

2. SOLARE TERMICO

2.1 PANNELLI SOLARI ED INTEGRAZIONE NELLE CHIUSURE DELL'EDIFICIO

Con la denominazione di "pannelli solari" si indicano quelle superfici destinate a raccogliere la radiazione solare e relative cavità per il passaggio di un fluido vettore; come accennato al §1.2, i sistemi solari che possono essere installati per integrare o provvedere *in toto* alle necessità di acqua calda sanitaria e/o per riscaldamento di un edificio sono i più disparati, ed ai modelli posti in opera si aggiungono di continuo sistemi di nuova concezione o che si avvalgono di nuovi materiali.

Quello che si può fare in questa sede è una "foto di gruppo" che, come tale, è parziale ed istantanea, e si limita in particolare allo stato dell'arte dei sistemi solari di piccola scala di miglior rapporto rendimento/costi: questo identikit quindi esclude i sistemi a concentrazione e quelli ad inseguimento, i cui costi di installazione e manutenzione vanificano il miglior rendimento.

I sistemi a pannelli fissi sono quindi una scelta "obbligata" specialmente per il residenziale, la cui committenza è particolarmente sensibile sia ai costi che all'impatto visivo dell'impianto.

I pannelli solari possono avere forma ed aspetto i più vari possibile, a volte possono non sembrare neanche pannelli (è il caso dei muri Trombe o dei vetri camera a circolazione forzata per infissi): di questi tipi "non ortodossi" ci occuperemo nel capitolo 4, e ci limitiamo ora a descrivere i più familiari "collettori piani".

Un **collettore solare piano** è costruito per funzionare come un "corpo nero": una piastra (solitamente metallica) assorbe le radiazioni solari e si riscalda, riscaldando il fluido che in esso circola. Riscaldandosi, emette radiazioni con il massimo d'intensità nella lunghezza d'onda stabilita dalla legge di Wien¹, che per un collettore è nel campo dell'infrarosso. Per evitare la dispersione di questa radiazione di corpo nero, il collettore è solitamente coperto da una lastra di materiale trasparente alla radiazione solare ma opaco agli infrarossi, in modo da creare un "effetto serra" (che tutti hanno sperimentato entrando in un locale vetrato esposto al Sole) che fa aumentare notevolmente la

¹ $\lambda = \frac{2897}{T}$ con T in °K

temperatura all'interno del collettore. Le parti non trasparenti del collettore sono opportunamente coibentate per ridurre la parte di calore assorbito che non viene trasferita al fluido vettore.

Esaminiamo ora ciascuno dei componenti di un collettore solare.

Nella progettazione di un collettore, il numero di lastre trasparenti da impiegare (distanti fra i 12 ed i 24 mm) è un parametro che dipende essenzialmente dalla velocità e natura del fluido vettore e dalla temperatura esterna: più lentamente circola il fluido, più la piastra è calda ed è necessaria più di una lastra per trattenere la parte infrarossa della radiazione di corpo nero; più bassa è la temperatura esterna, più occorre almeno un'altra lastra trasparente che intercetti buona parte della radiazione di corpo nero, in modo da ridurre il Δt fra le facce della lastra più esterna (e quindi le perdite per conduzione). Si tenga comunque presente che più lastre si impiegano, più radiazione solare assorbono e riflettono, quindi meno radiazione raggiunge effettivamente la piastra.

Sia la radiazione solare, da un lato, sia la radiazione di corpo nero dall'interno sono in parte riflesse (circa il 4% ad ogni interfaccia lastra-aria) ed in parte assorbite, per essere poi emesse in entrambe le direzioni (avendo anche la lastra un blando comportamento di corpo nero); la quantità di energia sia riflessa che assorbita dipende dalla trasmittanza ottica della lastra, la cui misura è il **coefficiente di trasmissione τ** , funzione della composizione, dello stato superficiale, dello spessore della lastra e dell'angolo di incidenza della radiazione (fig. 2.1).

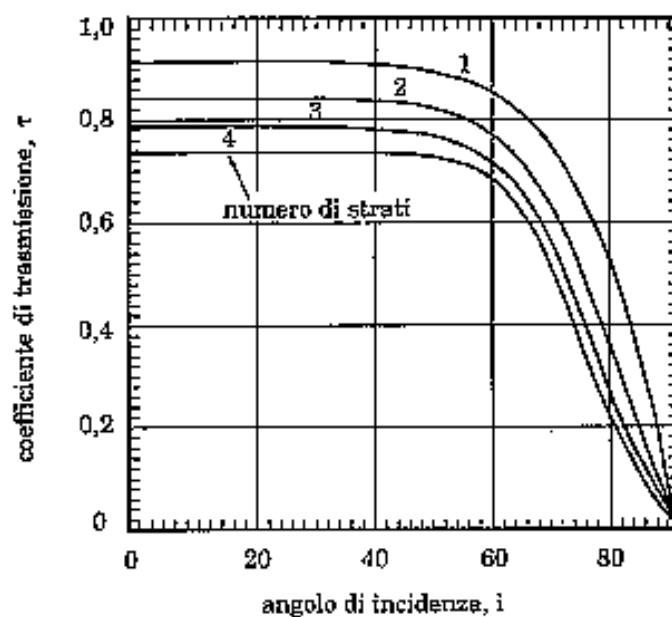


Figura 2.1 – Coefficiente di trasmissione di strati *non assorbenti* in funzione dell'angolo di incidenza. [5]

Il materiale che riunisce prestazioni ed economicità non esiste ancora: i vetri hanno ottime proprietà ottiche, ma non possono avere luci troppo grandi (fragilità alla grandine) e sono costosi; le materie plastiche sono più economiche, leggere e resistenti del vetro, ma presentano una maggiore trasmissività alle lunghezze d'onda 0,3÷0,4 μm delle radiazioni infrarosse emesse dalla piastra, ed una minore stabilità delle proprietà geometriche e fisiche nel tempo.

La scelta delle parti trasparenti va quindi fatta cercando di ottenere al minor costo queste prestazioni: basso coefficiente di assorbimento, coefficiente di trasmissione proporzionale alla frequenza (alto alle alte frequenze e basso all'infrarosso), bassa conducibilità termica, buona resistenza alle sollecitazioni meccaniche e termiche, accettabile resistenza agli agenti chimici (detersivi) ed atmosferici, durata nel tempo e facile sostituibilità.

La piastra assorbente viene solitamente verniciata di nero opaco per aumentare l'assorbività propria del materiale, che dipende dall'angolo di incidenza con una legge simile a quella della trasmittanza della lastra trasparente; la sua equazione di bilancio termico istantaneo è

$$G_c \cdot A_c \cdot (\tau\alpha) = q_u + q_p + du_p/dt, \quad (2.1)$$

dove G_c è la radiazione globale incidente sul collettore di area A_c , $\tau\alpha$ è il prodotto dei coefficienti di trasmissione della lastra e di assorbimento della piastra, q_u è la potenza utile ceduta al fluido termovettore, q_p è la potenza perduta per convezione e/o irraggiamento, e l'ultimo rapporto è la potenza accumulata dalla piastra, trascurabile ipotizzando un comportamento stazionario per il collettore.

L'**efficienza** "istantanea" (monitoraggio standard di 15 minuti) **del collettore** è definita come il rapporto tra la potenza utile (ceduta al fluido termovettore) e la potenza radiante incidente sul collettore:

$$\eta_c = \frac{q_u}{A_c G_c} \quad (2.2)$$

Un monitoraggio oltre il quarto d'ora consente di calcolare l'efficienza media $\bar{\eta}_c$.

Il fluido vettore (aria, acqua o un fluido ad es. a basso punto di ebollizione) può circolare in tubi metallici inglobati o saldati alla piastra, oppure liberamente fra la piastra e le parti trasparenti: nel primo caso è critica la dispersione per irraggiamento

dalla piastra, nel secondo le perdite maggiori sono dovute a convezione dello stesso fluido vettore.

La potenza termica dispersa dal collettore è valutabile con l'equazione:

$$q_p = U_c \cdot A_c \cdot (T_p - T_a), \quad (2.3)$$

dove U_c è il **coefficiente di perdita** (coeff. di scambio termico globale tra il collettore e l'aria), T_p è la temperatura media della piastra e T_a è la temperatura ambiente.

Il coefficiente di perdita vale solitamente $5 \div 8 \text{ W/m}^2\text{°K}$ per collettori ad un vetro con piastra nera non selettiva (cioè priva di particolari proprietà di assorbimento ed emissione) e $2,5 \div 4 \text{ W/m}^2\text{°K}$ per collettori a doppio vetro con piastra nera non selettiva; è esprimibile come la somma dei tre coefficienti di perdita verso l'alto, il basso e i bordi laterali:

$$U_c = U_a + U_b + U_l; \quad (2.4)$$

considerando solo la resistenza R_p ed R_l dell'isolante termico (posteriormente e later.te):

$$U_b = \frac{1}{A_c R_p} \quad (2.5)$$

$$U_l = \frac{1}{A_c R_l} \quad (2.6)$$

$$U_a = \left[\frac{N}{\frac{C}{T_p} \left(\frac{T_p - T_a}{N + f} \right)^p + \frac{1}{h_{c,\infty}}} \right]^{-1} + \frac{\sigma (T_p - T_a) (T_p^2 + T_a^2)}{(\epsilon_p + 0,00591 N h_{c,\infty})^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0,133 \epsilon_p}{\epsilon_v} - N}, \quad (2.7)^2$$

dove quest'ultima espressione del coefficiente di perdita verso l'alto è valida per $T_a < T_p < 473 \text{ °K}$ ed è accurata a $\pm 0,3 \text{ W/m}^2\text{°K}$.

In figura 2.2 viene visualizzata la dipendenza di U_a da T_a e T_p .

² N =numero delle lastre traspar.; $f=(1+0,089h_{c,\infty} \epsilon_p)(1+0,07866N)$; $C=520(1-0,000051\beta^2)$ per $0^\circ < \beta < 70^\circ$, per $70^\circ < \beta < 90^\circ$ si usi $\beta=70^\circ$; $p=0,43(1-100/T_p)$; β =inclinazione del collettore sul piano orizzontale (gradi); ϵ_v =coefficiente di emissione del vetro; ϵ_p =coefficiente di emissione della piastra; T_a =temperatura dell'aria ambiente (°K); T_p =temperatura media della piastra (°K); $h_{c,\infty}$ =coefficiente di scambio termico convettivo con l'esterno ($\text{W/m}^2\text{°K}$)= $2,8+3V$, dove V è la velocità del vento in m/s.

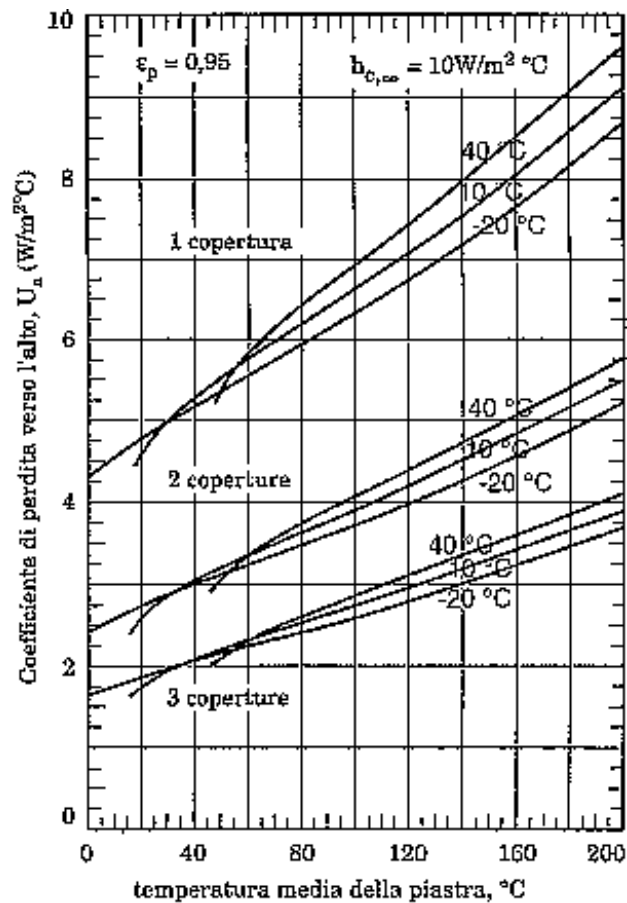


Figura 2.2 - Coefficiente di perdita verso l'alto, in funzione della temperatura media della piastra e della temperatura dell'aria esterna. [5]

Per la valutazione della potenza utile q_u bisogna specificare numerose condizioni a contorno, a cominciare dal tipo di fluido termovettore di **calore specifico** c_p ; la potenza ceduta al fluido in un tratto di tubo lungo dx è proporzionale al suo aumento di temperatura secondo l'equazione

$$dq_u(x) = m' \cdot c_p \cdot dT_f, \quad (2.8)$$

dove m' è la portata di fluido nel tubo.

Definiti l' il passo fra i tubi, L la loro lunghezza, T_{fi} la temperatura d'ingresso del fluido, ed un coefficiente F_R detto **fattore di rimozione del calore**:

$$F_R = \frac{G' c_p \Delta T_f}{(\tau \alpha) G_c - U_c (T_{fi} - T_a)},$$

dove $G' = m'/l'L$ (portata specifica del tubo), la potenza utile ceduta al singolo tubo è:

$$q_u^l = F_R [(\tau \alpha) G_c - U_c (T_{fi} - T_a)] \cdot l' L. \quad (2.9)$$

Per ottenere la potenza utile complessiva basta inserire nell'equazione A_c al posto di l , oppure moltiplicare per il numero di tubi.

L'efficienza del collettore definita dalla (2.2) si può esprimere allora con l'espressione:

$$\eta = F_R \left(\tau\alpha - U_c \frac{T_{fi} - T_a}{G_c} \right). \quad (2.10)$$

In definitiva, la scelta della piastra assorbente va fatta cercando di ottenere al minor costo queste prestazioni: un coefficiente di assorbimento molto elevato, il più vicino possibile all'unità; un coefficiente di emissione basso; una elevata conducibilità termica (per cedere molto calore nell'unità di tempo al fluido termovettore); una buona resistenza alle sollecitazioni derivanti dalla dilatazione termica; facile sostituibilità e durata nel tempo.

Le soluzioni tecnologiche per aumentare l'efficienza dei collettori sono le più svariate: merita una citazione un brevetto norvegese della ditta SolarNorAS, che riesce ad aumentare la temperatura dell'acqua in uscita dal pannello (e a tenerla alta anche molti minuti dopo il tramonto o il rannuvolamento) grazie a tante piccole *pellets* ceramiche nere disposte nella piastra captante (plastica) cava, che costringono il liquido a venire a contatto con la grande superficie delle loro minuscole porosità (fig. 2.3).

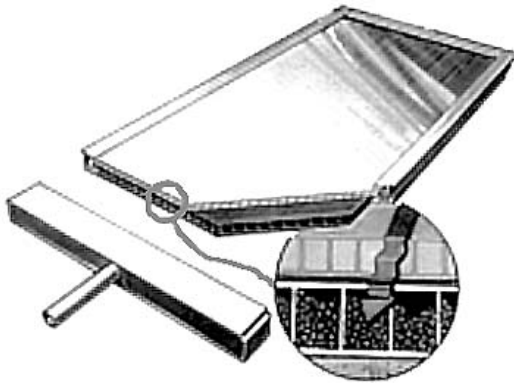


Figura 2.3 - Collettore a liquido con *pellets* di materiale ceramico. (schema: SolarNorAS)

Le parti non trasparenti del pannello solare devono avere resistenza alle sollecitazioni meccaniche e termiche ed impedire la dispersione del calore intercettato; per queste ragioni il contenitore deve essere rigido ma preferibilmente non metallico, ed avere un adeguato isolamento termico che garantisca queste prestazioni: un basso coefficiente di trasmissione termica, in modo da poter contenere il suo spessore e peso; stabilità delle caratteristiche fisico-chimiche alle temperature

di esercizio; compatibilità fisico-chimica con i materiali con cui viene a contatto; facile adattamento alle geometrie dei componenti del collettore; buona durata nel tempo.

Il cuore di un sistema a pannelli solari è il fluido termovettore, che permette di trasportare il calore del Sole ai sistemi di accumulo che si è scelto di adoperare: come già accennato, può essere di varia natura; se è acqua (fig. 2.4), può essere usato direttamente come acqua calda sanitaria, oppure può cedere il suo calore in uno scambiatore (nel caso venga addizionata di antigelo o l'acqua di rete contenga troppi carbonati metallici); liquidi a bassa temperatura di ebollizione vengono usati in cicli frigoriferi e pompe di calore.

L'aria è un fluido vettore che ha vantaggi e svantaggi il cui peso relativo varia in funzione dell'impianto e dell'edificio: fra i vantaggi il costo zero, l'immediata

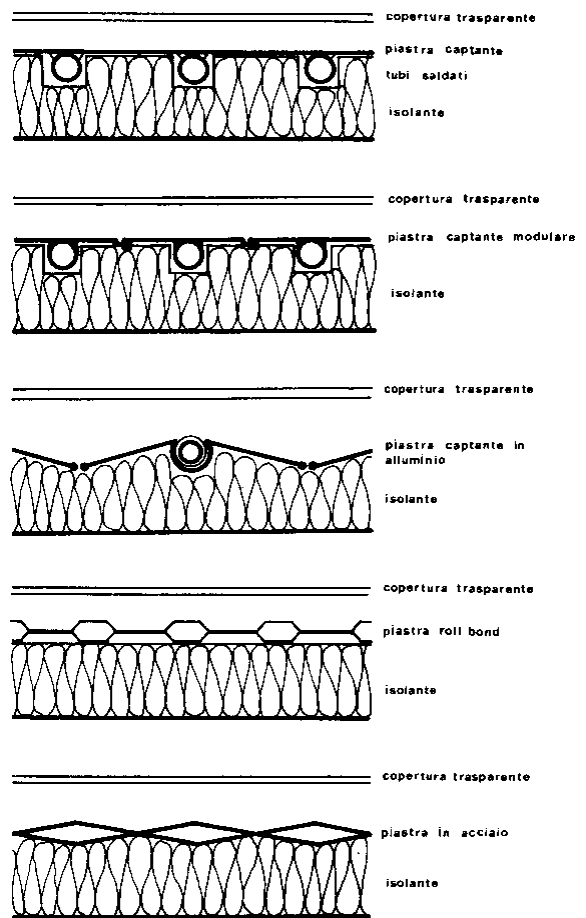


Figura 2.4 - Collettori a liquido. [16]

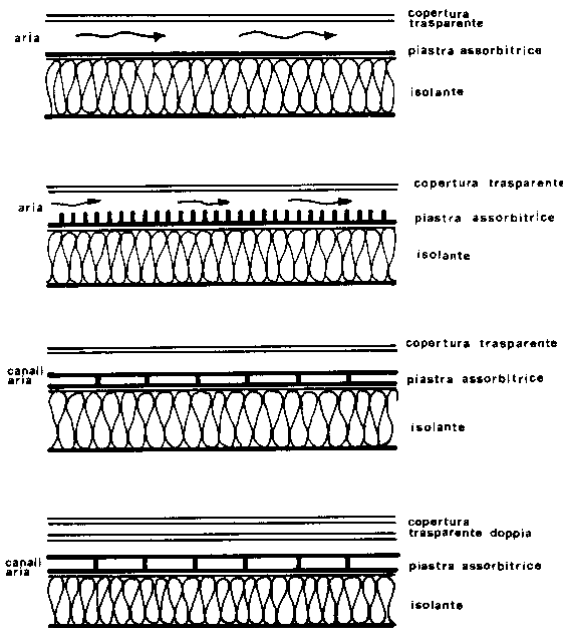


Figura 2.5 - Collettori ad aria. [16]

utilizzabilità per il riscaldamento degli ambienti, nessun problema di corrosione o congelamento, la semplicità dei sistemi di controllo; fra gli svantaggi, il minore aumento della temperatura del pannello e il ridotto scambio termico con la piastra per il basso calore specifico dell'aria, che comporta un basso rendimento del pannello. Per aumentare lo scambio termico bisogna imporre un moto turbolento all'aria che circola nel collettore, dando un profilo frastagliato e ruvido alla piastra assorbente,

badando però a non indurre grosse perdite di carico da compensare con potenti ventole; un altro metodo può essere quello di far circolare l'aria in una piastra cava, lasciandola espandere in condotti trasversali rispetto al moto naturale, per poi raccoglierla lateralmente (fig. 2.5).

Per incrementare l'efficienza dei collettori, oltre ad utilizzare una superficie selettiva per la piastra, si può praticare il vuoto fra la piastra e la copertura: è una soluzione poco adottata per i collettori piani (problemi di fragilità e tenuta stagna), mentre è molto diffusa per i tubi a vuoto (fig. 2.6), che sono dei tubi di vetro in cui vengono inserite delle lamine di materiali selettivi; posteriormente a queste, dei tubi metallici in cui scorre un fluido bassobollente (dannosi i CFC, si utilizza pentano o a volte acqua) asportano il calore verso uno scambiatore posto in cima alla serie di tubi a vuoto. Il sistema è molto reattivo ed efficiente (vedi fig. 2.7), risente poco delle



Figura 2.6 - Serie di tubi evacuati (alcuni sono girati per mostrare il tubo bicavo del fluido termovettore).

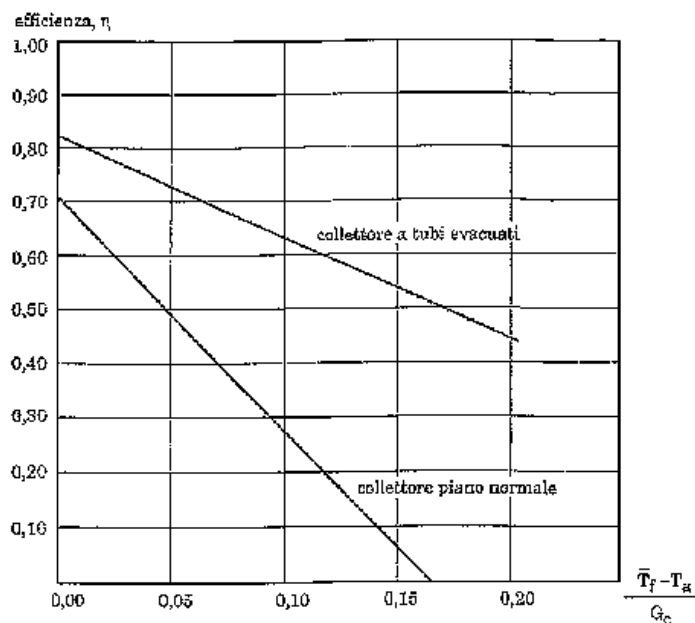


Figura 2.7 - Comparazione dell'efficienza di un collettore a tubi evacuati e di un collettore piano. [5]

temperature rigide e per la potenza che può fornire è indicato per gli impianti che integrano il riscaldamento domestico .

L'integrazione dei pannelli solari (come pure dei moduli fotovoltaici, come vedremo al capitolo 3) nell'architettura degli edifici è sempre stata una questione problematica, per ragioni di superficie e di estetica.

Recentemente, i produttori di pannelli hanno smesso di ignorare il problema, lanciando sul mercato pannelli di aspetto sempre più gradevole, dalle forme più svariate, che possono essere posti in opera sui tetti piani senza occupare troppa superficie, o che somigliano a grossi lucernari sugli spioventi (fig. 2.8); alcuni, costruiti su misura, prendono il posto dei parapetti dei balconi esposti a sud.

Il problema si intreccia con quello dei moduli fotovoltaici, se si vuole integrare un sistema di tubazioni sul retro dei moduli di celle al silicio cristallino, per asportare calore (fino a 2 kWh_t per kWh_{el}) ed aumentare così il loro rendimento.

Per l'ingombro nullo e la praticità di utilizzo sono imbattibili le soluzioni che utilizzano le superfici finestrate

esposte a sud per riscaldare acqua nell'intercapedine interna di un infisso a triplo vetro: purtroppo l'impianto è costoso, fragile e richiede una circolazione forzata, essendo obbligatorio l'uso di condotti flessibili di ridotto diametro; può andare meglio se si rendono inamovibili gli infissi.

In generale, si tende ad evitare l'utilizzo di apposti sostegni metallici (che hanno il loro costo, anche di manutenzione) e si cerca di utilizzare le chiusure esterne degli edifici per fissarvi i pannelli solari, che avranno forme e condotti di basso impatto visivo: l'insieme di questi accorgimenti, unitamente alle agevolazioni finanziarie di legge, rendono la committenza sempre più disposta verso l'impianto solare, sia su edifici esistenti (impianti *retrofit*) che nuovi.



Figura 2.8 - Pannelli su una scuola elementare di Lecce
(foto: Costruzioni Solari srl).



Figura 2.9 - Pannelli solari su tetto piano (Istituto Alberghiero - Potenza).

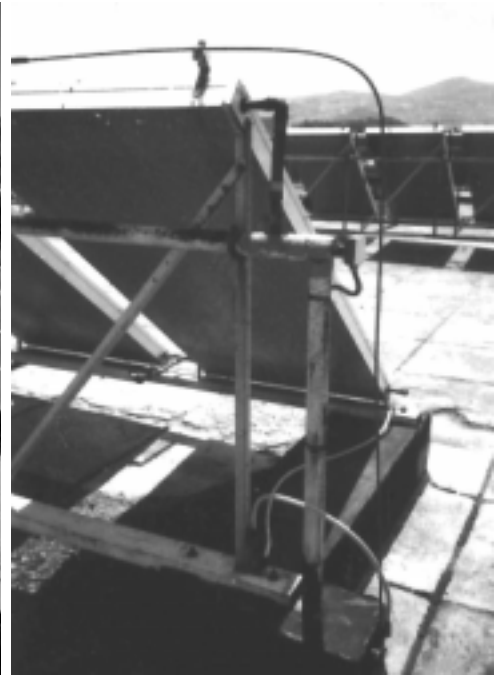


Figura 2.10 - Particolare dei tubi in uscita da una serie dei pannelli di fig. 2.9.



Figura 2.11 - Particolare di uno dei collettori di fig. 2.9 e tubo di mandata della serie.

2.2 TECNOLOGIE ED IMPIANTI PER IL SOLARE TERMICO

Gli impianti solari per la produzione di acqua calda sanitaria e/o il riscaldamento di edifici, che utilizzino collettori a liquido o ad aria, non sono in grado di fornire l'intero fabbisogno di una utenza media: ciò per lo sfasamento fra richiesta e disponibilità di energia solare e l'alternarsi delle stagioni, a meno che non si disponga di un accumulatore interstagionale a calore sensibile (massa riscaldata in estate che cede calore in inverno) o latente (sali liquidi che solidificano cedendo calore). La radiazione solare può essere immagazzinata anche sotto forma di idrogeno, ma questo è un aspetto del problema "conservazione dell'energia solare" che affronteremo al §3.4.

Si è già accennato alla classificazione principale degli impianti a seconda del fluido termovettore: concentriamo l'attenzione sugli impianti a vettore liquido.

L'impianto più semplice è quello a circolazione naturale (o a termosifone) (fig. 2.12), che può essere utilizzato ogni volta che si riesce a porre il serbatoio d'accumulo al di sopra dei collettori (l'acqua calda vi sale per differenza di densità rispetto all'acqua di rete).

Essendo abbastanza rari questi casi, gli impianti a circolazione forzata (fig. 2.13) sono più diffusi: a volte dispongono di un serbatoio di preriscaldamento che permette ai collettori di lavorare su una differenza di temperatura minore, con beneficio per la loro efficienza; sempre, hanno una valvola di non ritorno a monte dei collettori ad evitare

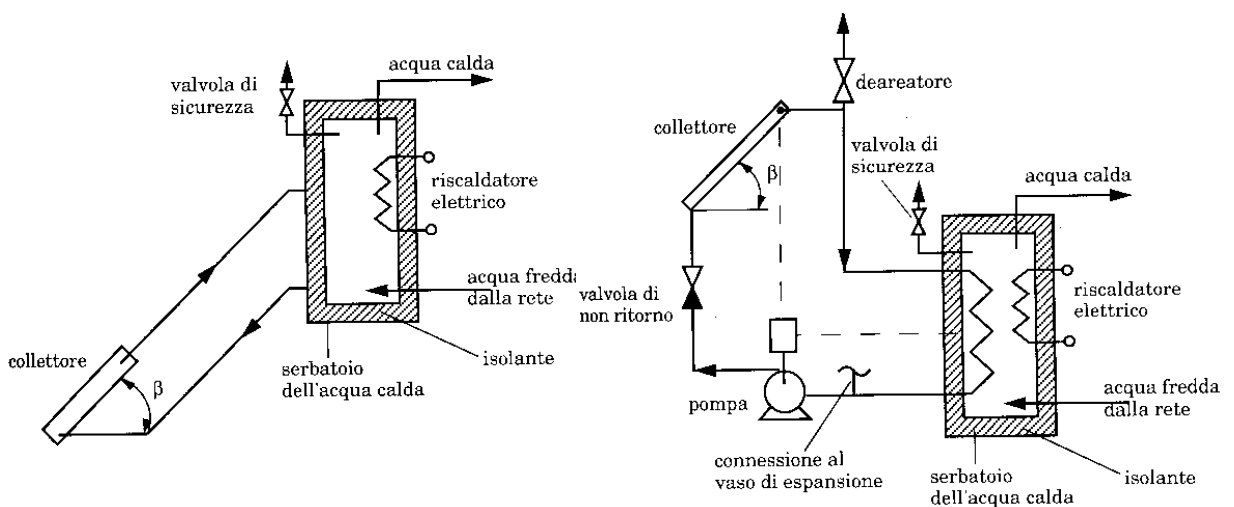


Figura 2.12 - Impianto a circolazione naturale. [5]

Figura 2.13 - Impianto a circolazione forzata. [5]

l'inversione della circolazione durante le ore notturne, ed un termostato differenziale che avvia la pompa appena la temperatura dell'acqua nei collettori supera quella del serbatoio di un certo valore fissato.

La soluzione con serbatoio di preriscaldamento (fig. 2.14) disposto in serie al principale è ideale quando c'è pericolo di congelamento a livello dei collettori, e si deve usare una miscela anticongelante (di solito acqua e glicole) come fluido vettore, o in tutti quei casi in cui non è possibile mandare ad utilizzo il fluido che circola nei collettori.

L'impianto ausiliario di integrazione (elettrico, a pompa di calore, a caldaia o a cella a combustibile), utile soprattutto a coprire il carico richiesto dal riscaldamento, può essere variamente collocato rispetto a quello solare: si può porre in serie (fig. 2.15), in parallelo (fig. 2.16), o può rifornire d'acqua calda lo stesso accumulatore dell'impianto solare (fig. 2.17); ancora, ne può essere del tutto indipendente (fig. 2.18), rifornendo un serbatoio cui fanno capo corpi scaldanti diversi da quelli utilizzati dall'impianto solare: è il caso più comune quando l'impianto solare viene posto in opera in un edificio esistente.

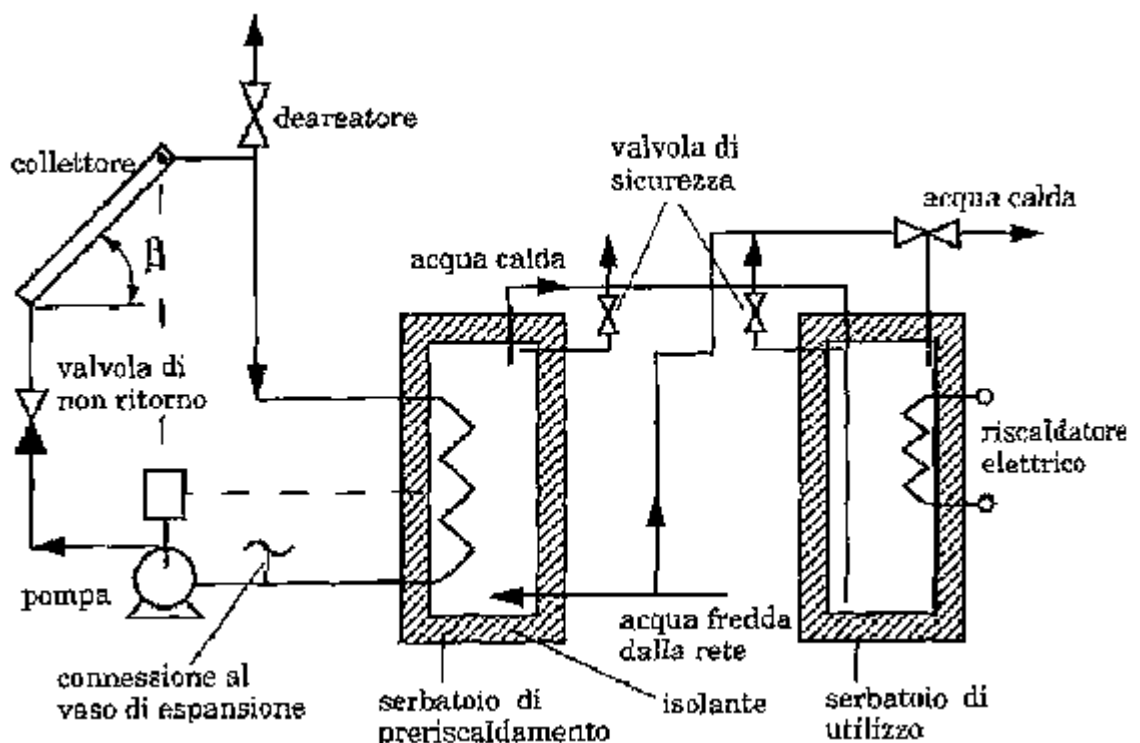


Figura 2.14 - Impianto a circolazione forzata con due serbatoi in serie. [5]

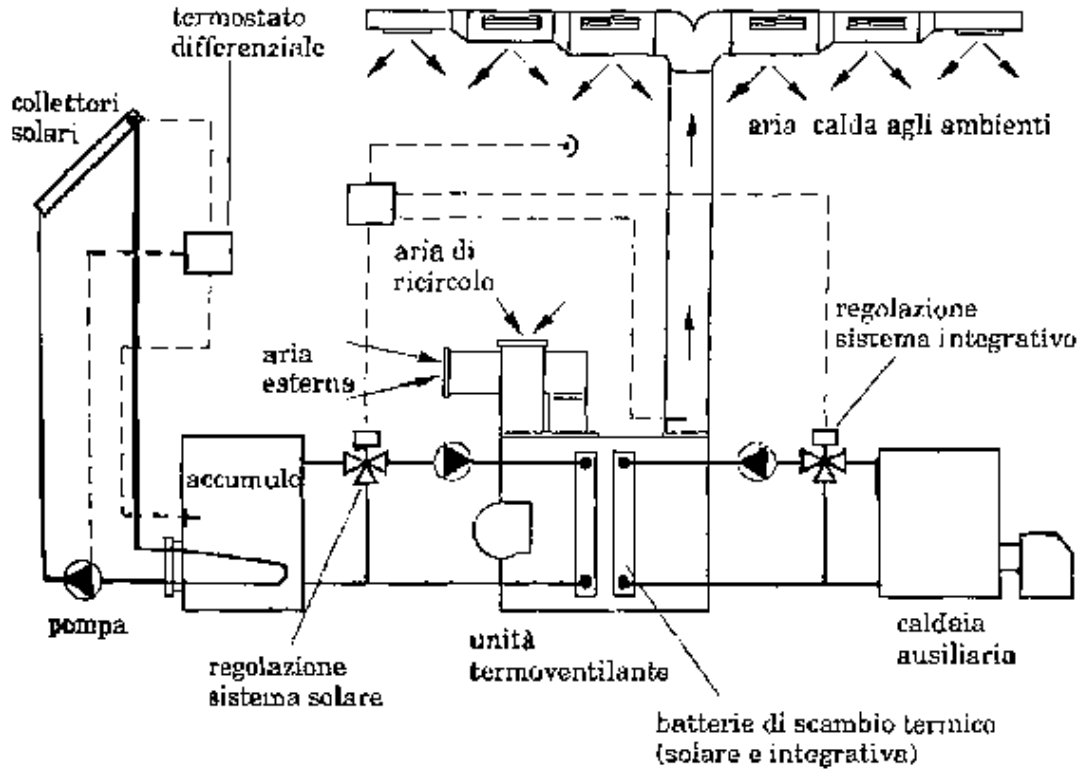


Figura 2.15 - Impianto di termoventilazione con doppia batteria in serie [5].

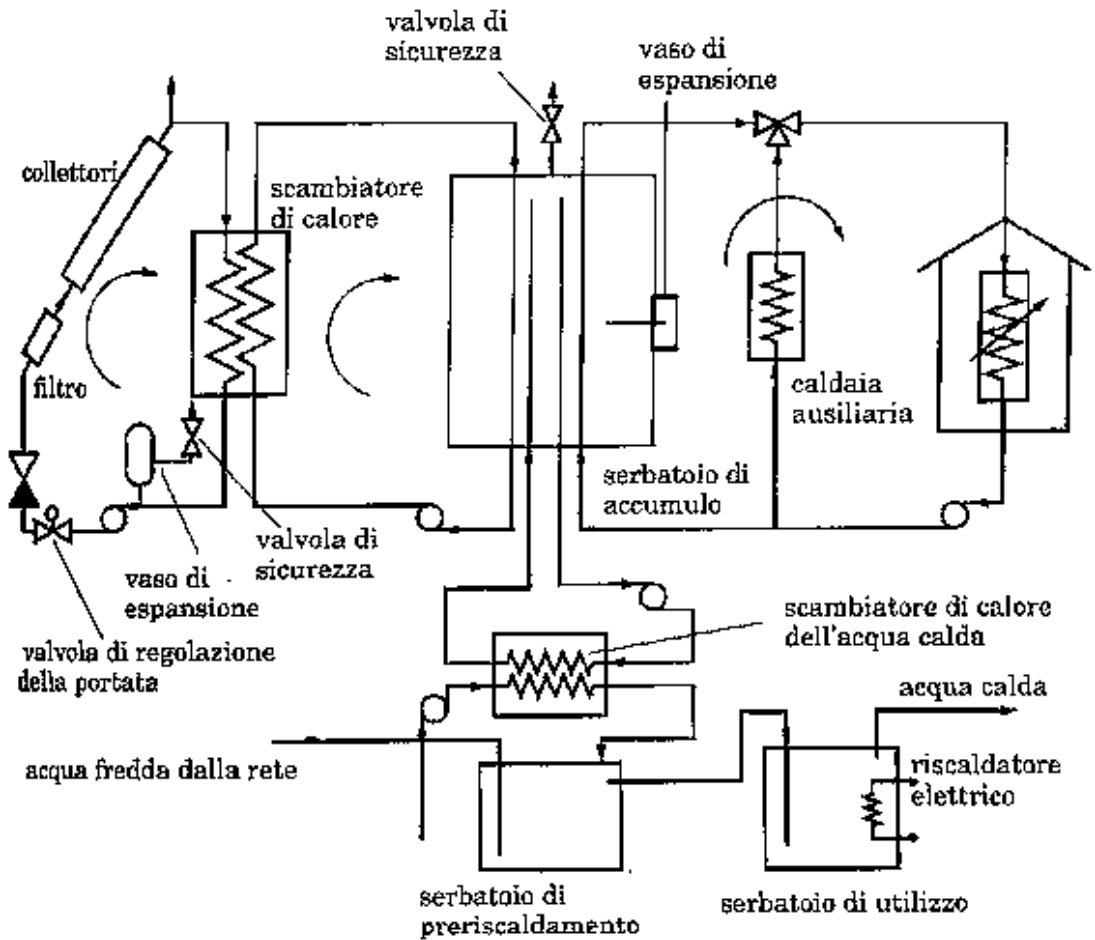


Figura 2.16 - Doppio impianto di riscaldamento ed acqua calda sanitaria in parallelo [5].

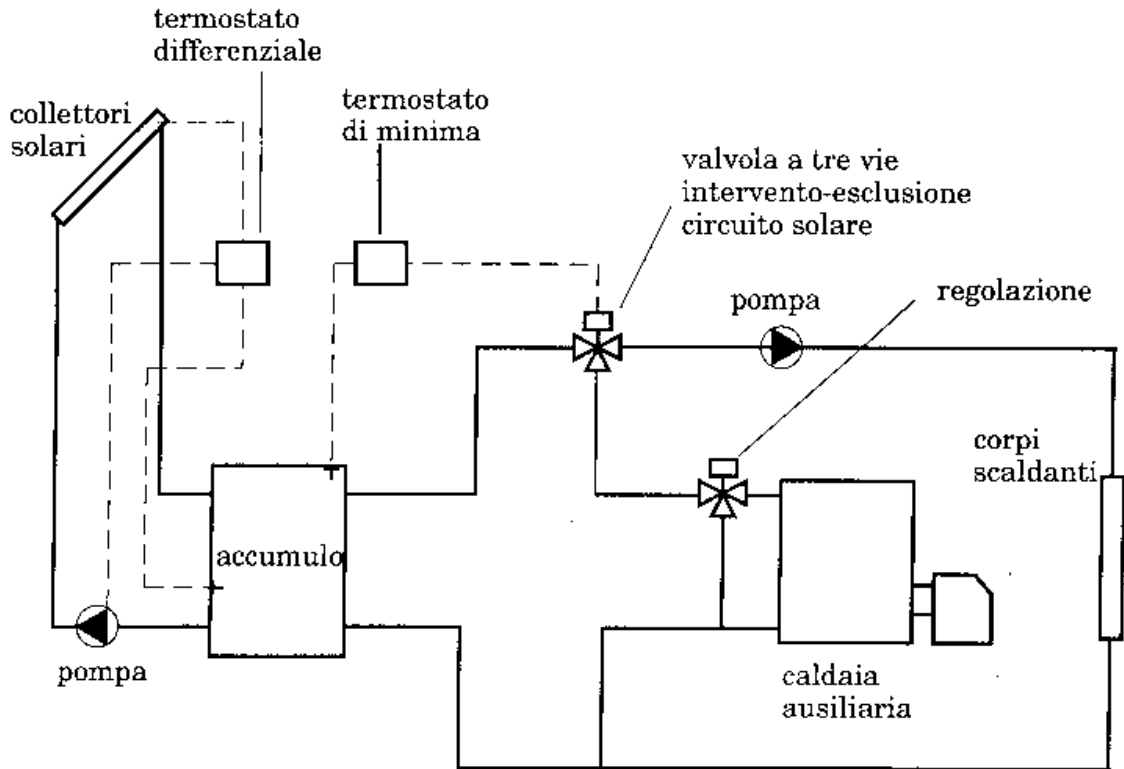


Figura 2.17 - Doppio impianto di riscaldamento con accumulatore in comune [5].

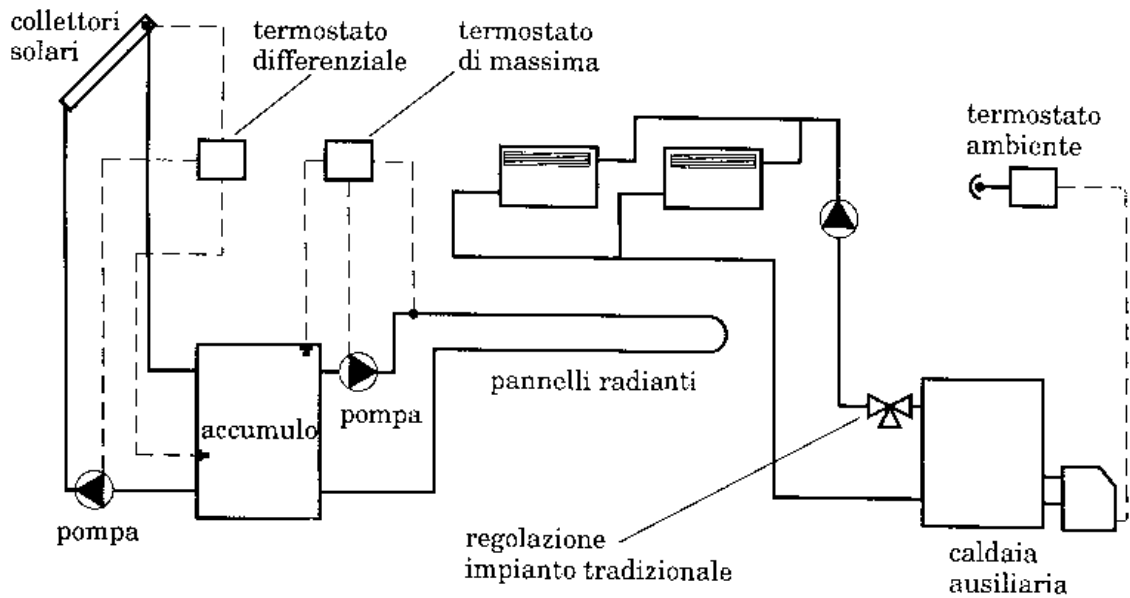


Figura 2.18 - Impianto solare ed impianto di integrazione indipendenti [5].

In quest'ultimo caso, più che per gli impianti progettati *ex novo*, può essere vantaggioso utilizzare un impianto ad aria, anche se l'efficienza istantanea di un collettore ad acqua è generalmente più alta, a parità di temperatura di ingresso del fluido: la convenienza va valutata caso per caso, a seconda dell'interazione con l'intero sistema di gestione energetica dell'edificio e delle esigenze dell'utenza; è comunque raro per gli impianti ad aria che l'accumulatore sia una massa d'acqua, a causa della bassa efficienza dello scambio termico aria-acqua: si preferiscono grandi masse solide di elevata capacità termica e grande superficie di scambio, come ad esempio un letto di pietre in una fondazione scatolare coibentata.

I punti più deboli dell'impianto ad aria sono i maggiori costi per il trasporto del fluido (potenza del ventilatore fino al 100% maggiore di quella richiesta da una pompa per liquido) e per posa in opera ed isolamento dei condotti (più grandi): come vedremo al capitolo 4, queste difficoltà vengono a cadere utilizzando grandi superfici vetrate come "collettori anomali".

Se non si dispone o non si ha budget sufficiente a realizzare un letto di pietre, si ricorre all'impianto ad aria senza accumulo, da utilizzare solo se la temperatura dell'aria nei collettori lo permette (fig. 2.19): l'impianto solare serve così solo a risparmiare combustibile nelle giornate invernali soleggiate.

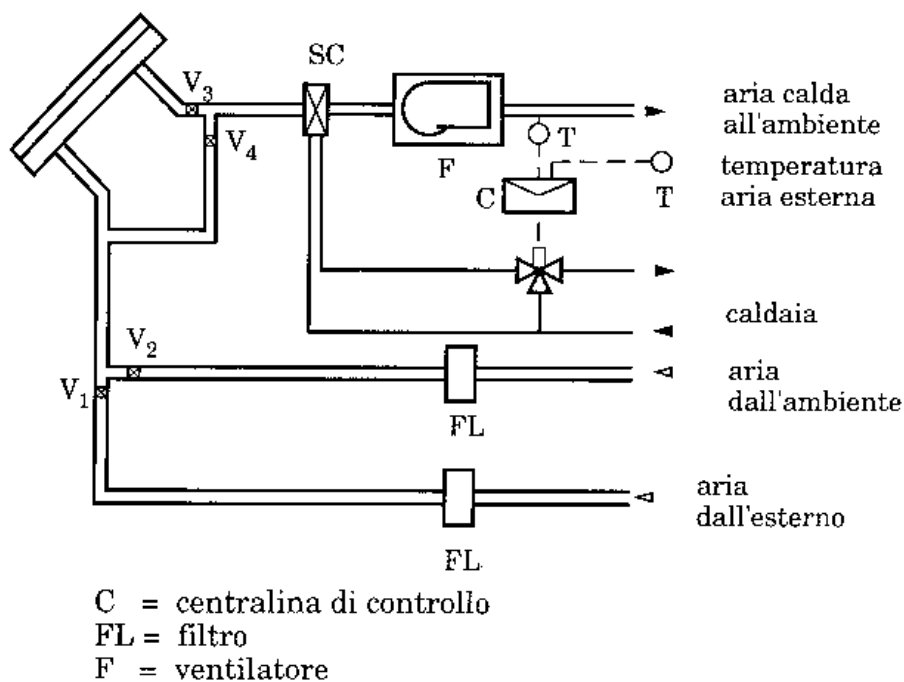


Figura 2.19 - Impianto ad aria senza accumulo con caldaia in serie. [5]

Un impianto ad aria che invece fornisce calore ad un letto di pietre è in grado di immagazzinare l'energia intercettata e non richiesta per fornirla quando c'è richiesta ma i collettori sono freddi: l'aria calda aspirata dall'accumulatore può essere utilizzata direttamente per il riscaldamento degli ambienti (fig. 2.20) e/o per la produzione di acqua calda (fig. 2.21) tramite uno scambiatore aria-acqua.

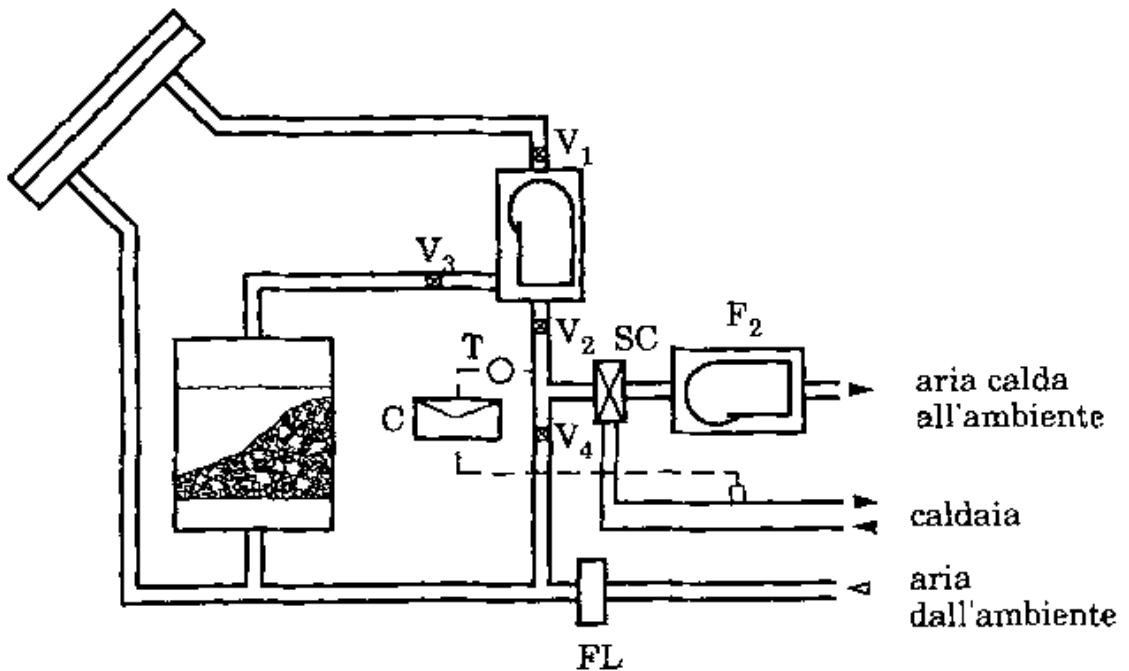


Figura 2.20 - Impianto ad aria con accumulatore e caldaia in serie. [5]

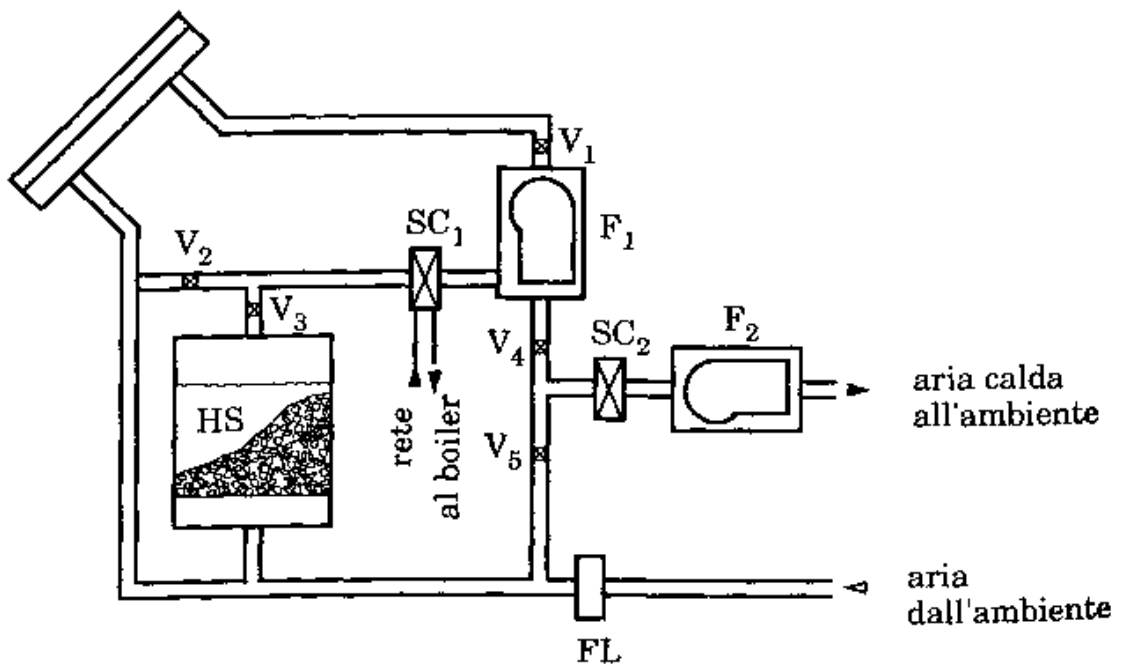


Figura 2.21 - Impianto ad aria con accumulatore, boiler (SC₁) e caldaia (SC₂) in serie. [5]

Il dimensionamento del letto di pietre deve tener conto della potenza dispersa dall'edificio durante l'inverno e delle caratteristiche dei collettori e dei condotti; i ciottoli devono essere compatti (la densità elevata aumenta il rendimento dell'accumulatore) e di diametro 2÷5 cm (più piccoli offrono troppa resistenza al flusso d'aria, più grandi lasciano troppi vuoti che non accumulano calore).

Il principale parametro dell'accumulatore è il **coefficiente di scambio termico per unità di volume** h_v ($W/m^3\text{°C}$), che può essere ricavato dalla relazione empirica³

$$h_v = 650 \left(\frac{G}{D} \right)^{0.7}, \quad (2.11)$$

dove D è il diametro medio dei ciottoli e G è la velocità di massa dell'aria (portata di aria per unità di area frontale del letto).

L'energia termica accumulabile è esprimibile come

$$Q_a = M \cdot c_p \cdot (T_{\max} - T_{\min}), \quad (2.12)$$

dove le temperature si riferiscono al fluido: T_{\min} è la temperatura minima alla quale viene asportato il fluido che va ai pannelli dal fondo dell'accumulatore, T_{\max} è la massima temperatura compatibile con i materiali dell'impianto; M è invece il peso del letto di pietre. Confrontando il Q_a dello stesso serbatoio pieno d'acqua e pieno di pietre, si ottiene quasi sempre un rapporto di tre a uno (a favore quindi dell'acqua).

Per lo studio del comportamento dinamico reale dell'accumulatore a letto di pietre e per la determinazione dei profili di temperatura nelle pietre e nell'aria, è necessario risolvere il sistema delle equazioni differenziali di bilancio termico, che si riduce ad un'unica equazione, più facilmente risolvibile con il metodo delle differenze finite, nel caso in cui l'accumulatore abbia un **numero di unità di trasferimento NTU**⁴ elevato (cioè si possono assumere uguali, in ogni punto ed istante, la temperatura di aria e pietra).

L'immagazzinamento a calore latente (il calore è assorbito dalla fusione di sali idrati, e restituito dalla ricristallizzazione) è costoso (la sostanza non è economica e dopo un

³ Löff e Hawley (1948)

⁴ $NTU = \frac{h_v V_s}{(m \cdot c_p)_a}$

certo numero di cicli deve essere sostituita) e dà problemi di manutenzione per corrosione del contenitore, ed è caduto in disuso.

I metodi di progettazione di un impianto a collettori, ad aria o a liquido, sono numerosi e nativi di varie parti del mondo: sopravvivono nella pratica professionale quelli implementati da *software* per elaboratore elettronico. Le preferenze dei progettisti vanno verso quei programmi più maneggevoli e più attenti all'esigenza di poter cambiare i vari componenti degli impianti per trovare velocemente una configurazione soddisfacente: fra questi, cito i vari programmi che sfruttano il metodo delle *f-charts* (basato sui risultati di numerose simulazioni dinamiche di impianti di riferimento) ed il TRNSYS, entrambi sviluppati dal SEL (Solar Energy Laboratory) dell'Università del Wisconsin a Madison (USA).

Il TRNSYS (TRaNsient SYstems Simulation program) è un programma al quale la modularità può assicurare una longevità ancora non valutabile: le sue *subroutines* sono scritte in linguaggio di programmazione FORTRAN, molto simile al semplice BASIC e conosciuto fra i tecnici anche non informatici, che possono quindi sviluppare, sulla base acquisita, un programma molto personalizzato sulle loro esigenze. Le librerie di componenti impiantistici sono integrabili direttamente dall'interfaccia grafica del programma, senza dover costruire *subroutines* descrittive.