodotto delle portate e del salto. Mentre il salto lordo può generalmente considerarsi costante, la portata varia nel corso dell'anno ed è quindi necessario far riferimento alla curva delle durate (disponibile qualora il corso d'acqua sia stato oggetto di monitoraggio) per scegliere le apparecchiature idrauliche più appropriate, valutarne il potenziale e calcolare la produzione annua d'energia.

Domitilla CICCHI, laureata nel Dicembre 2008 attualmente collabora con il Prof. A. Reatti (C.R.E.A.R. Centro Interdipartimentale di Ricerca per le Energie Alternative e Rinnovabili - Università degli Studi di Firenze) su sistemi di produzione di energia elettrica da fonte solare.

Ha pubblicato: "Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili: novità sui dispositivi di legge incentivanti"; Prof. Ing. A. Reatti, Dott. Ing. Domitilla Cicchi. Numero di Giugno 2009 di "Ambiente e Sicurezza sul Lavoro".