

Riccardo Battisti



Dario Flaccovio Editore

Impianti solari termici per reti di teleriscaldamento

Manuale di progettazione con analisi economica
ed esempi di impianti

[Scheda sul sito >](#)



- Procedure di dimensionamento e progettazione ✓
- Logiche di controllo e piani di manutenzione degli impianti ✓
- Analisi economica e valutazione degli incentivi ✓
- Descrizione tecnica di impianti realizzati ✓

Riccardo Battisti

IMPIANTI SOLARI TERMICI PER RETI DI TELERISCALDAMENTO

**Manuale di progettazione con analisi economica
ed esempi di impianti**



Dario Flaccovio Editore

“Non desiderate che la natura
si accomodi a quello che parrebbe
disposto ed ordinato a noi,
ma conviene che noi
accomodiamo l’interesse nostro
a quello che ella ha fatto,
sicuri tale essere l’ottimo
e non l’altro.”

Galileo Galilei

Riccardo Battisti

IMPIANTI SOLARI TERMICI PER RETI DI TELERISCALDAMENTO
Manuale di progettazione con analisi economica ed esempi di impianti

ISBN 978-88-579-0186-2

© 2013 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686
www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: luglio 2013

Battisti, Riccardo <191972->

Impianti solari termici per reti di teleriscaldamento / Riccardo Battisti. -

Palermo : D. Flaccovio, 2013.

ISBN 978-88-579-0186-2

1. Impianti solari.

621.47 CDD-22

SBN PAL0259426

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Tipografia Priulla, Palermo, luglio 2013

RINGRAZIAMENTI

Questo libro è il punto di arrivo di quattro anni di ricerca applicata sul teleriscaldamento solare. Una ricerca svolta in un gruppo di lavoro internazionale, grazie ai progetti europei SDHtake-off, SDHplus e Sunstore4. Vorrei ringraziare, perciò, tutti i colleghi e amici del gruppo, tuttora attivo su questo tema, per le stimolanti discussioni tecniche e non solo nonché per i preziosi contributi fotografici riportati nel libro. Una menzione speciale va a Thomas Pauschinger, Leo Holm e Hans Bjerregaard, coordinatori dei suddetti progetti.

Un grazie particolare, inoltre, va agli amici e colleghi che hanno contribuito direttamente, con la loro professionalità e competenza, ad alcuni capitoli del libro: Franco Buscaroli, Marco Calderoni, Antoine Frein, Marco Mastroianni e Roberto Salustri.

Grazie, per la proficua e fruttuosa collaborazione di questi anni, al settore del teleriscaldamento italiano, rappresentato dall'AI-RU – Associazione Italiana Riscaldamento Urbano e, in particolare, nelle persone del presidente Fausto Ferraresi, Ilaria Bottio e Nunzia Fontana.

Un ringraziamento sentito va ad Assolterm – Associazione Italiana Solare Termico, per i tanti anni di lavoro insieme. Grazie, quindi, al presidente Sergio D'Alessandris, al Segretario Generale Valeria Verga e a tutti i rappresentanti del consiglio esecutivo dell'associazione. Grazie anche ai rappresentanti dell'associazione europea del solare termico, con particolare riferimento a Pedro Dias, Xavier Noyon e Raffaele Piria.

Ringrazio, per e nonostante le innumerevoli riunioni, sia quelle fiume, sia quelle rapide e risolutive, Annalisa Corrado, Serena Drigo e Claudia Vannoni.

Ringrazio anche, per le collaborazioni del passato, del presente e spero anche del futuro, Paolo Frankl, Mario Gamberale e Mario Motta.

Ringrazio poi Leonardo Berlen, Cesare Silvi e Luca Zingale per la loro opera di divulgazione scientifica di alto livello e per il loro sempre rinnovato entusiasmo.

Ringrazio, infine, i miei colleghi di Ambiente Italia che, pur non partecipando direttamente alla stesura del testo, esercitano la loro pazienza sopportandomi quotidianamente.

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

Indice

Prefazione

1. Mercato e politiche

1.1. Teleriscaldamento in Italia <i>di Franco Buscaroli</i>	»	11
1.2. Mercato del solare termico	»	14
1.3. Impianti di grande taglia	»	17
1.4. Perché il teleriscaldamento da solare termico.....	»	18
1.5. Quali politiche di supporto? Gli esempi di Danimarca e Germania	»	19
1.6. Verso il futuro prossimo: le <i>smart cities</i>	»	20

2. Impianti solari termici e reti di teleriscaldamento

2.1. Impianti centralizzati e distribuiti.....	»	23
2.1.1. Impianti centralizzati	»	23
2.1.2. Impianti distribuiti	»	24
2.1.3. Connessione alla rete negli impianti distribuiti.....	»	24
2.2. Copertura del carico e frazione solare	»	26
2.3. Integrazione con altre fonti energetiche.....	»	29

3. Tecnologia del solare termico

3.1. Collettori solari termici: principio di funzionamento.....	»	31
3.2. Prestazioni termiche e curva di efficienza	»	33
3.3. Tecnologie commerciali	»	34
3.3.1. Collettori piani vetrati.....	»	34
3.3.2. Collettori sottovuoto	»	35
3.3.3. Collettori non vetrati.....	»	37
3.3.4. Collettori a concentrazione	»	37
3.3.5. Curve di efficienza a confronto	»	39
3.4. Parametri caratteristici e lettura della scheda dati.....	»	42

4. Dimensionamento e progettazione degli impianti

4.1. Radiazione solare come risorsa energetica	»	45
4.2. Resa energetica e dimensionamento del campo collettori	»	50
4.3. Posizionamento dei collettori	»	55
4.4. Collegamento idraulico dei collettori solari <i>di Marco Calderoni e Antoine Frein</i>	»	61
4.4.1. Introduzione	»	61
4.4.2. Scelta dei collettori e loro collegamento idraulico	»	61
4.4.3. Tubazioni del circuito primario	»	65
4.4.3.1. Scelta della portata	»	65
4.4.3.2. Bilanciamento idraulico	»	67
4.4.4. Svuotamento di singoli sotto-campi	»	70
4.4.5. Sistema di controllo	»	71
4.5. Accumuli di calore	»	72
4.5.1. Funzione e taglia dell'accumulo	»	72
4.5.2. Tipologie costruttive	»	73
4.5.3. Confronto e criteri di scelta	»	81
4.6. Fluido termovettore e scambiatore di calore	»	83
4.7. Fenomeno della stagnazione e dispositivi di sicurezza <i>di Marco Mastroianni</i>	»	86
4.7.1. Definizione del fenomeno della stagnazione	»	86
4.7.2. Fasi del processo di stagnazione	»	86
4.7.3. Possibili problemi derivanti dalla stagnazione	»	90
4.7.4. Elementi aggiuntivi	»	92

5. Esercizio, manutenzione e affidabilità degli impianti

5.1. Dopo l'installazione	»	95
5.2. Esercizio degli impianti solari termici	»	95
5.2.1. Temperatura e portata nel circuito primario	»	95
5.2.2. Logiche di controllo per sistemi a portata variabile	»	98
5.2.3. Espansione dei componenti in fase di esercizio	»	100
5.3. Operazioni di manutenzione	»	101
5.3.1. Manutenzione negli impianti solari	»	101
5.3.2. Componenti e possibili danneggiamenti	»	102
5.3.3. Piano di manutenzione	»	106
5.4. Qualità e affidabilità degli impianti solari	»	107
5.4.1. Standard di test e certificazioni	»	107
5.4.2. Garanzie	»	111
5.5. Esperienze sul campo	»	111
5.5.1. Risultati dal Nord Europa	»	111
5.5.2. SolarCIP – Una ricerca italiana sulle criticità nella progettazione e nell'installazione degli impianti termici solari <i>di Roberto Salustri</i>	»	112
5.5.2.1. L'esempio tedesco	»	112
5.5.2.2. Dalla Germania all'Italia: nasce SolarCIP	»	114

5.5.2.3. Guasti tipo ed errori nella progettazione e nella realizzazione.....	» 115
5.5.2.4. Durata di vita degli impianti	» 125

6. Analisi economica e calcoli finanziari

6.1. Introduzione.....	» 129
6.2. Costi di investimento.....	» 129
6.3. Voci di costo corrente.....	» 134
6.4. Risparmi in fase di esercizio.....	» 136
6.5. Incentivi.....	» 137
6.6. Tempo di ritorno e redditività dell'investimento	» 139
6.7. Dati economici di impianti realizzati.....	» 144
6.8. Proprietà dell'impianto e modelli finanziari	» 147

7. Descrizione tecnica di impianti realizzati

7.1. Strandby (Danimarca).....	» 151
7.2. Braedstrup (Danimarca).....	» 155
7.3. Marstal (Danimarca).....	» 160
7.4. Crailsheim (Germania).....	» 165
7.5. Berlinerring (Austria).....	» 169
7.6. Andritz (Austria).....	» 175
7.7. Okotoks (Canada).....	» 179
7.8. Vislanda (Svezia).....	» 183
7.9. Stadion Liebenau (Austria).....	» 186
7.10. Neckarsulm (Germania).....	» 188

Bibliografia	» 192
---------------------------	-------

Prefazione

Il presente testo si propone come un manuale tecnico esaustivo sugli impianti solari termici di grande taglia, con un focus specifico sulle loro applicazioni in reti di teleriscaldamento.

Esso si rivolge, perciò, a tecnici e professionisti che appartengono al settore del solare termico e al mondo del teleriscaldamento, permettendo di comprendere le mutue esigenze e i rispettivi requisiti tecnici. Sebbene redatto in un linguaggio tecnico rigoroso, inoltre, il libro è stato scritto con uno stile semplice, che ne permette la fruizione anche da parte di lettori meno esperti, ma non per questo meno interessati al tema.

La dimensione di questi impianti rende particolarmente delicata la fase di integrazione nel paesaggio e sul territorio. Al fine, perciò, di testimoniare con esempi concreti come tale integrazione sia stata realizzata negli impianti già operativi, si è dato molto spazio al relativo materiale fotografico.

Questo manuale può essere considerato la *summa* del teleriscaldamento da solare termico, nonché il risultato di quattro anni di lavoro di un gruppo internazionale di ricerca applicata sul tema. In lingua italiana, inoltre, si tratta del primo e unico testo sull'argomento.

Dopo una breve sezione introduttiva sulla situazione di mercato e sulle politiche di sviluppo in alcuni Paesi europei, il testo si addentra subito nelle problematiche tecniche, analizzando l'integrazione degli impianti solari termici con le reti di teleriscaldamento e con le altre fonti energetiche presenti.

Il capitolo 3, poi, presenta la tecnologia del solare termico, con una particolare attenzione ai parametri operativi e alla lettura pratica delle schede dati dei prodotti. Il capitolo successivo è il vero cuore del testo, poiché espone in dettaglio le procedure di dimensionamento e progettazione degli impianti: la valutazione della radiazione solare disponibile, il calcolo della resa energetica, il collegamento idraulico tra i collettori solari e i serbatoi di accumulo, sia giornalieri sia stagionali. Un approfondimento sul fenomeno della stagnazione e sui requisiti progettuali per gestirlo in modo corretto, infine, chiude il capitolo.

Le fasi di esercizio e manutenzione sono descritte nel capitolo 5, che espone

anche un'analisi delle garanzie e dell'affidabilità degli impianti, riportando gli standard normativi e alcune esperienze dirette sul campo.

Il capitolo 6 presenta una valutazione economica degli impianti, mettendo in evidenza le diverse voci di costo, sia per l'investimento iniziale, sia per l'esercizio e la manutenzione, i risparmi ottenibili in fase di esercizio e gli incentivi disponibili. Alcuni esempi di calcolo e dati reali su impianti realizzati completano l'analisi, assieme a una discussione su possibili modelli finanziari alternativi.

Poiché gli impianti in funzione sono la migliore testimonianza di una tecnologia, il testo si conclude, nel capitolo 7, con la presentazione e l'analisi tecnica di dieci esempi realizzati in diversi Paesi europei.

1. Mercato e politiche

1.1. Teleriscaldamento in Italia *di Franco Buscaroli*¹

Il teleriscaldamento è un servizio che consiste essenzialmente nella fornitura diretta di acqua calda, prodotta presso una centrale a distanza dal punto di utilizzo, che viene poi trasferita all'utenza finale tramite reti di distribuzione interrata e appositamente coibentate per ridurre le dispersioni di calore.

Il termine *teleriscaldamento* sottolinea la peculiarità del servizio, ossia la distanza esistente tra il punto di produzione del calore e i punti di utilizzo. Il cuore del sistema, infatti, risiede in una centrale che può servire edifici situati anche ad alcuni chilometri di distanza. Si tratta di una soluzione innovativa rispetto ai sistemi di riscaldamento tradizionale che prevedono l'installazione di caldaie e generatori di calore in ciascun edificio se non, addirittura, in ciascun appartamento. I più antichi sistemi di teleriscaldamento risalgono all'Ottocento. Il primo impianto realizzato, infatti, è quello di New York, avviato nel 1876.

La storia del teleriscaldamento in Italia è molto più recente, in quanto prende avvio a principio degli anni '70, sulla scia delle consolidate esperienze nel frattempo maturate nei Paesi del Nord Europa.

In quegli anni la prima città italiana a dotarsi di un significativo e strutturato sistema di teleriscaldamento urbano è stata Brescia, seguita poi da Reggio Emilia, Modena e Torino.

Sulla base dei dati statistici AIRU (Associazione Italiana Riscaldamento Urbano) relativi al 2011, oggi la città italiana con la rete di teleriscaldamento più estesa è proprio Torino.

Ambiziosi programmi di espansione sono previsti a Milano, soprattutto nella cintura periferica, e in molti centri di piccole e medie dimensioni, principalmente delle regioni settentrionali.

Da sempre la fonte dati più aggiornata e documentata per avere un quadro dello stato del servizio di teleriscaldamento in Italia e del suo trend di sviluppo, è rappresentata dall'annuario che viene pubblicato dall'AIRU.

¹ Delegato AIRU (Associazione Italiana Riscaldamento Urbano) per il progetto europeo SDHtake-off.

Altri dati interessanti sono comunque recuperabili da, l'analisi a livello europeo che, periodicamente, viene aggiornata da Euroheat And Power, l'associazione di riferimento in Europa sul tema del teleriscaldamento.

Si esaminino, innanzitutto, alcuni dati complessivi.

Sulla base dell'Annuario 2011, i cui dati sono relativi al 2010, si può notare che oggi il teleriscaldamento in Italia è presente in 100 città, per un totale di 132 sistemi e una volumetria allacciata di 244 milioni di m³, corrispondente a 1.020.000 appartamenti equivalenti.

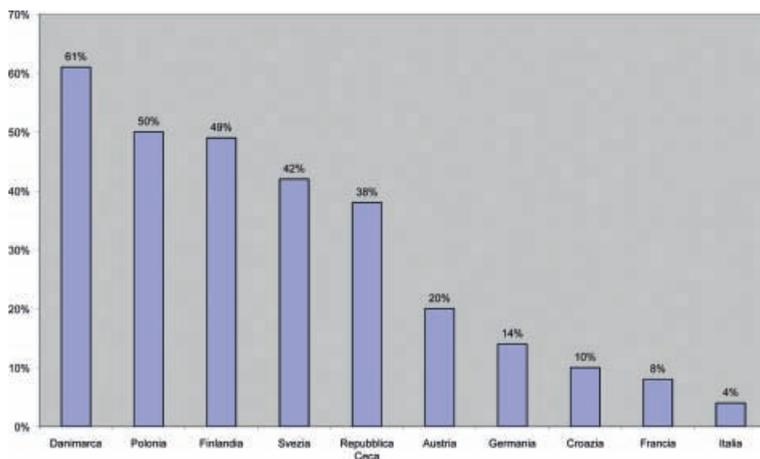


Figura 1.1. Copertura del teleriscaldamento sulla domanda totale di energia termica per riscaldamento in diversi Paesi europei

Complessivamente, vengono forniti ai clienti serviti 7.843 GWh di energia termica e frigorifera producendo, contemporaneamente, 5.357 GWh di energia elettrica in cogenerazione.

Si ottiene così un risparmio di 577.635 tonnellate equivalenti di petrolio, evitando l'emissione di 2.077.169 tonnellate di CO₂.

In Italia il TLR copre una quota dei consumi ancora relativamente bassa, pari a circa il 4%, soprattutto se confrontata con alcuni paesi del Nord Europa, come la Danimarca, che raggiunge frazioni del 61%. Esso, tuttavia, costituisce la tecnologia prevalente in molti contesti urbani.

Più confortante, invece, risulta il dato sul mix delle fonti utilizzato per alimentare le reti di teleriscaldamento. Se in Europa il 75% del calore proviene da fonti rinnovabili o di recupero, infatti, l'Italia appare sostanzialmente allineata al dato medio, con una quota del 72%.

Segue da ciò una prima considerazione: certamente il teleriscaldamento non è ancora sviluppato in tutta la sua potenzialità, presentando quindi ottime prospettive di ulteriore crescita, ma i gestori ad oggi stanno tenendo in debita considerazione il tema centrale della scelta delle fonti con cui alimentare le proprie reti.

L'aspetto delle prospettive di sviluppo, peraltro, è confermato se si analizzano le tendenze registrate negli ultimi anni. Dal 2000 al 2010, infatti, la volumetria teleriscaldata in Italia è passata da circa 117 milioni di m³ a 244 milioni di m³, con un incremento del 108%.

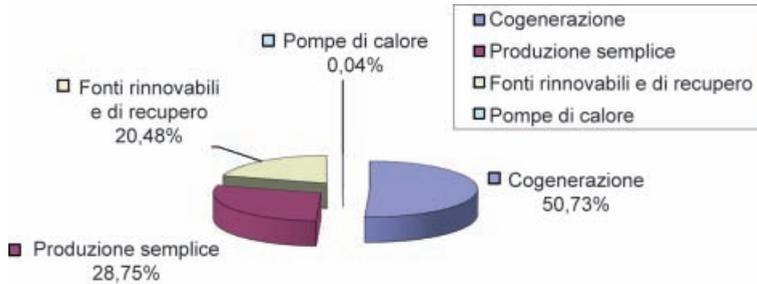


Figura 1.2. Tipologie di alimentazione per i sistemi di teleriscaldamento in Italia

Vale la pena sottolineare come ciò sia accaduto pur dovendo scontare la crisi economica che sta interessando in modo particolare il settore edilizio e che ha rallentato, se non bloccato, alcune iniziative già programmate.

Questi importanti risultati sono probabilmente frutto del lavoro di promozione e di analisi svolto dai gestori del teleriscaldamento.

Sono già molti anni che viene promosso in Italia un approccio innovativo e moderno alla progettazione dei sistemi di teleriscaldamento, che è stato efficacemente sintetizzato nella definizione di *sistemi energetici integrati* (SEI).

Il concetto di SEI parte dalla convinzione, che è anche una constatazione, che i sistemi di teleriscaldamento riescano a esprimere al meglio la loro potenzialità in termini di efficienza energetica e ambientale, se si realizzano alcune condizioni essenziali:

1. la pianificazione dello sviluppo del sistema di teleriscaldamento è preparata in modo coerente e integrato con la pianificazione del territorio;
2. la scelta dei sistemi di produzione dell'energia termica viene fatta a partire da un'analisi attenta delle risorse termiche che un territorio può rendere disponibile. In questo modo è spesso possibile intercettare risorse rinnovabili o di recupero da processi industriali, altrimenti disperse, che possono essere utilmente impiegate nelle reti di teleriscaldamento migliorando l'efficienza complessiva dei processi di produzione di energia termica.

È proprio grazie a questo approccio che i sistemi di teleriscaldamento moderni permettono di ottenere prestazioni energetiche e ambientali particolarmente interessanti che rendono questa tecnologia uno degli strumenti individuati a livello internazionale per contenere l'impatto ambientale dei sistemi di produzione e fornitura di energia.

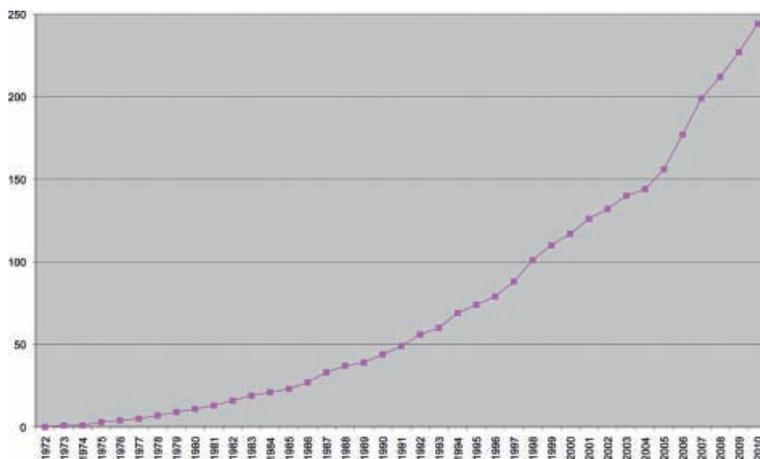


Figura 1.3. Crescita della volumetria teleriscaldata in Italia, espressa in milioni di m³

Del tutto coerente con l'impostazione dei SEI, quindi, è l'attenzione che viene oggi posta sull'applicazione del solare termico ai sistemi di teleriscaldamento (*Solar District Heating*, SDH), di cui sono già presenti esperienze significative nel Nord e Centro Europa. L'energia solare è, come ampiamente noto, la risorsa rinnovabile più diffusa nel territorio italiano ma, nonostante ciò, nessun impianto di SDH è mai stato realizzato in Italia.

Anche in questo caso, perciò, gli spazi di crescita ci sono e le opportunità devono essere colte con rapidità e lungimiranza.

1.2. Mercato del solare termico

La tecnologia del solare termico, in grado di convertire la radiazione solare in calore, è oggi utilizzata prevalentemente per la produzione di acqua calda sanitaria e per il riscaldamento degli ambienti, sia per utenze singole come, ad esempio, le abitazioni, sia per utilizzi collettivi, come condomini o centri sportivi.

Più raro, invece, è l'impiego di tale tecnologia per generare calore di processo a uso industriale, per raffrescare gli ambienti tramite impianti di *solar cooling* e per integrare altre fonti energetiche in reti di teleriscaldamento.

Se si osserva l'andamento delle vendite di solare termico nell'Europa a 27 più la Svizzera, si nota come gli anni dal 2008 al 2011 non siano stati semplici per questo mercato. Le cause di tale difficoltà sono complesse e molteplici ma, senza dubbio, si possono citare la crisi economica, che ha rallentato il tasso di sostituzione dei vecchi impianti termici nelle abitazioni, e la competizione con il fotovoltaico che, sebbene produca energia elettrica e non termica, ha attirato su di sé gran parte degli incentivi e dell'attenzione mediatica.

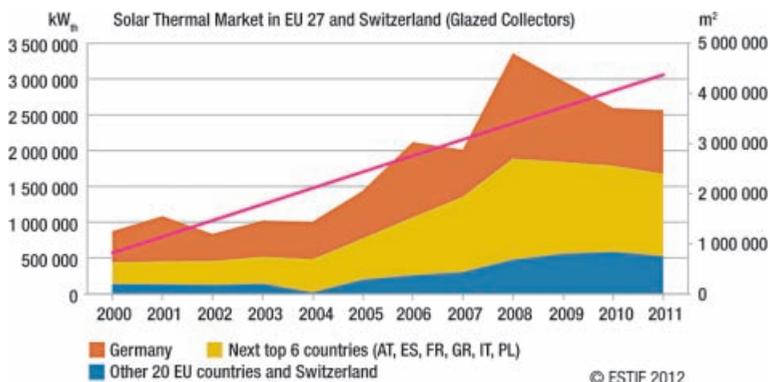


Figura 1.4. Il mercato solare termico in Europa, espresso in termini sia di potenza termica sia di superficie installata (fonte: European Solar Thermal Industry Federation, <http://www.estif.org>)

Nel 2011, in Europa sono stati installati più di 3,6 milioni di m² di impianti solari termici, corrispondenti a una potenza² di 2,56 MW_{th} e con un calo dell'1,3% rispetto al mercato dell'anno precedente.

L'Italia è ancora uno dei mercati più interessanti, rappresentando l'11% del nuovo installato. Dal 2008, però, anno di vero boom per il solare termico, le vendite sono state costanti o in calo. Il 2011, poi, è stato particolarmente negativo, con un decremento tra il 15% e il 20% rispetto all'anno precedente. Nel 2011 sono stati installati, in Italia, poco più di 400.000 m² di solare termico, raggiungendo un parco complessivo di circa 3.000.000 m².

Shares of the European Solar Thermal Market (Newly Installed Capacity)

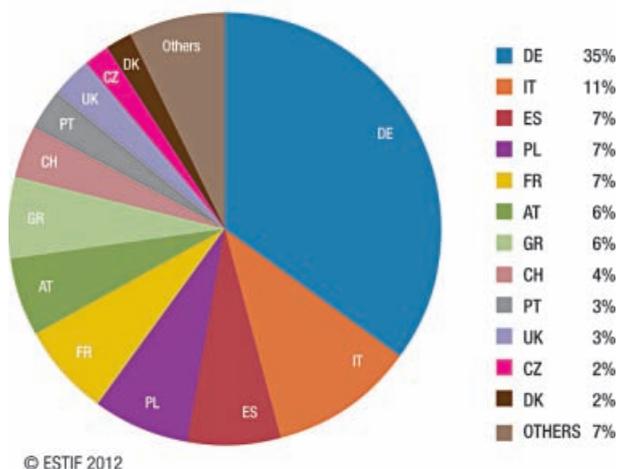


Figura 1.5. Nuove installazioni di solare termico in Europa nel 2011: contributi percentuali al mercato complessivo (fonte: European Solar Thermal Industry Federation, www.estif.org)

² La convenzione adottata dalla International Energy Agency prevede che 1 m² di solare termico corrisponda a una potenza installata di 0,7 kW_{th}.

La principale ragione per spiegare questo calo, oltre al già citato eccessivo finanziamento al fotovoltaico tramite il sistema di incentivazione noto come “Conto Energia”, è l’incertezza normativa. Un esempio su tutti è quello della detrazione fiscale al 55%, rinnovata solo su base annuale e sempre solo all’approssimarsi della scadenza. Non si dimentichi, inoltre, che, sebbene il 55% sia una quota rilevante dell’investimento, il recupero viene spalmato su un periodo di 10 anni rendendo, perciò, la detrazione fiscale uno strumento di supporto non sufficientemente appetibile.

Dati costantemente aggiornati sul mercato del solare termico in Europa sono reperibili su www.estif.org, mentre le statistiche italiane sono consultabili su www.assolterm.it, il sito dell’Associazione Italiana Solare Termico.

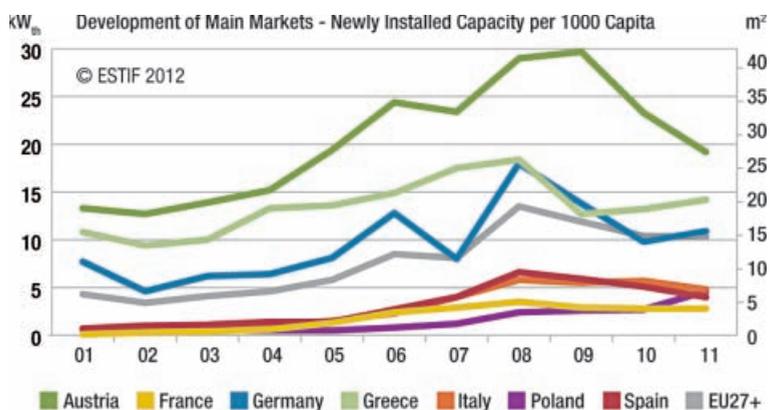


Figura 1.6. Andamento dei principali mercati europei del solare termico: nuova potenza e superficie installata in rapporto a ogni 1.000 abitanti (fonte: European Solar Thermal Industry Federation, www.estif.org)

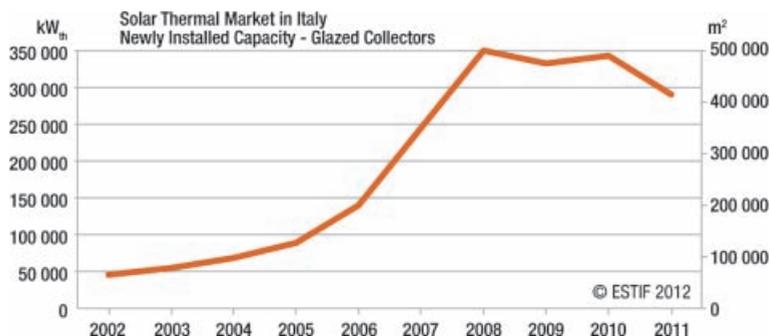


Figura 1.7. Andamento del mercato italiano del solare termico, espresso in termini sia di potenza termica sia di superficie installata. Il termine *glazed collectors* indica che i dati si riferiscono ai soli collettori solari vetriati e non a quelli scoperti, realizzati in materiale plastico (si veda il capitolo 3) (fonte: European Solar Thermal Industry Federation, www.estif.org)

1.3. Impianti di grande taglia

Come osservato in precedenza, il mercato del solare termico è costituito prevalentemente da piccoli sistemi per acqua calda sanitaria e, in alcuni casi, anche per riscaldamento degli ambienti. Si può stimare che circa il 90% del nuovo installato ricada in questa tipologia, anche se l'assenza di dati statistici affidabili su questo tema testimonia, ancora una volta, la scarsa importanza attribuita agli impianti solari termici di grande taglia³.

Nonostante ciò, è stato più volte calcolato un potenziale enorme per l'utilizzo del solare termico in applicazioni speciali, come la produzione di calore di processo a bassa e media temperatura in alcuni settori industriali (per esempio lavorazione metalli, caseario e alimentare in generale, chimico, ecc.), il raffrescamento di ambienti mediante la combinazione con macchine ad assorbimento e, non ultimo, l'impiego in reti di teleriscaldamento.

Dal punto di vista tecnico, si tratta di impianti non solo più estesi, ma anche sensibilmente più complessi dei sistemi per acqua calda sanitaria a uso residenziale, e che necessitano di una progettazione *ad hoc* difficilmente standardizzabile. La necessità di diffuse competenze tecniche specifiche, perciò, è un prerequisito essenziale affinché tali sistemi possano trovare applicazione e, soprattutto, funzionare correttamente.

Riallacciandosi alle statistiche di mercato, si può commentare che gli impianti di grande taglia in applicazioni speciali rivestono un ruolo fondamentale per raggiungere gli ambiziosi obiettivi al 2020 di produzione di calore da solare termico, che l'Italia ha recentemente fissato nel piano di azione nazionale per le energie rinnovabili. Se si confronta, infatti, la produzione attesa al 2020 con quella attuale, si riscontra un fattore 8. Da oggi al 2020, il calore "pulito" da solare termico dovrebbe incrementare di ben otto volte.

Tale obiettivo, seppur ambizioso, è del tutto in linea con le potenzialità del Paese, in termini di disponibilità di radiazione solare. Se si analizza, infatti, il parco solare installato pro capite, si osserva che l'Italia è ancora molto indietro rispetto non solo a un Paese peculiare come Cipro, ma anche a realtà come Austria, Grecia o Germania (figure 1.8 e 1.9).

È chiaro però che, oltre alle già citate necessità di competenze tecniche, lo sviluppo di impianti di grande dimensione richiede anche un adeguato strumento di incentivazione e supporto. Le agevolazioni fiscali, con il loro tetto detraibile di 60.000 €, non sono adatte a questa taglia di investimento. Più interessanti, invece, sono le opportunità offerte dai certificati bianchi, che saranno descritti in dettaglio nel capitolo relativo all'analisi economica degli impianti di teleriscaldamento solare.

³ Solitamente, la soglia al di sopra della quale un impianto solare è definito grande è quella di 35 kW_{th} (50 m²).

Estimated solar heat generation per country in comparison with national targets for annual heat generation using solar thermal systems by 2020, expressed in GWh.

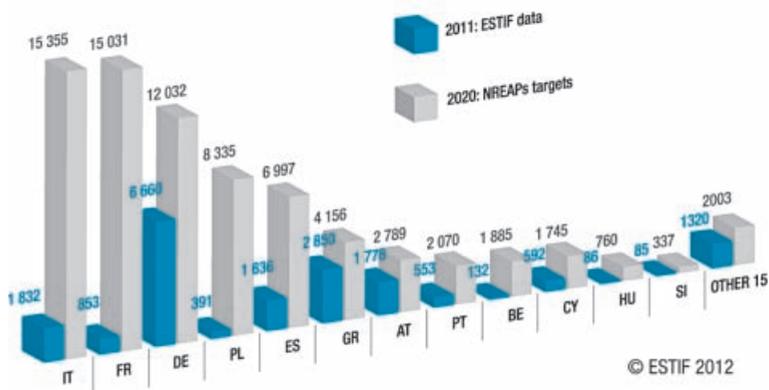


Figura 1.8. Produzione di calore da solare termico in diversi paesi europei: confronto tra i valori stimati al 2011 e gli obiettivi nazionali fissati al 2020, espressi in GWh di energia generata. La sigla NREAP indica i *National Renewable Energy Action Plans*, vale a dire i piani di azione nazionale per le energie rinnovabili (fonte: European Solar Thermal Industry Federation, www.estif.org)

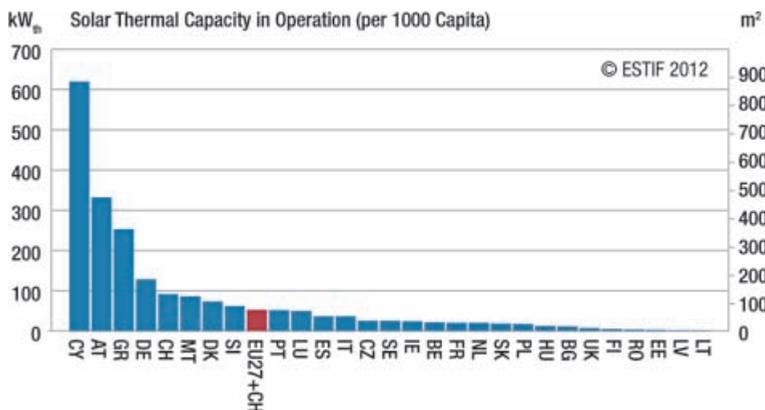


Figura 1.9. Solare termico complessivamente installato in diversi paesi europei: valori pro capite, espresso in termini sia di potenza termica sia di superficie installata (fonte: European Solar Thermal Industry Federation, www.estif.org)

Da ultimo, non deve essere trascurata la possibilità di adottare modelli innovativi di business, come l'intervento delle ESCO (*Energy Service Companies*) nella realizzazione e gestione degli impianti.

1.4. Perché il teleriscaldamento da solare termico

Perché pensare al solare termico come possibile fonte energetica per alimentare reti di teleriscaldamento? Per il settore industriale del solare termico, che rappre-

senta il lato dell'offerta, e per l'andamento del suo mercato, i principali benefici sono: basso costo specifico (€/m² installato) di investimento e raggiungimento dell'effetto scala, aumento del *know-how* tecnico per l'integrazione del solare con altre fonti energetiche in sistemi complessi, stimolo per l'innovazione tecnologica e nessun costo di investimento sostenuto dall'utente finale.

Guardando, invece, questa soluzione tecnologica dal punto di vista delle utility che vendono calore, la principale motivazione che le spinge verso l'adozione del solare è sicuramente il risparmio di combustibile convenzionale nella fase di gestione degli impianti. Il costo di tali combustibili, infatti, è sempre più caratterizzato da forti incertezze, anche nella sua componente legata alle tasse e la competizione del calore da teleriscaldamento con i sistemi di riscaldamento individuali, soprattutto in Italia, è davvero agguerrita.

Il solare termico, in grado di fornire calore gratuito, pulito e non tassabile per almeno 20 anni, con una notevole affidabilità di funzionamento e limitatissime necessità di manutenzione, rappresenta, allora, una soluzione particolarmente calzante alle esigenze delle utility. Non deve essere dimenticata, infine, la sempre maggiore attenzione degli utenti verso l'inquinamento ambientale e la crescente sensibilità nei confronti di nuove installazioni impiantistiche sul territorio. Un impianto di teleriscaldamento che produca, almeno in parte, calore da solare termico assicura, senza dubbio, una maggiore accettabilità da parte della popolazione locale, con conseguenti risparmi, in termini di tempi e costi, per l'investitore che ha deciso di realizzare tale impianto.

1.5. Quali politiche di supporto? Gli esempi di Danimarca e Germania

Alcune recenti analisi individuano in meno di 100 il numero di impianti solari termici di grandissima dimensione⁴ in Europa. Più di un terzo di questi impianti sono localizzati in Danimarca e Svezia e quasi altrettanti in Austria e Germania. Questi quattro Paesi offrono i modelli più avanzati per l'utilizzo del solare termico nelle reti di teleriscaldamento. Un caso eccezionale è quello della piccola isola danese di Aero, dove si concentrano ben tre grandi impianti di teleriscaldamento solare, uno dei quali, tra l'altro, è attualmente in espansione. Strabiliante è la quota di solare termico installato nell'isola, pari a 4 m² pro capite, dieci volte più elevato del valore relativo alla pur virtuosa Austria.

Può sembrare singolare che siano proprio questi Paesi con clima meno fortunato a risultare quelli maggiormente solarizzati. La notevole diffusione del teleriscaldamento, tuttavia, combinata con una forte e diffusa cultura tecnica del solare termico, li rende un punto di riferimento per l'intera Europa.

È interessante esaminare, più nei dettagli, le politiche di supporto che hanno per-

⁴ Vale a dire con superficie attiva maggiore di 1.000 m², corrispondente a una potenza installata di almeno 700 kW_{th}.

messo a Danimarca e Germania di spingere sulla tecnologia del teleriscaldamento solare. In Danimarca, i primi sistemi sono stati realizzati già negli anni '80, ma la vera rivoluzione è stato l'impianto di Braedstrup, entrato in funzione nel 2007, dove il solare termico opera, per la prima volta, in combinazione con un cogeneratore. Come impianto innovativo, l'impianto ha goduto di un finanziamento pubblico che ha coperto parte dell'investimento ma, poiché ha confermato, in seguito, la redditività economica calcolata sulla carta, è stato seguito da numerosi altri esempi sul territorio danese. L'impegno verso questa tecnologia è confermata dal fatto che, nel recente piano energetico danese, un capitolo a parte è stato riservato al teleriscaldamento da solare termico, considerato come una delle soluzioni chiave per l'approvvigionamento di energia termica nel medio e lungo periodo.

In Germania, invece, tramite i programmi "Solarthermie2000" e "Solarthermie2000 plus", il Ministero dell'ambiente ha supportato la realizzazione di grandi impianti solari termici per teleriscaldamento, dotati di accumulo stagionale, con il fine di testare sul campo questi sistemi speciali. Per quanto riguarda il settore del solare termico, l'obiettivo politico tedesco è quello di spostarsi dai piccoli impianti per utenza singola ai sistemi collettivi e, infine, ai grandi impianti di teleriscaldamento solare, in grado di alimentare quartieri o piccole città. In questa visione di medio periodo, al 2020, il teleriscaldamento solare dovrebbe arrivare a rappresentare il 10% della potenza complessiva di solare termico installata nel paese teutonico.

1.6. Verso il futuro prossimo: le *smart cities*

Un tema sempre più attuale negli scenari di sviluppo urbanistico in Italia e in Europa è quello delle città intelligenti, le *smart cities*, soprattutto con riferimento non tanto alle grandi metropoli, quanto piuttosto agli insediamenti di media dimensione. Una *smart city* deve dimostrare una gestione intelligente di sei temi fondamentali: ambiente, mobilità, economia, governo, persone e stile di vita.

All'interno del tema ambientale, la gestione sostenibile delle risorse risulta uno degli aspetti più rilevanti. Ancora più nel dettaglio, in una città intelligente⁵ la produzione e l'utilizzo dell'energia sono realizzate con un'attenta pianificazione e l'utente finale conosce bene sia i suoi fabbisogni sia le disponibilità energetiche delle diverse fonti.

Una realtà nella quale le produzioni di calore ed elettricità, siano esse concentrate o distribuite, sono gestite al fine di ottimizzare i costi operativi e minimizzare l'impatto sull'ambiente può essere, fuor di dubbio, definita *smart*. In questo contesto, impianti e reti di teleriscaldamento possono e devono giocare un ruolo fon-

⁵ Maggiori informazioni sulle *smart cities* e sulla classifica europea sono disponibili su www.smart-cities.eu. Dettagli su progetti realizzati e soluzioni implementate sono raccolte all'indirizzo <http://eu-smartcities.eu/>.

damentale nel fornire energia termica a costo contenuto e con un basso impatto sull'ambiente, lasciando agli utenti la possibilità di regolare i propri consumi in base alle esigenze e alle condizioni climatiche.

In un siffatto scenario, il solare termico, combinato con altre fonti rinnovabili e, ove possibile, con accumuli stagionali di calore, occupa un posto in prima fila nella costruzione di un futuro, ma anche di un presente, caratterizzati da sicurezza energetica, rispetto dell'ambiente e sostenibilità economica.



Figura 1.10. Impianto solare termico in facciata realizzato in Austria per uno studentato universitario (foto: Riccardo Battisti)

2. Impianti solari termici e reti di teleriscaldamento

2.1. Impianti centralizzati e distribuiti

2.1.1. Impianti centralizzati

Un impianto solare termico può essere integrato in una rete di teleriscaldamento secondo due principali modalità: centralizzata e distribuita¹.

Negli impianti centralizzati, comuni soprattutto in Austria, Danimarca, Germania e Svezia, il campo solare termico, attraverso un suo circuito, è connesso direttamente alla centrale di produzione, dove altre fonti energetiche contribuiscono a soddisfare il fabbisogno termico della rete. Spesso accade che, in questi impianti, il solare sia accoppiato a unità cogenerative alimentate a gas naturale o a biomassa. Un impianto di questo tipo, solitamente, è realizzato e gestito dallo stesso soggetto che ha la responsabilità anche della rete di teleriscaldamento, vale a dire la utility locale. Si noti che il concetto di impianto centralizzato si riferisce alla connessione idraulica e non al posizionamento dei collettori solari che può, invece, essere di carattere distribuito, ad esempio in parte sul terreno e in parte sugli edifici alimentati dalla rete stessa.

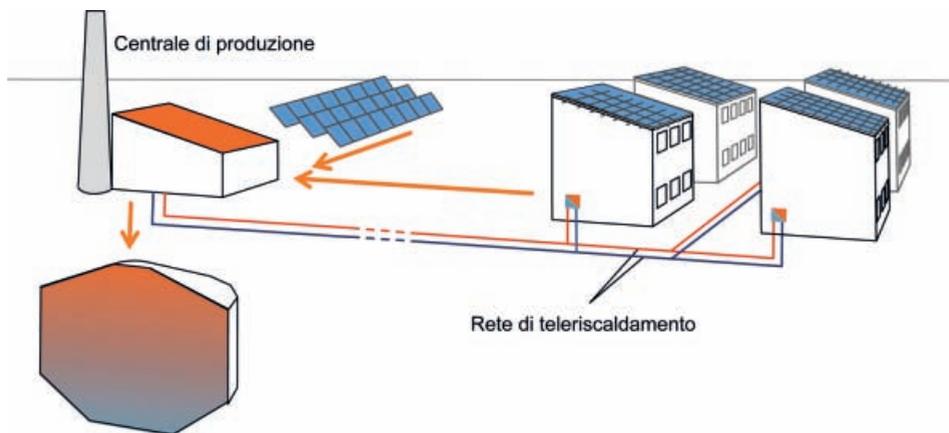


Figura 2.1. Impianto solare centralizzato in rete di teleriscaldamento (fonte: Solites, www.solites.de)

¹ Un database piuttosto esaustivo degli impianti solari termici che integrano reti di teleriscaldamento in Europa è disponibile all'indirizzo: www.solar-district-heating.eu/SDH/LargeScaleSolarHeatingPlants.aspx.

2.1.2. Impianti distribuiti

Un impianto si dirà invece *distribuito* quando alimenta la rete di teleriscaldamento o, addirittura, le utenze finali, senza passare per la centrale termica generale. Negli impianti distribuiti, spesso la rete stessa è utilizzata come accumulo di calore perché, nella maggior parte dei casi, il solare fornisce una piccola parte della domanda complessiva di calore. La gestione dell'impianto solare è normalmente in capo a una società edile (per esempio una cooperativa edilizia), a una ESCO (*Energy Service Company*, cioè una società di servizi energetici) oppure, ancora una volta, al distributore locale di calore. Esempi di impianti solari distribuiti sono reperibili in Austria o in Svezia, dove sono stati addirittura posti in essere contratti di *net-metering* ("scambio sul posto") del calore, proprio come realizzato, già a partire da diversi anni, per la connessione alla rete elettrica degli impianti fotovoltaici. In questo modello, i singoli sistemi solari termici sono di proprietà degli utilizzatori, che sfruttano l'energia termica per coprire il loro fabbisogno e cedono alla rete di teleriscaldamento il calore in eccesso comprandone, invece, dalla rete stessa, quanto necessario in base al fabbisogno.

La soluzione dell'impianto distribuito, che potrebbe risultare ottimale ai fini della minimizzazione delle perdite di calore, è però attuabile solo in presenza di valori di pressione e temperatura della rete locale compatibili con i parametri operativi dell'impianto solare.

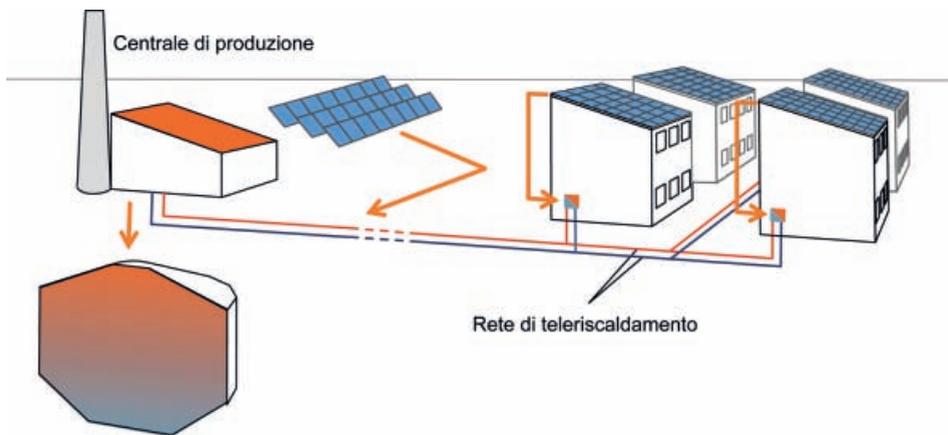


Figura 2.2. Impianto solare distribuito in rete di teleriscaldamento (fonte: Solites, www.solites.de)

2.1.3. Connessione alla rete negli impianti distribuiti

Per gli impianti distribuiti, si possono individuare tre principali modalità di connessione con la rete. Nella prima, denominata *alimentazione dal ritorno alla mandata* (*feed-in return – flow*), l'impianto solare deve operare in *matched flow*,

vale a dire la sua portata deve essere regolata in modo da ottenere la temperatura desiderata, pari a quella sulla mandata della rete. La pompa di alimentazione deve compensare la differenza di pressione tra le linee di mandata e ritorno, differenza che solitamente raggiunge valori di qualche bar, molto più elevati delle perdite di carico che si verificano in collettori e tubazioni e che raggiungono qualche centinaio di mbar. Questa tipologia di integrazione del solare è la più benvista dal gestore della rete, in quanto non modifica la temperatura di ritorno sulla linea e il costo della pompa è a carico di chi realizza l'impianto solare.

La seconda modalità, detta *alimentazione dal ritorno al ritorno* (*feed-in return – return*), prevede che il solare prelevi e restituisca sulla linea del ritorno, garantendo così le minime temperature di funzionamento per i collettori solari e, quindi, la loro massima efficienza operativa. Non è necessaria energia di pompaggio, perché le perdite di carico in tubazioni e scambiatore di calore sono coperte dalle pompe di rete già presenti, e il circuito solare può operare a portata costante. Si tratta di una modalità non particolarmente favorevole al gestore di rete, poiché si deve prevedere un controllo aggiuntivo sulla portata dello scambiatore di calore proveniente dal circuito solare e perché l'aumento della temperatura di ritorno incrementa le perdite termiche e diminuisce l'efficienza degli altri generatori di calore alimentati proprio dalla linea di ritorno.

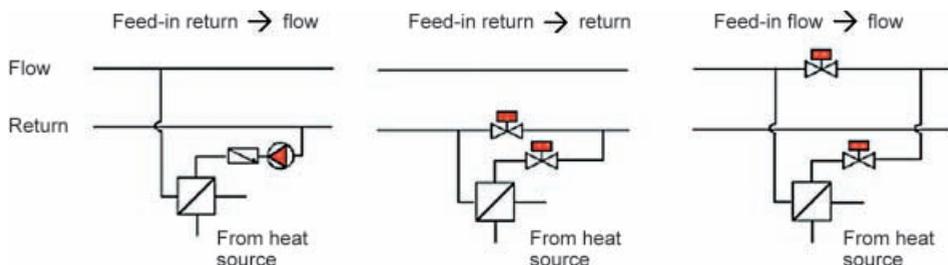


Figura 2.3. Integrazione idraulica del solare termico in una rete di teleriscaldamento (fonte: Solar District Heating Guidelines, www.solar-district-heating.eu)

La terza modalità di integrazione, definita *alimentazione dalla mandata alla mandata* (*feed-in flow – flow*), è poco utilizzata in quanto comporta temperature di funzionamento più elevate, e quindi efficienze più basse, per il solare termico². Al fine di evitare sovra riscaldamento e stagnazione nei collettori solari³, è importante conoscere il fabbisogno termico della rete nella zona di connessione dell'impianto solare, soprattutto nelle ore di maggiore irraggiamento solare. Come valore di massima, si può assumere una radiazione di 3 kWh per ogni m² di collettore solare nelle ore dalle 9:00 alle 15:00. In estate, quando il rischio di un eccessivo riscaldamento dell'impianto solare è maggiore, il carico della rete,

² Si faccia riferimento al capitolo 3 per la relazione tra temperatura ed efficienza operativa dei collettori solari.

³ Si veda il capitolo 4 per una descrizione esaustiva di tale fenomeno.

in assenza di domanda di riscaldamento degli ambienti, è dato da: consumo di acqua calda sanitaria a uso residenziale, grandi utenze (ospedali, industrie, centri sportivi, ecc.), ricircolo nelle tubazioni, e perdite di rete.

Se la rete viene impiegata come accumulatore termico, anche la temperatura di ritorno aumenterà durante il funzionamento dell'impianto solare. Affinché tale funzionamento sia sicuro ed efficiente, la temperatura di ritorno deve essere mantenuta più bassa possibile la mattina, prima che il solare cominci ad alimentare la rete. Nel tardo pomeriggio, dato l'incremento della temperatura di ritorno e la diminuzione dell'irraggiamento solare, può essere necessario effettuare il by-pass dell'impianto solare.

In inverno, la temperatura di mandata sulla rete può salire fino a $90 \div 100$ °C. Sebbene il solare termico possa tecnicamente raggiungere queste temperature anche in inverno, è consigliabile, per non abbassare troppo l'efficienza di conversione energetica, prevedere un suo funzionamento a $60 \div 80$ °C. Se risulta impossibile l'integrazione con la rete a queste temperature, il calore solare può essere dirottato verso l'alimentazione diretta di alcuni edifici.

Un'altra possibile causa di stagnazione nell'impianto solare termico è la fermata di parte della rete per lavori di installazione e/o manutenzione. La fermata deve essere programmata quando non sia prevista integrazione di calore dal solare verso la rete, vale a dire quando non vi sia disponibilità di radiazione solare oppure quando sia presente un accumulatore dove scaricare temporaneamente l'energia termica proveniente dai collettori solari.

2.2. Copertura del carico e frazione solare

Per *frazione solare* (o *fattore di copertura*) si definisce il rapporto tra l'energia utile consegnata all'utenza dall'impianto solare rispetto al fabbisogno termico complessivo.

Il valore della frazione solare in un impianto dipende, a parità di fabbisogno totale, da numerosi parametri, tra i quali i più importanti sono: la superficie captante dei collettori solari, l'eventuale presenza di un serbatoio e il suo volume di accumulatore, nonché l'andamento del carico termico e quello della radiazione solare disponibile nel sito.

Si analizzi, ad esempio, tramite la figura 2.4, un impianto solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria, solitamente indicata come ACS, in una abitazione monofamiliare. L'energia termica da fonte solare ammonta a 2.518 kWh/anno che, rispetto a un fabbisogno di 3.407 kWh/anno, rappresenta una copertura del 74% circa. La restante quota di consumo sarà assicurata dal dispositivo convenzionale, ad esempio una caldaia a gas. Aumentando il numero dei collettori solari sarebbe possibile aumentare il fattore di copertura, ma ciò incrementerebbe anche lo spreco estivo, localizzato nell'area dove la curva rossa supera quella

blu. Un'altra soluzione sarebbe l'aumento del volume di accumulo, con il conseguente aumento del costo di impianto. È chiaro, perciò, che il fattore di copertura risulta da un'ottimizzazione tecnico-economica della taglia del campo collettori e dei serbatoi di accumulo.

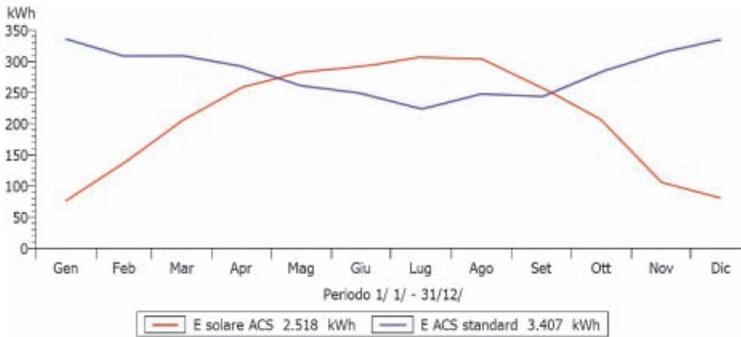


Figura 2.4. Energia termica da fonte solare e fabbisogno per acqua calda sanitaria (ACS) in un impianto solare termico per abitazione monofamiliare (fonte: elaborazione da software T*SOL, www.valentin.de)

Con particolare riferimento a solare e teleriscaldamento, si possono distinguere due macro-categorie di impianti: bassa frazione solare e alta frazione solare.

Gli impianti a bassa frazione solare sono dimensionati per coprire il carico estivo della rete, vale a dire che la loro frazione solare estiva può raggiungere anche il 100%, ma la frazione solare media annuale mostrerà valori molto più contenuti, attorno al 5 ÷ 10%. Tali impianti sono solitamente sprovvisti di accumulo, in quanto è la rete stessa, con il suo contenuto d'acqua, a garantire un sufficiente volume per l'immagazzinamento del calore. Se è presente un serbatoio, si tratta di un accumulo di taglia contenuta, ad esempio con un volume di 50 ÷ 70 litri d'acqua per ogni m² di collettore solare installato, sufficiente a garantire l'immagazzinamento dell'energia termica su base giornaliera.

Per spingere più in alto la quota di produzione da solare termico coprendo, ad esempio, anche parte del carico invernale, ai fini di un maggior risparmio nei combustibili convenzionali con i quali è alimentata la rete, sarebbe necessario installare una superficie solare maggiore. Sorge, però, il problema della contemporaneità su base stagionale: la maggiore superficie attiva presenta un surplus di calore estivo, del tutto inutilizzabile⁴, mentre in inverno non risulta comunque sufficiente a coprire una parte apprezzabile del carico. Entra in gioco, allora, un concetto diverso di serbatoio, l'accumulo stagionale, che sarà ampiamente descritto nel seguito⁵. Grazie a tale accumulo, la sovrapproduzione estiva dei collettori solari è immagazzinata e, successivamente, utilizzata nella stagione invernale

⁴ Questo surplus, inoltre, implica un grave rischio di sistematici fenomeni di stagnazione termica all'interno dei collettori solari, con conseguenti, molto probabili, danneggiamenti degli stessi.

⁵ Il capitolo 4 riporta un'ampia descrizione tecnica delle principali tipologie costruttive di accumulo stagionale.

per coprire parte del fabbisogno per il riscaldamento di ambienti. In impianti di questo tipo, è possibile raggiungere frazioni solari del $30 \div 50\%$ ⁶.

Nel caso di accumuli stagionali, non è semplice dare dei valori di riferimento per il loro volume, ma si può indicativamente affermare che sono solitamente necessari almeno 1500 litri d'acqua per ogni m^2 di collettore solare termico installato, vale a dire un volume circa 30 volte maggiore di quello utilizzato per accumuli giornalieri.



Figura 2.5. Un accumulo giornaliero di grande dimensione nell'impianto solare di Marstal, Danimarca (foto: Riccardo Battisti)

Tabella 2.1. Valori indicativi della frazione solare e del volume di accumulo per impianti solari termici in reti di teleriscaldamento

Tipologia di impianto solare termico	Frazione solare	Volume di accumulo necessario
Per sola copertura estiva	$5 \div 10\%$	$50 \div 100 \text{ l/m}^2$
Per parziale copertura invernale	$30 \div 50\%$	Almeno 1500 l/m^2

⁶ Non si tratta tanto di un limite tecnico, quanto di una questione di ottimizzazione economica del funzionamento di impianto. Esistono, tuttavia, esempi estremi, come quello della Drake Landing Solar Community (si veda il capitolo 7) nella regione canadese dell'Ontario, dove la frazione solare supera il 90%, grazie anche a un dimensionamento ottimale della rete di teleriscaldamento e alla realizzazione di misure di efficienza energetica sulle utenze finali.

2.3. Integrazione con altre fonti energetiche

Dal punto di vista meramente tecnico, è possibile integrare il solare termico, in una rete di teleriscaldamento, con qualsiasi fonte e tecnologia energetica. Esaminando, però, gli aspetti economici dell'investimento, la combinazione con fonti a basso costo, come l'incenerimento dei rifiuti, il calore industriale di scarto o l'energia termica da cogenerazione appare più complessa e rara, specialmente dove il calore quasi gratuito consente di coprire interamente il carico estivo e il solare termico non apporterebbe alcun vantaggio al funzionamento dell'impianto. Bisogna sottolineare, però, che in Danimarca sono in funzione, da qualche anno, diversi impianti dove il solare è affiancato proprio a unità cogenerative.

Si può affermare che, dati gli attuali costi di investimento di un impianto solare termico, il calore da solare può difficilmente competere con costi di produzione più bassi di 30 €/MWh di energia termica nel Nord Europa e di 20 €/MWh nei Paesi del Sud Europa.

Reti di teleriscaldamento alimentate con impianti a biomassa non in cogenerazione possono risultare particolarmente interessanti, perché il solare può coprire il carico estivo, consentendo lo spegnimento della caldaia e garantendo l'economicità di esercizio anche nel caso di impennate nel prezzo della biomassa. Il solare dovrà essere accoppiato a un serbatoio di accumulo, che potrà funzionare anche in inverno, permettendo il funzionamento a carico costante della caldaia a biomassa. L'accumulo, inoltre, potrà agire da *back up* in caso di guasto della caldaia. Un aspetto tecnico che deve essere tenuto in conto è il limite minimo di carico per la caldaia a biomassa. Se la frazione solare è troppo alta (portando, perciò, il carico della caldaia al di sotto del limite minimo), ma non ancora sufficiente a permettere lo spegnimento della caldaia per un lungo periodo, si verifica il rischio di un continuo *on/off* della caldaia stessa. Per scongiurare tale pericolo, la frazione solare nel periodo estivo deve essere vicina al 100%.

Se, infine, la caldaia è dotata di un condensatore dei gas di scarico, il solare termico, al fine di ottimizzare l'efficienza, dovrebbe operare in parallelo alla caldaia.

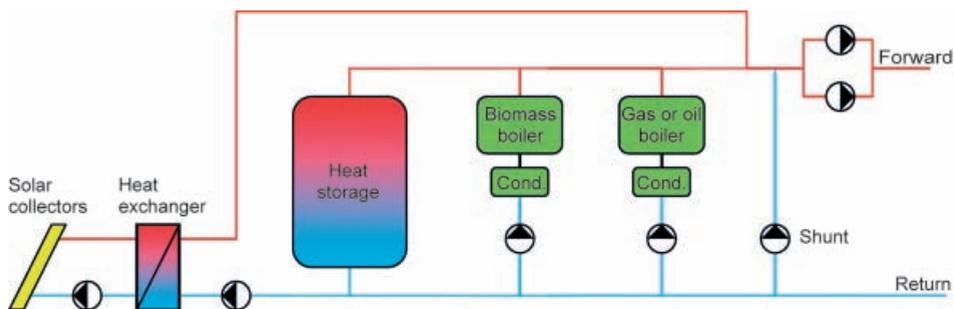


Figura 2.6. Integrazione tra solare e biomassa in un impianto di teleriscaldamento. Forward e return indicano, rispettivamente, le linee di mandata e di ritorno della rete. Heat storage è il serbatoio di accumulo, mentre heat exchanger è lo scambiatore di calore tra il circuito solare primario e il circuito secondario (fonte: Solar District Heating Guidelines, www.solar-district-heating.eu)

La possibilità di integrare solare e unità cogenerative dipende dal combustibile utilizzato nelle unità stesse e dal prezzo al quale è possibile e conveniente vendere energia elettrica sul mercato.

In Danimarca, il successo del solare accanto alle unità cogenerative è legato all'elevata percentuale di energia eolica nel mercato elettrico danese. Quando la disponibilità di energia elettrica dagli impianti eolici è molto elevata, gli impianti cogenerativi sono costretti a contrarre la loro produzione, generando calore tramite caldaie convenzionali e, quindi, con un costo marginale di produzione sensibilmente più elevato.

In un contesto economico di questo tipo, allora, l'introduzione di un impianto solare può risultare economicamente molto vantaggiosa.

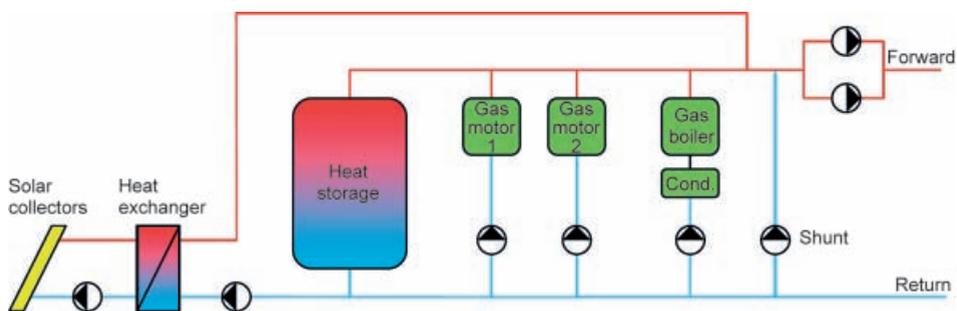


Figura 2.7. Integrazione tra solare e unità cogenerative a gas naturale in un impianto di teleriscaldamento (fonte: Solar District Heating Guidelines, www.solar-district-heating.eu)

3. Tecnologia del solare termico

3.1. Collettori solari termici: principio di funzionamento

Il collettore solare termico (a volte denominato *pannello solare*) è il cuore di un impianto solare, in quanto è il dispositivo che realizza la conversione dell'energia elettromagnetica proveniente dal sole in energia termica sfruttabile dalle utenze. Al fine di ottimizzare tale conversione e, quindi, l'output di energia utile, il collettore solare è costruito in modo da minimizzare le perdite energetiche, sia quelle ottiche sia quelle termiche verso l'esterno. Per analizzare i componenti costitutivi di un collettore, nonché il suo principio base di funzionamento, si farà nel seguito riferimento alla tecnologia maggiormente diffusa in Europa, vale a dire quella del collettore piano vetrato, uno schema semplificato del quale è riportato nella figura 3.1.

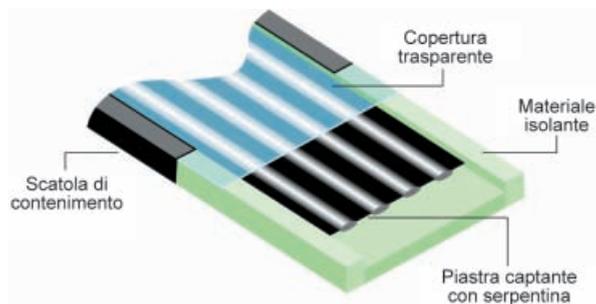


Figura 3.1. Principali componenti di un collettore solare

L'elemento fondamentale del collettore solare è la piastra captante, realizzata in materiali metallici (rame, alluminio o, più raramente, acciaio) oppure plastici (nel caso di collettori a bassa efficienza) che, aumentando la sua temperatura grazie all'assorbimento della radiazione solare, consente il successivo trasferimento di energia termica a un fluido termovettore che scorre in alcuni tubi, saldati alla piastra stessa. È ormai divenuto uno standard tecnologico assodato il trattamento selettivo della superficie della piastra captante, che assicura una elevata capacità di assorbimento alle lunghezze d'onda tipiche della radiazione solare, e, contemporaneamente, una bassa emissività per lunghezze d'onda caratteristiche della

radiazione infrarossa, che sono quelle emesse da corpi a temperatura di $100 \div 200 \text{ }^\circ\text{C}$.

Data la maggiore temperatura della piastra rispetto all'ambiente esterno, per minimizzare le perdite termiche, è necessario prevedere alcuni accorgimenti costruttivi. Prima di tutto, la parte posteriore e i lati del collettore sono dotati di uno strato isolante, depositato sotto forma di schiuma o di lastre, che limita le perdite per conduzione termica. Al fine di creare intercapedini d'aria ferma, che costituiscono un'ottima barriera alla trasmissione del calore, i materiali utilizzabili (poliuretano, lana di poliestere, lana di vetro o lana di roccia) sono sempre caratterizzati da una conformazione porosa o alveolare. Per scongiurare il rischio di inumidimento dell'isolante, che ne potrebbe compromettere le prestazioni, il materiale, a volte, è ricoperto da un sottilissimo strato di alluminio.

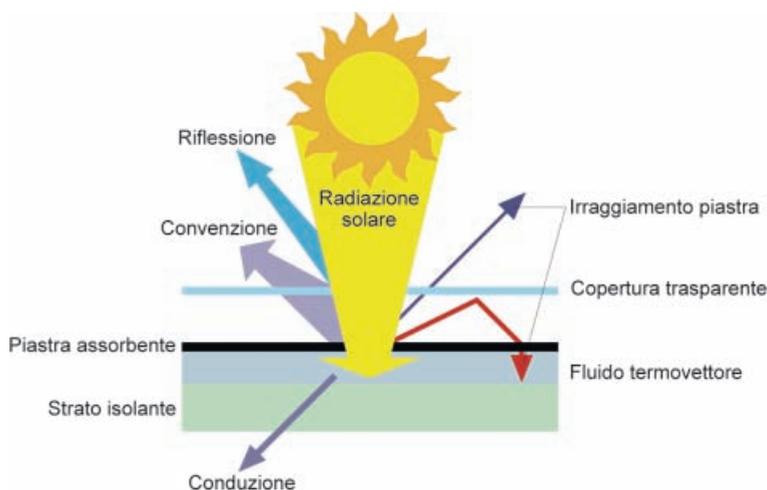


Figura 3.2. Principio di funzionamento e flussi termici in un collettore solare

La parte anteriore del pannello solare, inoltre, è dotata di una copertura trasparente, quasi sempre realizzata in vetro, che permette, tramite un fenomeno di effetto serra interno al collettore, di contenere le perdite per irraggiamento verso l'ambiente, nonché di evitare l'esposizione della piastra all'aria esterna riducendo, così, anche le perdite per convezione. Esistono collettori anche con doppia copertura vetrata, che consentono di minimizzare le perdite e ottenere una temperatura di funzionamento più elevata. Si noti, però, che, per quanto trasparente, la presenza del vetro comporta delle perdite ottiche¹ che, inevitabilmente, sono più rilevanti nel caso di doppia copertura. A volte, il secondo vetro viene sostituito da un foglio isolante trasparente (TIM, *transparent insulation material*), che consen-

¹ È possibile ridurre tali perdite mediante l'adozione di un vetro anti-riflettente, solitamente indicato con la sigla AR nelle schede dati dei collettori solari. L'utilizzo di vetri a basso contenuto di ferro, invece, sempre al fine di ridurre le perdite per riflessione, è uno standard tecnologico consolidato.

te di contenere il calore all'interno del collettore senza perdere eccessivamente in termini di trasparenza e, soprattutto, con costi sensibilmente più bassi e minori problemi di trasporto e di montaggio rispetto al doppio vetro.

Anche la copertura vetrata mostra un comportamento selettivo, poiché è trasparente alle lunghezze d'onda della radiazione solare (comprese, in massima parte, tra 0,2 e 2,5 μm circa) e opaca alla radiazione infrarossa proveniente dalla piastra calda che presenta, invece, lunghezze d'onda superiori a 4 μm . Dal punto di vista, meccanico, infine, la lastra di copertura presenta una notevole resistenza alle pressioni e agli impatti, poiché si adottano vetri temperati².

3.2. Prestazioni termiche e curva di efficienza

I meccanismi di conversione e trasmissione del calore descritti nel paragrafo precedente fanno sì che il collettore, date le specifiche condizioni climatiche e le necessità energetiche dell'utenza alimentata, trovi un suo equilibrio termico e presenti un determinato valore di rendimento (o efficienza). Il rendimento di un collettore solare, definito come rapporto tra energia termica utile in uscita ed energia solare in ingresso, può essere rappresentato mediante l'andamento grafico riportato in figura e noto come *curva di efficienza*. La curva di efficienza è sempre reperibile in qualsiasi scheda tecnica di un collettore solare termico.

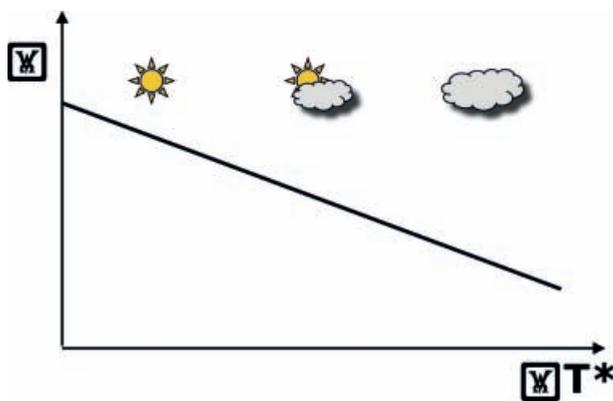


Figura 3.3. Curva di efficienza di un collettore solare

L'equazione che esprime tale grafico è la seguente:

$$\eta = \eta_o - a_1 \times \Delta T^* - a_2 \times (\Delta T^*)^2$$

² Si veda il capitolo 4 per i dettagli sulle prove di affidabilità e durabilità alle quali sono sottoposti i collettori solari.

dove η è l'efficienza istantanea del collettore e η_o , detta *efficienza ottica*, è il suo valore massimo, corrispondente ad assenza di perdite termiche verso l'esterno. La differenza tra valore massimo teorico del rendimento (vale a dire 1) e η_o è dovuta esclusivamente alle perdite per riflessione sulla superficie di copertura³. Il parametro ΔT^* , definibile come il motore delle perdite termiche, è così calcolato:

$$\Delta T^* = \frac{T_{mf} - T_a}{I}$$

dove T_{mf} è la temperatura media del fluido termovettore all'interno del collettore, T_a è la temperatura ambiente e I è l'irraggiamento solare istantaneo⁴, solitamente espresso in W/m^2 .

Quanto più il fluido dentro il collettore si riscalda rispetto all'ambiente esterno e quanto più bassa è la radiazione solare, tanto più aumenta il motore delle perdite e, di conseguenza, come si osserva anche dal grafico, scende l'efficienza operativa.

I parametri a_1 e a_2 , quindi, sono legati alle caratteristiche costruttive e alla qualità del collettore, misurando la sua sensibilità alle condizioni istantanee e, perciò, all'azione delle perdite termiche. Un collettore con bassi valori di a_1 e a_2 , come si vedrà meglio più avanti, è in grado di funzionare con rendimento quasi costante in un ampio campo di condizioni.

In calcoli di prima approssimazione, il fattore di perdita quadratico, cioè quello legato al parametro a_2 , può spesso essere trascurato, dato il valore molto basso di a_2 rispetto al parametro di perdita lineare (a_1).

3.3. Tecnologie commerciali

3.3.1. Collettori piani vetrati

Come precedentemente osservato, la tecnologia dei collettori piani vetrati è, senza dubbio, la più diffusa in Europa. Lo schema costruttivo è stato già descritto nei paragrafi precedenti e non sarà qui ripetuto.

Vale la pena, però, ribadire che i parametri che caratterizzano le prestazioni di un collettore, riassumibili tramite la curva di efficienza, possono variare, anche in modo sostanziale, da prodotto a prodotto, secondo la loro qualità, pur restando nella categoria dei pannelli piani vetrati. È fondamentale, perciò, che tali differenze siano analizzate con la doverosa attenzione quando si valuta la fattibilità tecnico-economica di un impianto.

³ Da ciò segue l'aggettivo *ottica* assegnato a tale efficienza. Si noti che, a parità di altre condizioni, un collettore con vetro AR avrà una efficienza ottica superiore agli altri, mentre un collettore con doppia copertura presenterà un valore inferiore.

⁴ Si tratta di una potenza solare specifica.

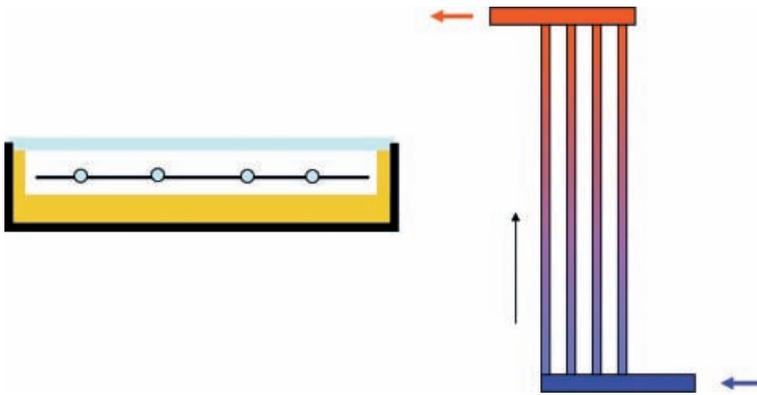


Figura 3.4. Sezione di un collettore piano vetrato (a sinistra) e tipiche tubazioni ad arpa all'interno del collettore (a destra)

3.3.2. Collettori sottovuoto

I collettori sottovuoto, tecnologia quasi egemonica in Cina, paese che vanta il primato assoluto di più grande mercato mondiale del solare termico, permettono di contenere le perdite termiche verso l'ambiente esterno, realizzando il vuoto al loro interno⁵ ed evitando, così, i fenomeni di trasmissione di calore per convezione, dovuti alla presenza di un'intercapedine di aria tra piastra captante e copertura trasparente.

Poiché è più agevole ottenere e, soprattutto, mantenere nel tempo il vuoto in un elemento cilindrico, tali collettori sono quasi sempre costituiti da più tubi collegati in parallelo. Per questa ragione, si parla spesso di *collettori a tubi sottovuoto*. Esiste qualche esempio, tuttavia, di collettore sottovuoto con forma piana, spesso equipaggiato con una pompa di vuoto automatica.

Per i collettori a tubi sottovuoto, si possono distinguere due tipologie costruttive, esposte nella figura 3.7.

Nella prima (a sinistra in figura), la piastra captante, in ogni tubo, è costituita da un cilindro metallico con trattamento superficiale selettivo. Il tubo metallico combacia con un tubo di vetro, coassiale con un secondo tubo esterno, sempre realizzato in vetro. Il vuoto è prodotto tra il tubo esterno e quello interno e il trasferimento del calore avviene attraverso un tubo a U.

Nella seconda tipologia (a destra in figura), la piastra captante presenta la forma di una lamina e, poiché esiste un solo tubo di vetro, la zona di vuoto si trova tra la lamina e l'unico tubo presente.

⁵ Si raggiungono pressioni anche di 5×10^{-3} Pa.



Figura 3.5. Impianto con collettori solari a tubi sottovuoto (foto: Riccardo Battisti)



Figura 3.6. Particolare di un collettore solari a tubi sottovuoto (foto: Riccardo Battisti)