

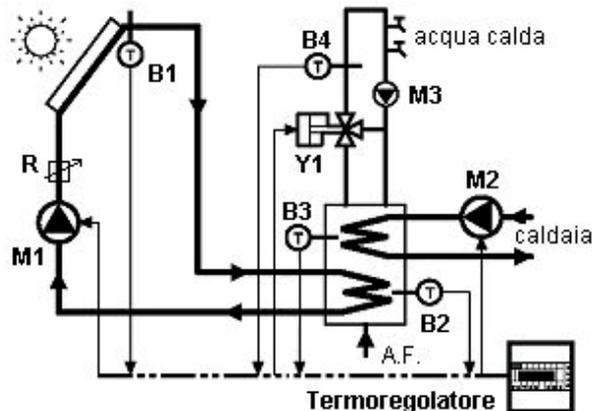
# Collegio dei Periti Industriali della Provincia di Genova

## ENERGIA SOLARE

Impieghi pratici per usi termici ed elettrici

Relatore: per.ind. Russo Gaetano Fabio

Genova, 23 Settembre 2006



# **PARTE 1**

## **MOTIVAZIONI ALL'IMPIEGO DELL'ENERGIA SOLARE**

- L'analisi economica
- La riduzione delle emissioni inquinanti
- L'integrazione architettonica
- Solare ed obblighi di legge: il Dlgs 192/05
- Incentivi economici per il solare termico
- Incentivi economici per il solare fotovoltaico

# Unità di misura del SI

Nonostante da oltre 20 anni sia obbligatorio l'uso delle unità di misura del Sistema Internazionale (Direttiva CEE 71/354 recepita in Italia con il DPR 802/82) il Sistema Tecnico è ancora largamente diffuso e ciò costringe a destreggiarsi ancora con un gran numero di unità di misura a tutto scapito della semplificazione nelle comunicazioni tecniche e scientifiche.

Grazie al Sistema Internazionale sono stati eliminati termini che spesso creavano confusione, ad esempio il termine "specifico" alquanto generico è ora meglio precisato con i termini "lineico", "areico", "volumico" o "massico", a seconda che si tratti di grandezza riferita alla lunghezza, alla superficie, al volume o alla massa. Così ad esempio il "calore specifico" è diventato "calore massico" o "calore volumico" a seconda che sia riferito alla massa o al volume, il rapporto tra la massa di un corpo e il suo volume si denomina "massa volumica" mentre il termine densità deve essere usato unicamente per indicare il rapporto tra la massa volumica di un corpo e quella di un corpo di riferimento, ottenendo un valore adimensionale essendo un rapporto relativo. Anche le potenze termotecniche kcal/h (per il caldo) o la frig/h (per il freddo) utilizzate nel vecchio ST sono da sostituirsi con il Watt (1kcal/h=1frig/h=1,163W) mentre l'energia termica in kcal o frig è da sostituirsi con il kJ o con il Wh (1kcal=1kfrig=1,163Wh=4,186kJ).

Inoltre nella scrittura di nomi e simboli derivati da quozienti di più unità si può ricorrere all'uso degli esponenti negativi al posto del simbolo di frazione, ciò consente di scrivere l'unità di misura su un'unica riga come semplice prodotto di fattori. Ecco un esempio:

$$\text{Trasmittanza termica lineica} = \Phi = W / K = W \cdot K^{-1}$$

$$\text{Trasmittanza termica areica} = U = W / m^2 \cdot K = W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

Per contro le unità di misura del SI talvolta non risultano proporzionate all'entità delle grandezze da misurare nella pratica tecnica, originando per lo più numeri troppo grandi per esempio per misure di pressione il Pascal (Pa) del SI risulta 9,81 volte superiore al mmCA del ST, così pure l'energia termica in Joule (J) risulta 4186 volte maggiore della kcal, o anche la misura del tempo in secondi (s) aumenta di 86000 volte l'unità in ore utilizzata nel ST. Inoltre altre unità sono di dubbia utilità come per esempio il grado Kelvin (K) rispetto al grado Celsius (°C). L'impiego del SI in alcuni campi della tecnica, come per esempio in Elettrotecnica, non ha causato particolari stravolgimenti mentre nel campo Termotecnico il cambiamento è stato notevole, ecco quindi a scanso di equivoci, le unità termiche derivate dal SI che verranno utilizzate:

Grandezza	Simbolo	Unità misura	Definizione
Irradiazione	I	kJ o Wh	Energia elettromagnetica assorbita
Irradianza unitaria	H	W/m <sup>2</sup>	Energia unitaria (potenza) incidente 1m <sup>2</sup> in 1 ora
Irradianza totale	H <sub>mese</sub>	Wh/m <sup>2</sup> mese	Energia incidente 1m <sup>2</sup> nel tempo definito (giorno, mese o anno)

NOTA: Spesso si utilizza anche il termine **radianza** in luogo di **irradianza**. Per rigore si dovrebbe utilizzare radianza se l'energia luminosa viene emessa ed irradianza se l'energia viene assorbita.

Per l'energia termica viene spesso utilizzato il Wh anziché lo Joule in modo da avere valori di energia contabilizzati in unità di ore anziché in secondi, difatti:

$$1W = 1J/1s \text{ quindi} \\ 1Wh = 1W \times 1h = (1J/1s) \times 3600s = 3600J$$

# L'Analisi Economica

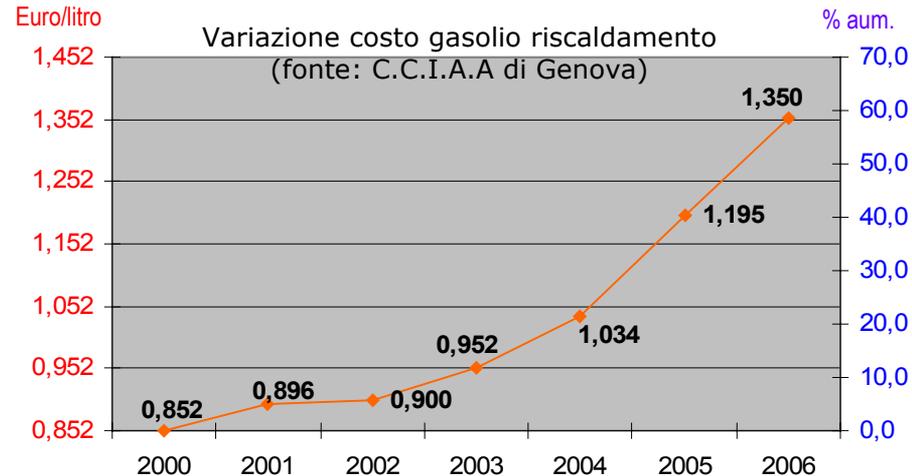
## L'aumento dei costi del combustibile

La principale motivazione che spinge gli utilizzatori a prendere provvedimenti per ridurre i consumi energetici è il risparmio economico che può conseguire da un intervento di miglioramento energetico.

Risparmiare energia significa infatti risparmiare denaro. Per avere un'idea dell'aumento del costo dell'energia basta osservare il grafico sottostante che riporta l'andamento dei prezzi del gasolio rilevato dalla Camera di Commercio di Genova negli ultimi 6 anni.

Una lettura attenta del grafico porta a considerare che oggi per mantenere la stessa spesa del 2000 si dovrebbero ridurre i consumi del 60%!!

Ciò porta ad una importante considerazione: non solo è necessario ridurre i consumi ma è anche necessario cercare nuove forme di approvvigionamento energetico!



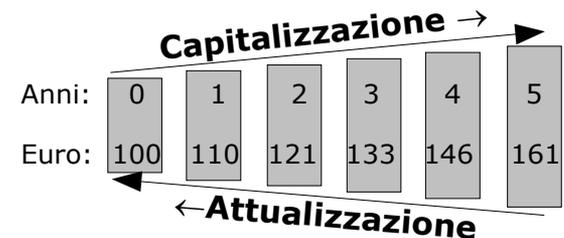
## La variazione nel tempo del valore del denaro

Gli interventi di risparmio energetico normalmente richiedono investimenti rilevanti e gli effetti del risparmio hanno una durata temporale che copre molti anni. Su periodi così lunghi l'analisi economica deve necessariamente utilizzare i metodi propri della matematica finanziaria.

Per prima cosa è bene comprendere la variazione nel tempo del valore del denaro. Questa variazione può essere vista come progressione temporale dal presente al futuro (es: capitalizzazione dei costi) o inversamente come regressione temporale dal futuro al presente (es: attualizzazione dei risparmi futuri).

Ecco un esempio di variazione negli anni  $n$  del valore del denaro al tasso  $i=10\%$ :

$$\text{valore futuro } Vf = Va \cdot (1 + i)^n$$



$$\text{valore attuale } Va = Vf \cdot \frac{1}{(1 + i)^n}$$

## Il "Tempo di Ritorno" degli investimenti

Il metodo del "Tempo di Ritorno" è un criterio che consente di valutare in quanto tempo si ha il pareggio tra costi di investimento e il risparmio conseguente.

La formula nella **forma semplice**, che non tiene conto della variazione nel tempo del valore del denaro, si riduce

$$a: \quad TR = \frac{\text{Investimenti}}{\text{Ricavi}}$$

Dove: **I**= costo dell'investimento (Euro), **Rm**= il risparmio monetario annuale (Euro), **ib** il costo del denaro al tasso medio bancario (interessi attivi+passivi/2) e **if** è il tasso di inflazione, ovvero di aumento dei costi energetici.

Mentre nella **forma "attualizzata"**, che tiene conto dei tassi di interesse ed inflazione diventa:

$$TR = \frac{\ln\left[1 - \left[\frac{I}{Rm_1} \cdot \frac{ib - if}{1 + if}\right]\right]}{\ln\left|\frac{1 + if}{1 + ib}\right|}$$

## Il Valore Attuale Netto (VAN)

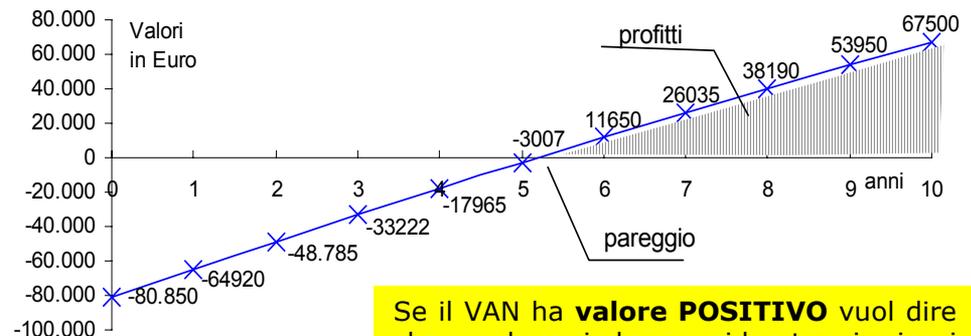
Il metodo del VAN è un criterio molto più sofisticato e preciso di valutare la convenienza degli investimenti rispetto a quello del tempo di ritorno, in quanto consente di **quantificare il risparmio accumulato** dall'investimento in un determinato numero di anni presi come riferimento.

In sostanza il VAN calcola la successione dei ricavi per un numero stabilito di anni, in modo da attualizzare il totale dei ricavi per poterlo detrarre dai costi attuali (ovvero il denaro disponibile in futuro viene reso equivalente al valore attuale dei costi)

mediante la seguente formula:  $VAN = (Rm \cdot fa) - I$  formula per calcolo da tabelle "fa"

Con l'ausilio del calcolatore il VAN si calcola con:  $VAN = \left[ Rm_1 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{(1 + ib - if)^i} \right] - I$  formula per calcolo analitico

Il VAN effettua la capitalizzazione del Risparmio medio annuale (Rm) per un determinato numero di anni (n), al tasso bancario (ib) diminuito del tasso di inflazione (if), graficamente assume il seguente aspetto:



Il vero problema non è l'analisi finanziaria ma acquisire buona esperienza per l'analisi tecnica, indispensabile per determinare con precisione l'entità del risparmio monetario Rm, ovvero i ricavi conseguenti gli interventi di risparmio energetico.

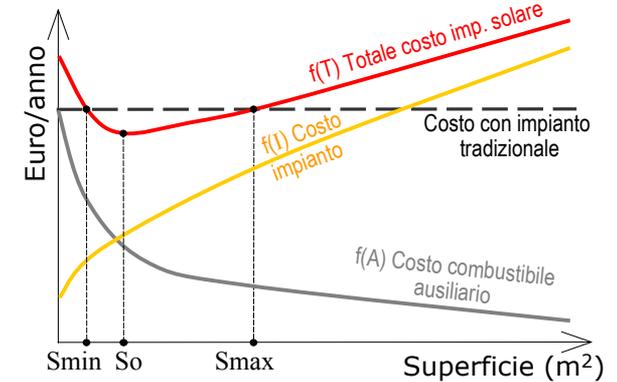
Se il VAN ha **valore POSITIVO** vuol dire che, nel periodo considerato, i ricavi superano i costi, mentre con VAN negativo si ha una perdita economica.

## Il metodo dei minimi costi

Un altro metodo di valutazione economica è quello dei minimi costi. Questo metodo consiste nel costruire una funzione  $f(T)$  data dalla somma tra i costi dell'impianto  $f(I)$  e quelli dovuti all'integrazione termica ausiliaria  $f(A)$ , prendendo la superficie ( $s$ ) dei pannelli come indicatore di riferimento. La massima economicità (punto  $S_0$ ) si ha ponendo a zero rispetto a "s" la derivata prima della funzione  $f(T)$  ottenuta come somma dei costi dell'impianto solare, ovvero:

$$f(T) = f(I) + f(A) \rightarrow f' \left( \frac{dT}{ds} \right) = 0$$

Mentre i punti di minima e massima superficie conveniente sono dati dall'intersezione della curva dei costi totali dell'impianto solare con la retta rappresentante il costo del vecchio impianto tradizionale.



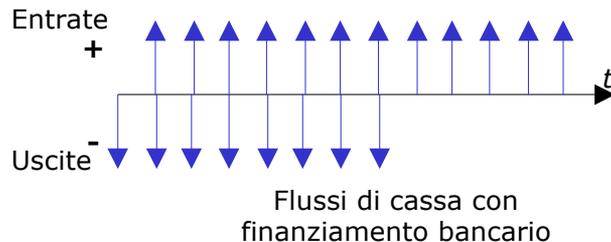
## Prestiti per il risparmio: spendere per guadagnare

Normalmente quando negli edifici civili si effettuano interventi di ristrutturazione ciascun proprietario contribuisce alle spese prelevando dal proprio conto corrente.

Questo metodo è possibile e conveniente solo quando si dispone di risorse economiche che fruttano interessi inferiori a quelli applicati dal prestito bancario e quindi è più conveniente utilizzare capitali propri che ricorrere al prestito.

Però negli ultimi anni si registra un fenomeno, che in Italia è stato definito "effetto Euro", in cui è aumentata la povertà sociale e diminuiti gli interessi bancari sui prestiti (il tasso medio Euribor del 2002-2006 è del 3%).

La condizione di indisponibilità finanziaria non deve scoraggiare a priori gli interventi di risparmio energetico ma semplicemente richiede una diversa analisi di investimento tipica del settore industriale, in cui si ricorre a forme di prestito (tipicamente il *Leasing*), in cui da una successione di costi (rate) si ha una successione di ricavi ( $R_m$ )



In sostanza se non disponiamo di capitali dobbiamo ricorrere al prestito bancario, il quale dopo l'Euro si è dimostrato più stabile e conveniente.



# Riduzione delle emissioni inquinanti

L'accordo di Kyoto del 17 Dicembre 1997 pone come impegno la riduzione dell'8% delle emissioni di CO<sub>2</sub> entro 10 anni, obiettivo assunto dalla Comunità Europea e recepito dall'Italia con l'art.8 della Legge 448/98. Purtroppo nonostante le buone promesse, le emissioni di inquinanti in Italia sono aumentate del 7%.

Emissioni 2005 (in tonnellate)					
Città	CO	NH <sub>3</sub>	NO <sub>x</sub>	PM10	SO <sub>x</sub>
TO	57.192	142	7.908	1.017	961
GE	86.833	151	15.517	2.443	14.311
MI	89.429	339	14.005	1.312	2.530
VE	36.276	1.609	18.049	2.137	24.182
TS	40.679	40	4.139	823	2.841
BO	24.154	113	4.763	503	247
FI	23.828	59	3.512	389	373
RM	232.212	1.640	34.200	3.488	5.863
NA	98.094	195	12.685	1.388	5.604
BA	31.989	78	4.626	518	3.032
PA	48.269	140	6.695	659	1.202
ME	40.625	141	32.236	1.840	31.829
CT	26.881	121	4.140	477	558
CA	19.851	24	3.044	329	1.393

Il rapporto ambientale 2005 redatto dall'APAT ([www.apat.gov.it](http://www.apat.gov.it)) presenta Genova tra le città più inquinate con il 30% delle emissioni di inquinanti dovute agli impianti di riscaldamento invernale.

L'impianto solare consente una riduzione dell'emissione di inquinanti proporzionale alla quantità di energia termica prodotta, ovvero al mancato impiego dell'impianto tradizionale a combustibile fossile (nafta, gasolio, GPL, metano, Pellets, ...) che altrimenti avrebbe scaricato in atmosfera inquinanti come l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), Ossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), Ossidi di Zolfo (SO<sub>x</sub>), polveri sottili (PM10), ecc....

La tabella sottostante, elaborata dai dati contenuti nella bozza 01/2002 del "Manuale dei fattori di emissione Nazionali" dell'ANPA, indica i valori medi di inquinanti emessi per ogni GJ di energia prodotta per usi termici non industriali:



Inquinante		Metano	GPL	Gasolio	O.C. BTZ	Legno	Carbone coke	unità misura
Ossido di carbonio	CO	0,025	0,01	0,02	0,016	7,5	5	kg/GJ
Anidride Carbonica	CO <sub>2</sub>	55,459	62,392	73,274	74,62	94,6	105,926	kg/GJ
Ossidi di Azoto	NO <sub>x</sub>	0,05	0,05	0,05	0,15	0,08	0,07	kg/GJ
Anidride Solforosa	SO <sub>2</sub>	0,001	n.d.	0,094	0,487	0,042	0,646	kg/GJ
Polveri	PM10	6,7	2	3,6	58,7	261	439	g/GJ
Diossina		n.d.	1,0	1,0	1,0	5,0	10,0	µTEQ/t

TEQ=Tossicità Equivalente: è il valore di equivalenza in grammi della diossina rilevata (ne esistono 210 tipi) rispetto a quella storica di Seveso; 1µg=0,000001g

Dagli indicatori sopraindicati, e ricordando che 1GJ=277.7kWh, la tabella sottostante ci da un'idea concreta degli inquinanti emessi annualmente per la produzione di ACS (20kWh/m<sup>2</sup>anno) e il riscaldamento di un tipico

edificio in classe D (90kWh/m<sup>2</sup>anno) ubicato in zona D (166 gg di riscaldamento) composto da 20 appartamenti da 100m<sup>2</sup> cadauno.

Inquinante		Metano	GPL	Gasolio	O.C. BTZ	Legno	Carbone coke	unità misura
Ossido di carbonio	CO	764	305	42	489	229.103	152.735	kg/GJ
Anidride Carbonica	CO <sub>2</sub>	1,7	1,9	2.238,3	2.279,4	2.889,7	3.235,7	t /GJ
Ossidi di Azoto	NO <sub>x</sub>	1.527	1.527	106	4.582	2.444	2.138	kg/GJ
Anidride Solforosa	SO <sub>2</sub>	31	n.d.	2.871	14.876	1.283	19.733	kg/GJ
Polveri	PM10	204,6	61,1	110	1.793	7.972	13.410	kg/GJ
Diossina		n.d.	30.547	30.547	30.547	152.735	305.470	µTEQ/t

# L'Integrazione Architettonica

Lo studio dell'integrazione dell'impianto solare nell'edificio, ed in particolare modo dei pannelli, è fondamentale non solo per ragioni estetiche ma anche per raggiungere l'ottimale funzionamento dell'impianto.

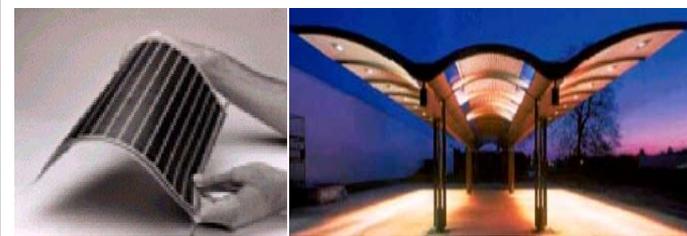
Purtroppo talvolta è necessario un compromesso tra questi due vincoli.

In edilizia un pannello solare può essere installato in sovrapposizione alle strutture ordinarie o nei casi di nuova installazione in sostituzione delle strutture edilizie ordinarie (tegole del tetto, intonaco di facciata, ecc..).

Purtroppo, come già accennato, severe norme estetiche locali possono impedire anche soluzioni innovative.

Sicuramente i pannelli fotovoltaici consentono una maggiore possibilità di integrazione rispetto ai pannelli termici, sia per il peso ridotto che per la maggior semplicità dei collegamenti elettrici rispetto a quelli idraulici. Inoltre nel fotovoltaico sono disponibili anche celle colorate, inserite in supporti flessibili o anche in vetri antisfondamento.

Coperture di pensiline, parcheggi all'aperto, ringhiere di balconi, verande, schermature acustiche, pareti di edifici industriali, agricoli o commerciali, sono solo alcuni esempi di integrazione architettonica.



## Solare ed obblighi di legge: Il Dlgs 192/05

Il decreto legislativo n° 192/2005 (*Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa alle prestazioni termiche degli edifici*) è la nuova normativa sul contenimento dei consumi energetici vigente in Italia dal 08/10/2005. Questa norma, per certi aspetti innovativa, è però incompleta, insufficiente e piena di incongruenze ciò è in parte dovuto al fatto che è stata rimaneggiata, rispetto alla stesura originale, da soggetti con interessi differenti (ambientalisti, costruttori, partiti politici, enti e varie associazioni di categoria pro e contro qualcosa) che nel togli e metti e rimpasta, ma soprattutto nella disperata corsa all'approvazione del Dlgs 192/2005 (atto del governo) entro la scadenza dei termini di 18 mesi imposti dal mandato parlamentare (art. 1 legge 306 del 31/10/2003) è venuta meno quella chiarezza necessaria per una norma così importante.

Fortunatamente nella stesura del Dlgs è stata adottata una "tecnica giuridica" tipica dei provvedimenti importanti che hanno valenza di legge, che è quella di dividere le finalità della legge dalle modalità operative (in allegati o DM). In questo modo gli allegati possono essere modificati con semplici Decreti del Ministro competente (MAP) by-passando l'iter parlamentare di cui invece necessita una eventuale modifica del testo della legge fondante. Si spera che i diversi decreti attuativi richiamati dal Dlgs 192/2005, di cui si attende ancora l'emanazione, regolamentino in modo efficace i consumi energetici, dato che non basta cercare di ridurre i consumi del 10-20% quando, oltre ai problemi ambientali, i costi dei combustibili aumentano di oltre il 50% ogni 5 anni.

Per ciò che concerne gli impianti ad energia solare le novità introdotte dal Dlgs 192/2005 sono contenute nell'allegato D (*Predisposizioni per l'integrazione di impianti solari termici e fotovoltaici negli edifici*), disposizioni rese già vigenti dai punti 13 e 14 dell'allegato I (*Regime transitorio per la prestazione energetica degli edifici*).

Ecco l'elenco delle disposizioni previste per gli edifici di nuova costruzione:

Dovrà essere riservata ai pannelli solari una superficie esterna con le seguenti caratteristiche:

- a) orizzontale o esposta verso il quadrante Sud-Est Sud Ovest per le pareti inclinate;
- b) dimensione pari al 25% della superficie in pianta dell'edificio;
- c) non ombreggiata nei mesi più sfavoriti, gennaio - dicembre, per più del 10% della superficie disponibile.

Deve essere predisposto un vano tecnico dove possano essere ospitati i componenti del circuito primario degli impianti solare termico e i dispositivi dell'impianto fotovoltaico.

Deve essere predisposto un cavedio di sezione opportuna per poter alloggiare condutture ed impianti di collegamento tra il vano tecnico e la zona di installazione dei pannelli.

Queste disposizioni riflettono un po' il quadro generale del Dlgs 192/2005: sono rese obbligatorie le opere di predisposizione sul solare ma non vi è l'obbligo di installazione. In altre parole c'è il contenitore ma non il contenuto, non resta che sperare che i decreti attuativi siano più incisivi, magari intervenendo anche sugli edifici esistenti, su cui gravano i maggiori consumi energetici.

## SOLARE TERMICO: GLI INCENTIVI REGIONALI

Il sistema di erogazione dei contributi in Italia è organizzato secondo la mala abitudine della erogazione "a pioggia", raramente si fanno graduatorie di merito, generalmente i primi che arrivano prendono tutto, inoltre i bandi hanno durata ridotta, fondi limitati e complicate procedure burocratiche.

Una seria politica energetica non dovrebbe erogare contributi in conto capitale (fondo perduto proporzionato al capitale speso) ma piuttosto semplificare l'iter delle autorizzazioni amministrative, consentire maggiori detrazioni fiscali ed erogare eventualmente solo contributi in conto interessi (contributo sugli interessi dovuti per eventuale accesso al credito bancario). Questa di incentivazione, più democratica e meno costosa per le casse dello Stato, è attualmente solo utopia, mentre nella sostanza ecco cosa ha stabilito la Regione Liguria:

*"La Regione Liguria con il provvedimento n.484 adottato dalla Giunta nella seduta del 19 maggio 2006 (B.U.R.L. n° 23/2006), ha approvato un bando di cui al decreto ministeriale del 24 luglio 2002 concernente la presentazione delle domande di contributo, per la realizzazione di interventi d'installazione di impianti solari termici per la produzione di acqua calda sanitaria, riscaldamento delle piscine, riscaldamento degli ambienti, destinando risorse per complessivi € 153.749,51.*

*Possono presentare domanda di contributo tutti i soggetti, pubblici e privati, proprietari della struttura cui si riferisce l'intervento o che siano autorizzati dal proprietario stesso;  
le domande presentate dai soggetti privati devono essere in bollo, sottoscritte dall'interessato e presentate unitamente a copia di un documento di identità del sottoscrittore;  
devono essere richiesti alle competenti Autorità tutti gli atti di assenso (autorizzazioni, concessioni, nulla osta ecc.) necessari per la realizzazione degli impianti solari termici;  
gli interventi vengono finanziati con un contributo in **misura del 25%** del costo di investimento ammesso non inclusivo dell'iva. In ogni caso il contributo totale non può superare la somma massima di **€ 25.000,00** ad intervento;  
la Regione provvede ad effettuare l'istruttoria delle domande (da trasmettere a lavori ultimati) con procedura valutativa a sportello e a concedere ed erogare in un'unica soluzione il contributo ai richiedenti, fino ad esaurimento dei fondi disponibili, seguendo l'ordine di spedizione delle stesse.*

*La domanda, deve essere trasmessa alla Regione Liguria - Ufficio Politiche dell'Energia - Via Fieschi 15 - 16121 Genova, **dal 7/07/2006 al 14/11/2006**".*

## SOLARE FOTOVOLTAICO: GLI INCENTIVI REGIONALI

Mentre per il solare termico il bando è aperto a tutti i soggetti pubblici e privati, quello per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili è limitato ai soli enti pubblici. La novità di questo bando è quello di introdurre per la prima volta anche altre forme di produzione dell'energia elettrica non esclusivamente da fonte solare come il mini idrico, il mini eolico, ecc..

Ecco cosa ha stabilito la Regione Liguria con il bando pubblicato sul B.U.R.L. n°30 del 26 luglio 2006:

*"La Regione Liguria intende incentivare gli **enti pubblici** all'autoproduzione di energia elettrica da piccoli impianti alimentati da fonti rinnovabili con potenza fino a 20 kW.*

*In merito, la Giunta regionale ha approvato un bando, riservato agli enti Pubblici, in cui si finanziano impianti per la produzione di energia che intendono avvalersi dello "**scambio sul posto**" dell'energia prodotta.*

*Tale meccanismo, che era già in vigore per l'energia elettrica prodotta da impianti fotovoltaici, viene ora **esteso** alla produzione di tutte le altre fonti rinnovabili (come il mini eolico, il mini-idro, etc.).*

*Il servizio di "scambio sul posto" si applica nei casi in cui i punti di immissione e di prelievo dell'energia elettrica scambiata coincidono e sia quindi possibile effettuare un **saldo netto** su base annuale (net metering) tra le immissioni in rete dell'energia elettrica prodotta da detti impianti e i prelievi di energia elettrica dalla stessa rete. Ciò permette di utilizzare l'energia "autoprodotta" a copertura dei propri fabbisogni.*

*Le risorse disponibili ammontano a **400.532,00** euro, e le percentuali di contributo sono del 75% per gli impianti fotovoltaici e del 40% per le altre fonti rinnovabili ( mini eolico, mini idro ecc.)*

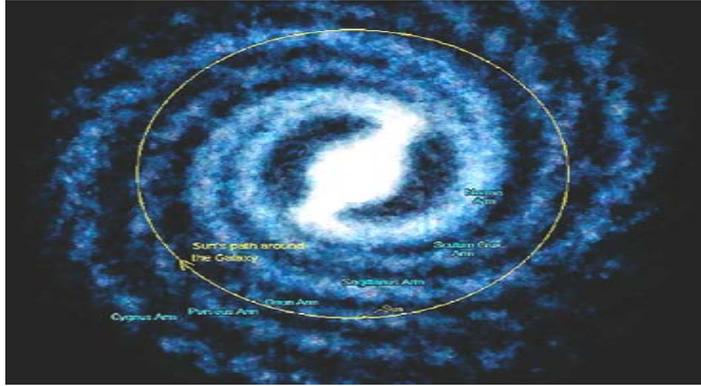
*Le domande possono essere presentate dal **10 agosto** 2006 fino al **24 ottobre** 2006".*

## **PARTE 2**

### **NOZIONI TEORICHE DI BASE**

- Unità di misura
- Il Sole
- Il sistema solare ed il moto della terra
- Le carte del percorso solare
- La radiazione solare stagionale utile
- L'orientamento dei collettori
- Le ombre

# IL SOLE



Il Sole è stato da sempre per l'Uomo un punto di riferimento verso la comprensione dell'Universo che lo circonda. L'alternarsi del giorno e della notte e delle stagioni, il verificarsi del fenomeno delle eclissi, sono stati alla base di ogni tentativo di comprensione spesso mistificato da credenze religiose.

E' solo a partire dal Seicento, con gli studi di Copernico e l'impiego del telescopio da parte di Galileo, che comincia seriamente lo studio del nostro sistema solare.

Il nostro Sole costituisce uno dei numerosi sistemi solari che costituiscono la Via Lattea, ovvero la nostra Galassia.

La nostra Galassia fa parte a sua volta di un gruppo numeroso di galassie denominato "Gruppo locale", a sua volta facente parte del Super Ammasso della Vergine. Il potente telescopio orbitante Hubble scopre continuamente ammassi di galassie e ciò crea qualche difficoltà per chi si ostina a credere di poter essere l'unica specie vivente nell'Universo, *se così fosse sarebbe sicuramente un gran spreco di spazio* (citazione dal film Contact).

Ritornando al nostro Sole è stato calcolato che esso viaggia nella "Via Lattea" ad una velocità di circa 60.000km/s con un periodo di rivoluzione di circa 200 milioni di anni. Il Sole inoltre ruota anche intorno al proprio asse con periodo di circa 28 giorni.

La struttura è composta quasi al 92% da idrogeno le cui coppie atomiche si fondono insieme generando elio che costituisce il restante 8%. Dai processi di fusione nucleare si sviluppano nel nocciolo temperature di circa 15 milioni di °C che si riducono a circa 6000°C sulla superficie esterna.

Il diametro del Sole è di circa 1,7milioni di km e la distanza dalla terra varia da 147Gm (perielio) a 150 Gm (afelio). Come tutte le altre stelle della Galassia e dell'Universo, dovrà un giorno spegnersi. Ciò è dimostrato dall'equazione di Einstein  $E=mc^2$  ne consegue che dal processo nucleare si ha una riduzione di massa e quindi un irraggiamento per un tempo finito.

Gli esperti hanno calcolato che il Sole continuerà l'attuale processo di fusione nucleare dell'idrogeno in elio per altri 5 miliardi di anni.



# Il sistema solare ed il moto della Terra



Nonostante sia la Terra a ruotare attorno al Sole, e non viceversa, per semplificare si preferisce descrivere il movimento relativo del sole rispetto alla Terra come apparirebbe ad un osservatore sulla Terra. A causa di ciò si dice che il sole nasce ad Est e tramonta ad Ovest, in realtà è la Terra che crea questo moto apparente girando da Ovest verso Est.

Il Sole è una stella che costituisce il centro di un fuoco degli ellissi di rotazione per tutti i pianeti formanti il nostro sistema solare.

La Terra compie un moto di **rivoluzione** intorno al Sole con periodo di **365 giorni**, un giorno in meno del nostro calendario gregoriano, per compensare ciò ogni 4 anni abbiamo il 29 febbraio.

La Terra ha anche un moto di **rotazione** attorno al proprio asse con durata di **24 ore** che da luogo al susseguirsi del giorno e della notte.

Grazie al vuoto dello spazio il moto di rivoluzione ellittico influenza solo del 3,3% la radiazione solare extra atmosferica, così che è internazionalmente accettato il valore medio di  $1353 \text{ W/m}^2$  come **costante solare  $G_0$** .

Da osservare che l'asse di rotazione terrestre risulta inclinato di  $23,927'$  rispetto al piano orbitale di rivoluzione. Ciò fa sì che durante il periodo di rivoluzione si susseguano le **stagioni**, difatti durante l'anno un osservatore posto nell'emisfero Nord vede oscillare l'altezza del sole verso l'alto di  $+23,927'$  in estate, valore massimo raggiunto il 21 Giugno (solstizio d'estate) e verso il basso di  $-23,927'$  il 21 Dicembre (solstizio d'inverno). Valori intermedi si hanno il 21 Settembre (equinozio d'autunno) ed il 21 marzo (equinozio di primavera). Questa oscillazione dell'altezza del Sole è chiamata **declinazione**.

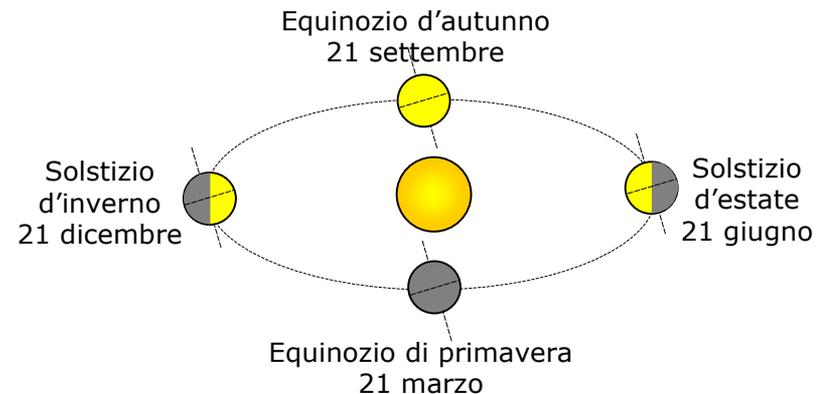
Conoscendo la **latitudine**  $\varphi$  (che caratterizza sostanzialmente il punto di osservazione), la **declinazione**  $\delta$  (che dipende dal giorno dell'anno in cui si effettua l'osservazione) e l'**angolo orario**  $\omega$  (che dipende dall'ora in cui si effettua l'osservazione), è possibile calcolare la posizione relativa del Sole da un qualsiasi luogo della Terra impiegando le seguenti formule trigonometriche:

$$\text{Declinazione } \delta = 23,45 \text{sen} \left( 360 \frac{284 + \text{giorno}}{365} \right)$$

$$\text{Angolo orario } \omega = 15 \cdot h_{\text{solare}} - 180$$

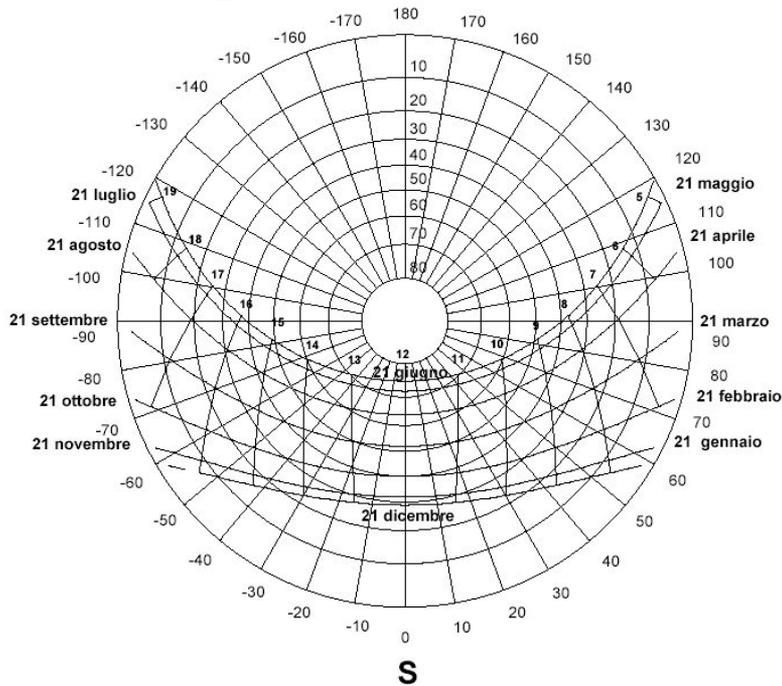
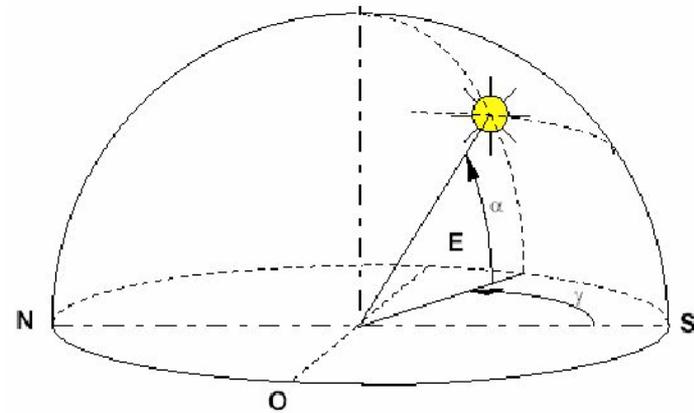
$$\text{Altezza solare } \alpha = \arcsen(\text{sen} \delta \cdot \text{sen} \varphi + \text{cos} \delta \cdot \text{cos} \varphi \cdot \text{cos} \omega)$$

$$\text{Angolo azimutale } \gamma = \arcsen \left( \frac{\text{cos} \delta \cdot \text{sen} \omega}{\text{cos} \alpha} \right)$$

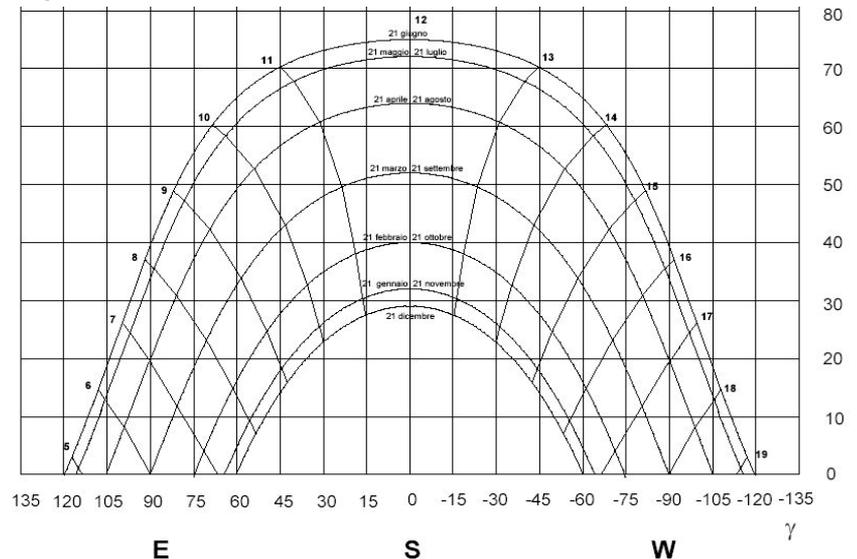


## Le carte del percorso solare

In pratica, anziché utilizzare le formule trigonometriche esposte precedentemente, si preferisce determinare l'altezza e la posizione del Sole mediante apposite carte, che con maggiore rapidità riportano la posizione del sole nell'arco dell'anno e per qualsiasi ora del giorno. Queste carte, denominate "diagrammi del percorso solare" variano con la latitudine, e quelle qui indicate come esempio si riferiscono alla latitudine  $\varphi=40^\circ$  (centro Italia) e possono avere **coordinate polari** (in basso a sinistra) o **coordinate cartesiane** (in basso a destra).



Il diagramma in coordinate polari è utile per avere una visione "dall'alto" del percorso solare.



Il diagramma in coordinate cartesiane è utile per avere una visione prospettica da terra del percorso solare, ed è molto utilizzato per il riporto delle ombre.

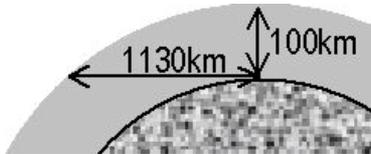
Dal sito Internet <http://solardat.uoregon.edu> è possibile creare e stampare la carta solare di qualsiasi luogo del mondo.

I diagrammi riportano 15 linee per le ore utili del giorno (dalle 5 alle 19) e 12 linee per i mesi dell'anno (di cui 5 sovrapposti). Dall'**altezza solare**  $\alpha$  e dall'**angolo azimutale**  $\gamma$  si ricava la posizione del sole.

# La radiazione solare stagionale utile

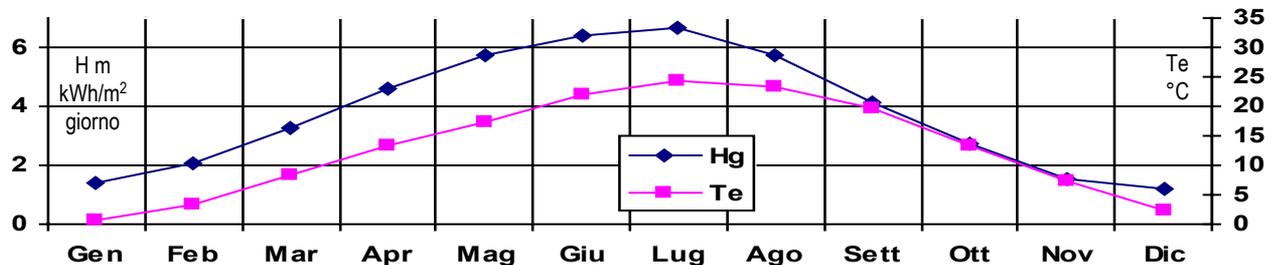
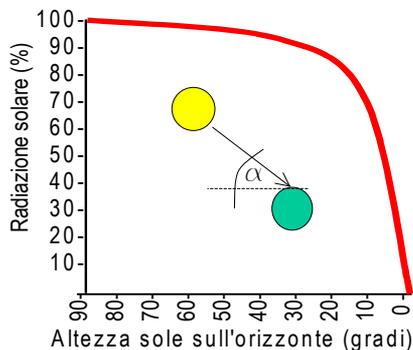
Come si è visto la radiazione solare fuori dall'atmosfera ha un valore massimo di  $1353\text{W/m}^2$ , valore che poi si riduce al suolo sia a causa delle condizioni climatiche che dallo "spessore" dell'atmosfera terrestre attraversato, che può variare da un minimo di  $100\text{km}$  ad un massimo di  $1130\text{km}$  a causa dell'effetto combinato della rotazione terrestre (variazione giornaliera del meridiano esposto al sole) con quello della declinazione dell'asse di rotazione (variazione mensile del parallelo esposto al sole).

I dati statistici dimostrano che a Genova nel mese di Luglio sia ha il massimo valore di irradianza giornaliera pari a  $6690\text{Wh/m}^2$  giorno cumulabili in 9,6 ore di insolazione, ciò significa che l'irradianza oraria media effettiva a Luglio è di solo  $697\text{W/m}^2$ , ovvero circa la metà della Costante solare.



	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic	U.misura
<b>Hg</b>	1,43	2,08	3,27	4,59	5,74	6,37	6,69	5,71	4,15	2,76	1,55	1,22	kWh/m <sup>2</sup> g
<b>hSole</b>	4,1	4,5	5,4	6,3	7,6	8,4	9,6	8,7	6,8	5,5	3,5	3,6	h (ore)
<b>∠sole</b>	30	38	46	62	62	66	62	54	46	38	30	26	° (angolo)
<b>Ted</b>	9,6	10,7	13,1	16,3	20,1	24	26,8	26,9	23,8	18,8	13,9	11,1	°C
<b>Tem</b>	0,7	3,3	8,4	13,3	17,4	21,9	24,3	23,4	19,7	13,4	7,2	2,5	°C
<b>Taf</b>	7,5	8,1	9,3	10,8	12,3	12,4	14,1	15,8	14,5	12,2	9,8	8,3	°C

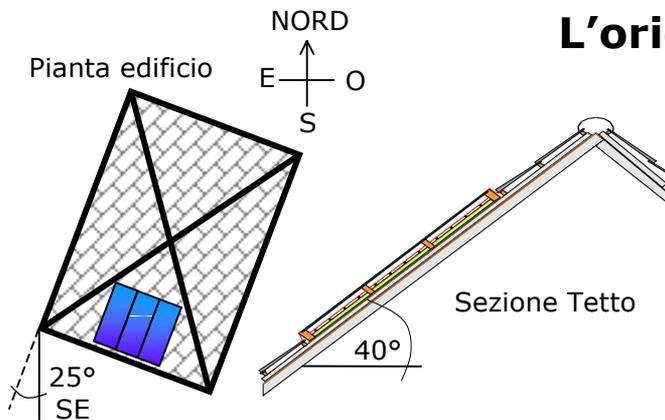
Hg= Irradianza giornaliera, hSole= ore di insolazione, ∠sole = altezza solare (angolo dall'orizzonte), ∠pan = inclinazione ottimale pannello solare, Ted= temp. esterna media diurna, Tem= temp. esterna minima diurna, Taf= temp. media acqua fredda



Condizioni atmosferiche	Sereno	Schiarite	Foschia	Poco nuv.	Nuvoloso	Molto nuv.	Nebbia
%Hi utile	100%	60%	50%	40%	30%	20%	10%

L'incostanza della radiazione solare disponibile al suolo richiede sia sistemi di accumulo dell'energia sia sistemi integrativi che intervengano in caso di insufficiente disponibilità.

# L'orientamento dei pannelli solari



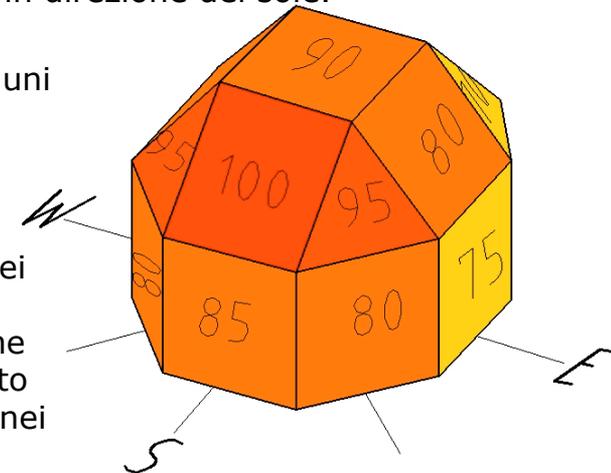
L'orientamento dei pannelli solari ha una importanza fondamentale nella resa complessiva dell'impianto. È opportuno infatti orientare il pannello in modo che riceva la massima quantità possibile di radiazione solare che significa, in pratica, mantenere per ogni periodo dell'anno il pannello ortogonale alla direzione dei raggi solari. Ciò non è possibile senza dispositivi motorizzati di inseguimento solare, sistemi costosi che raramente trovano impiego nel settore civile. Pertanto si cerca di installare il pannello in posizione fissa ricercando le 2 posizioni di maggior efficienza: orientamento nel piano (angolo azimutale rispetto il Sud) ed inclinazione verticale (altezza solare).

Per ciò che concerne l'orientamento **verso Sud (angolo azimutale=0°) si ha la migliore posizione**, mentre con orientamenti ad Ovest o ad Est l'efficienza è di circa il 75% riducendosi al 20% se verso Nord.

Per verificare l'orientamento dell'edificio è necessario disporre di una cartina della zona, rammentando che per convenzione internazionale le rappresentazioni in mappa hanno orientamento allineato con il foglio e quindi la direzione Nord è data dal margine superiore del foglio. Per verifica si può utilizzare una bussola di precisione, o meglio costruire sul posto una squadra che proietta l'ombra (gnomone) o un filo a piombo: l'ombra proiettata dal sole a mezzogiorno rappresenta l'asse Nord-Sud, con il Sud ovviamente in direzione del sole.

Per ciò che concerne l'inclinazione sul piano orizzontale l'ideale è un angolo pari alla latitudine del luogo (Genova=44°). Attenzione però che alcuni Comuni impongono per ragioni estetiche di addossare i pannelli sulla copertura del tetto, quindi di conseguenza l'angolo con l'orizzonte è rappresentato dalla pendenza della falda.

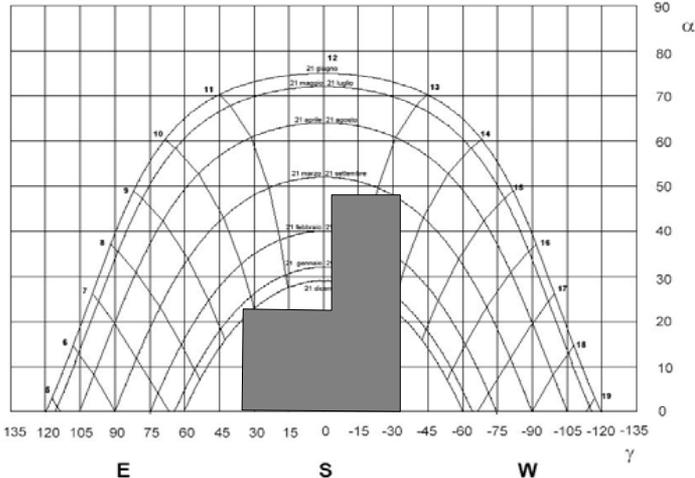
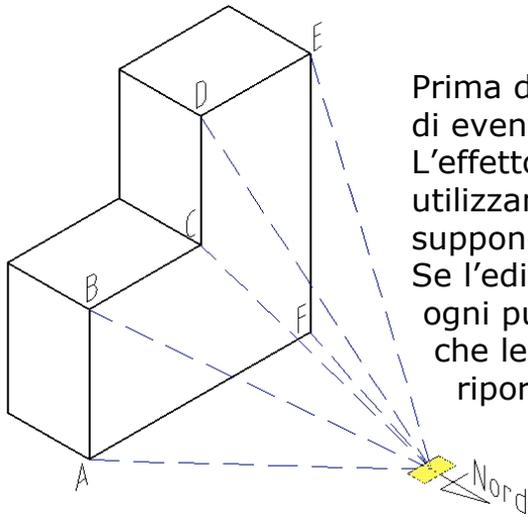
In particolare nel Comune di Genova le prescrizioni edilizie sono molto restrittive, difatti con delibera 174 del 21/02/2006 è vietata l'installazione dei pannelli solari sia termici che fotovoltaici nell'area del centro storico (il più vasto d'Europa). Per le restanti zone, anche quelle più degradate del Comune di Genova, la posa è sottoposta ad un particolare iter procedurale che di fatto ne scoraggia l'installazione. È interessante osservare che spesso è proprio nei Comuni con la presenza dei Verdi al governo che l'adozione dei sistemi ad energia rinnovabile viene resa difficoltosa.



Nota: L'efficienza dell'esposizione NON E' il rendimento termico del pannello.

# Le ombre

Prima di procedere all'installazione dei pannelli solari è opportuno valutare la presenza di eventuali ostacoli (edifici, alberi, ecc.) in grado di proiettare ombre sui pannelli. L'effetto delle ombre proiettate dagli ostacoli durante l'anno può essere previsto utilizzando i diagrammi dei percorsi solari già descritti in precedenza. Ad esempio si supponga di voler valutare l'ombra prodotta da un edificio prospiciente i nostri pannelli. Se l'edificio ha forme complesse si consiglia di utilizzare un teodolite e riportare per ogni punto del profilo dell'edificio sia lo scostamento angolare rispetto al Sud (azimut) che le relative altezze angolari. Supponiamo quindi di aver rilevato le posizioni riportate in tabella.

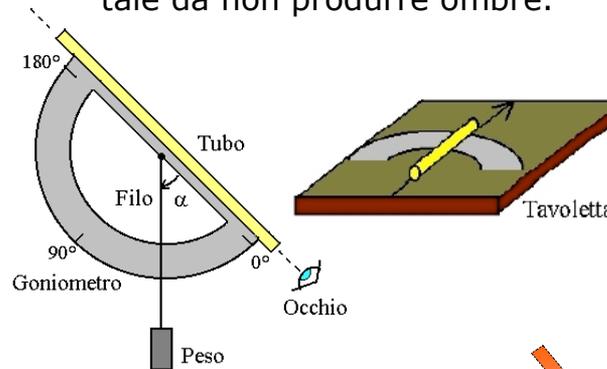


Riportando i punti rilevati sul diagramma solare costruiremo l'ombra generata dall'edificio.

Dal diagramma si può notare che nel mese di dicembre l'edificio ombreggia i pannelli dalle ore 9.40 alle 14.30. Mentre da dicembre a marzo l'ombra sui pannelli perdura dalle 12.15 alle 14.30. Dopo marzo l'altezza del sole è tale da non produrre ombre.

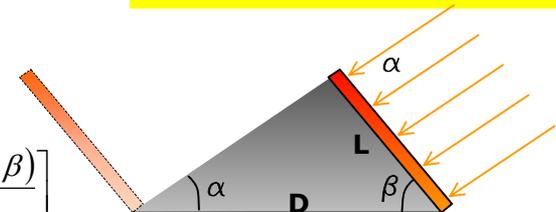
Punto	Azimut	Altezza
<b>A</b>	34°15'	00°00'
<b>B</b>	34°15'	22°10'
<b>C</b>	-5°20'	22°10'
<b>D</b>	-5°20'	47°50'
<b>E</b>	-32°30'	47°50'
<b>F</b>	-32°30'	00°00'

Un semplice strumento per il rilievo angolare è realizzabile con un goniometro da disegno ed una cannuccia. L'altezza angolare è data dalla posizione della lenza tesa da un peso. L'angolo azimutale ruotando la cannuccia rispetto al centro del goniometro fissato ad una tavoletta orientata a Sud.



Altre ombre da non sottovalutare sono quelle formate dai pannelli stessi. Per esempio in caso di pannelli disposti a schiera quelli davanti possono oscurare quelli retrostanti. Per evitare ciò è sufficiente mantenere una distanza minima tra le schiere dei pannelli, calcolabile con:

$$D = L \cdot \left[ \frac{\text{sen}(180 - \alpha - \beta)}{\text{sen} \alpha} \right]$$



## **PARTE 3**

### **IL SOLARE TERMICO**

- I pannelli solari per usi termici
- principali componenti dell'impianto per produzione ACS
- Collegamento dei pannelli
- scelta dei pannelli
- Energia per la produzione di ACS
- Energia per il riscaldamento invernale
- Energia per il raffrescamento estivo
- Serbatoi di accumulo
- Protezione antigelo
- Costi del solare termico

# I pannelli solari per usi termici

Un impianto termico solare differisce sostanzialmente da un impianto termico tradizionale unicamente dal generatore di calore il quale in questo caso è costituito dal pannello solare.

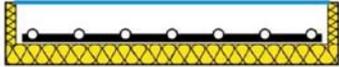
Il collettore solare ideale deve essere in grado di assorbire tutta la radiazione solare incidente e di trasformarla in calore, come può essere rilevato dalla formula:

$$\eta_p = \frac{\text{Energia Assorb}}{\text{Energia Incidente}} = \frac{E_{ass}}{H_i \cdot S_p} = \frac{c \cdot m \cdot (t_u - t_i)}{H_i \cdot S_p}$$

Hi= Irradianza (W/m<sup>2</sup>); Sp=Superf. pannelli (m<sup>2</sup>); m=portata fluido (kg/h); Ti= temp. ingresso (°C); Tu=temp.uscita (°C); c=calore massico (glicole/acqua=0,89-1,163Wh/Kg°C);

Per migliorarne il rendimento i collettori vengono trattati con una speciale vernice selettiva, che determina un alto grado di assorbimento nel range della lunghezza d'onda della radiazione solare e contemporaneamente riflettono poca energia, grazie a un basso fattore di emissività nelle lunghezze d'onda della radiazione termica.

Sul mercato sono disponibili 2 tipologie di collettori:



1) Collettore piano



2) Collettore a tubi sotto vuoto

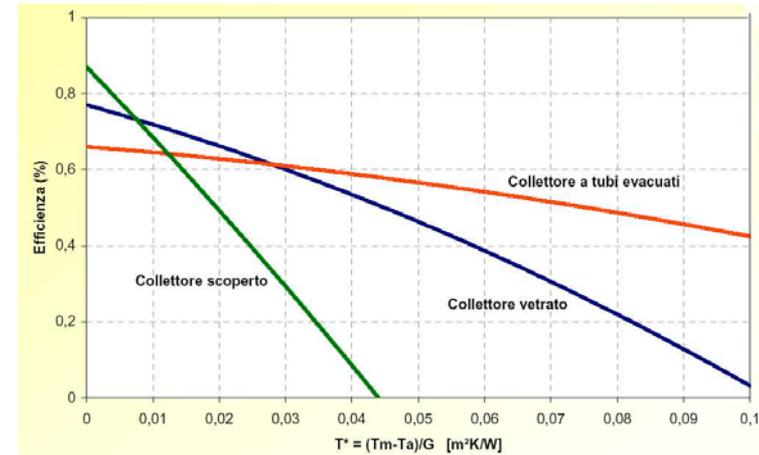
La prima tipologia è quella nota da decenni, mentre si è diffusa recentemente la tipologia dei collettori a tubi sotto vuoto.

Spesso si parla del collettore sottovuoto come del collettore che per efficienza, durata nel tempo, rapporto costo/beneficio soppianderà quello piano.

Tale giudizio di merito non è corretto, infatti il collettore sottovuoto non capta di più ma semplicemente disperde di meno con un rendimento extra su base annuale di circa il 15%. Per entrambi i collettori il rendimento varia, anche se in misura diversa, al variare del rapporto T/Hi. Da prove ENEA eseguite secondo la norma UNI-EN12975 "Prestazioni termiche dei collettori solari" si rileva che nelle condizioni nominali di esercizio i pannelli piani vetrati hanno rendimenti intorno al 50% mentre i pannelli a tubi sottovuoto raggiungono il 65%.

Come mostra il grafico soprariportato il punto di pari rendimento tra le due tipologie di collettori si ha con fattore T=0,03 ottenibile, per esempio a Genova, a Maggio con una radianza media di 590W/m<sup>2</sup>, una temperatura esterna di 17,4°C ed una temperatura media del collettore di Tm=60-25=35°C.

In pratica a Genova il rendimento del collettore sottovuoto prevale in inverno (mesi da Settembre a Aprile) mentre il rendimento del collettore piano vetrato prevale d'estate (Maggio-Agosto).



# Principali componenti dell'impianto di produzione ACS

I principali componenti dell'impianto, oltre ovviamente ai pannelli solari, sono:  
1) la termoregolazione, 2) circolatore pannelli, 3) il boiler di accumulo,  
4) il sistema di espansione, 5) il circuito di integrazione del calore.

## La termoregolazione

Un sistema di termoregolazione minimo può anche essere costituito da un relè azionato da un termostato differenziale con una sonda posta nel pannello (B1) e l'altra posta all'interno del boiler in prossimità del serpentino solare (B2): in base alla maggiore delle due temperature il circolatore pannelli-boiler (M1) viene azionata ( $B1 > B2$ ) o fermata ( $B2 > B1$ ).

Se la termoregolazione gestisce anche il circuito di integrazione del calore ha inoltre una ulteriore sonda (B3) posizionata in prossimità del serpentino di integrazione. L'integrazione, ovvero il circolatore M2, viene attivata quando, fissata una temperatura minima del circuito solare, ad esempio  $35^{\circ}\text{C}$ , ed una temperatura massima dell'ACS, ad esempio  $50^{\circ}\text{C}$ , si verifica la condizione:  $B2 < 35^{\circ}\text{C}$  e viene disattivata quando  $B3 > 50^{\circ}\text{C}$ .

Si tenga presente che i boiler a doppio serpentino vengono progettati per favorire la stratificazione del calore (boiler alti con acqua a bassa velocità) in modo che si abbia quanto più possibile una separazione termica tra la zona riscaldata dall'integrazione esterna da quella riscaldata dal pannello solare.

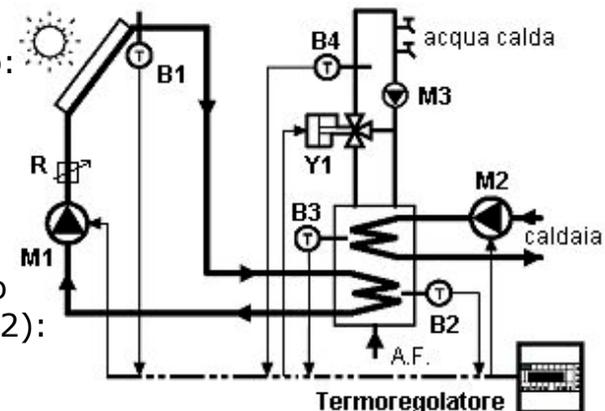
Termoregolazioni più complesse possono prevedere funzioni più sofisticate come per esempio: il comando di valvole miscelatrici (Y1) per mantenere costante la temperatura alle utenze, il comando delle pompe di ricircolo sanitario (M3), la visualizzazione dello stato delle apparecchiature, il valore delle temperature rilevato dalle sonde, la trasmissione GSM dei dati di esercizio, ecc..

## Sensori di temperatura

L'efficacia del sistema di termoregolazione è condizionata dal corretto posizionamento dei termosensori.

Ad esempio la sonda B1 di temperatura del collettore deve essere posizionata all'interno dell'ultimo pannello. Il suo posizionamento all'esterno, ovvero sul tubo di mandata, può dare luogo a sovratemperature nei pannelli non rilevabili dal termoregolatore durante il ciclo OFF di comando del circolatore.

Nei boiler a doppio serpentino (solare+integrazione) i sensori B2 e B3 devono essere posizionati a circa metà altezza del rispettivo serpentino.



## Regolazione temperatura utenze ACS

La temperatura dell'ACS in uscita alle utenze dovrebbe essere tale da garantire una sensazione di piacevole benessere.

Da prove personalmente eseguite ho constatato che la "temperatura ideale" per una doccia è statisticamente di circa 37°C, mentre per un bagno la "temperatura ideale" diventa di 39°C.

Questi valori, riferiti ad una temperatura ambiente di 20°C, possono aumentare di qualche grado se l'ambiente è più freddo o diminuire di qualche grado se l'ambiente è più caldo. All'esperimento hanno partecipato anche i miei figli che ritengo siano un po' troppo freddolosi causando una maggiorazione del valore della "temperatura ideale".

Ciò dimostra quanto sia esageratamente alto il valore di 53°C consentito dal DPR 412/93, l'eccesso di temperatura è di ben 15°C, si potrebbe obiettare che disponendo di rubinetteria con miscelatore questo eccesso verrà corretto dall'utente mediante la miscelazione con acqua fredda.

Non può essere che così, altrimenti dopo 10 minuti finiremmo al centro ustionati!

## Circolatore pannelli

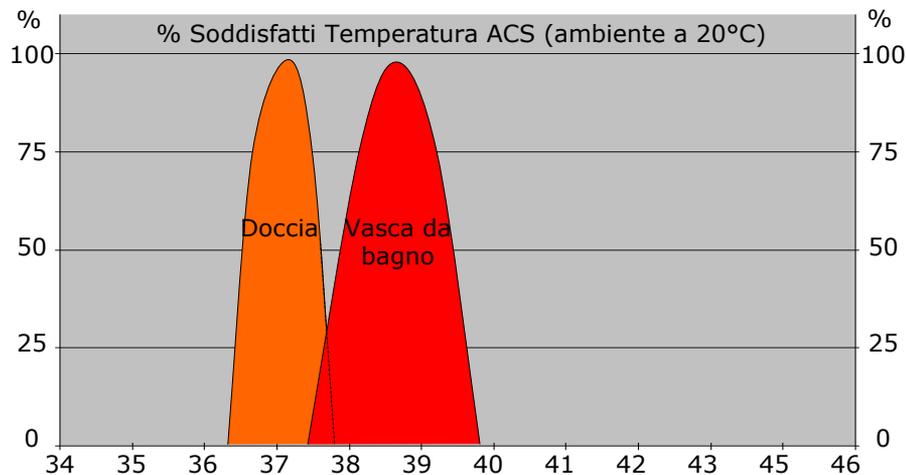
Il circolatore dei pannelli (M1) ha il compito di trasferire il calore dai pannelli al boiler di accumulo e deve essere installato sulla tubazione che dal boiler ritorna ai pannelli, ovvero nel tratto a minor temperatura: in tal modo si evitano temperature elevate che possono creare nella girante fenomeni di cavitazione e formazione di bolle di vapore.

Il circolatore dovrà avere portata tale da trasportare il calore prodotto dai pannelli nel periodo di maggiore insolazione. Normalmente il costruttore del pannello indica la portata consigliata, se non fosse definita, può essere calcolata con:

$$m_{Tot} = \frac{H_i \cdot S_p \cdot \eta_p}{c \cdot (t_u - t_i)}$$

Dove:  $m_{tot}$ = portata circolatore (kg/h);  $H_i$ =radianza (W/m<sup>2</sup>);  $S_p$ =superf. totale pannelli (m<sup>2</sup>);  $\eta_p$ = rendimento pannello (adim);  $c$ =capacità termica (glicole/acqua=0,89-1,163W/Kg°C);  $T_i$ = temperatura fluido ingresso 1° pannello (°);  $T_u$ = temperatura fluido in uscita ultimo pannello (°). NOTA: Si consiglia di impostare un salto termico ( $T_u - T_i$ ) di circa 15°C

Indicativamente la portata del circolatore è di circa 45 kg/h per m<sup>2</sup> di pannello installato.



La bassa temperatura ideale dell'ACS dimostra quanto sia errata la diffusa convinzione che la condensazione dei fumi non sia possibile con la produzione di ACS.



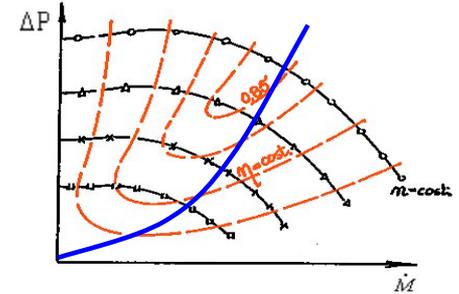
Mentre la prevalenza del circolatore deve essere tale da vincere le perdite di carico generate dall'attrito del fluido alla portata richiesta. In pratica il calcolo è tutt'altro che semplice in quanto oltre a determinare con esattezza il completo sviluppo del tratto più sfavorito (normalmente quello più lontano) è necessario conoscere le perdite di carico localizzate (alla portata nominale) di valvole, scambiatori, regolatori, curve, diramazioni, pannelli in serie, ecc.. Un metodo di calcolo semplificato è quello che tramite apposite tabelle converte le perdite accidentali in lunghezza equivalente di tubazione, che sommate alla lunghezza geometrica effettiva del tratto più sfavorito consente di avere una "lunghezza virtuale" ( $L_v = L_e + L_g$ ) da poter utilizzare nella formula:

$$\Delta H = 0,44 \cdot L_v \cdot \frac{m^{1,85}}{D_i^{4,87}}$$

Dove:  $\Delta H$ = prevalenza (m);  $m$ = portata (kg/h);  $L_v$ = lunghezza virtuale delle tubazioni (m)  $D_i$ = diametro tubazione (mm)

In modo più approssimativo si può assegnare  $\Delta H = 0,5 + (0,3 \times N^\circ \text{pannelli in serie})$

La scelta del circolatore dovrà quindi soddisfare la richiesta (Q,H) dell'impianto.

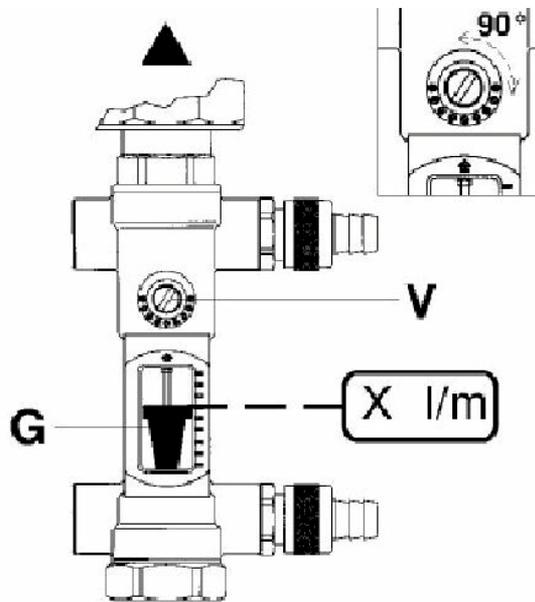


### Misuratore e regolatore di flusso

Tutti gli impianti a pannelli devono essere dotati di un regolatore e misuratore di portata (R) in modo da poter correggere in fase di collaudo un eventuale sovradimensionamento del circolatore. Come precedentemente accennato il costruttore del pannello indica la portata consigliata. Nella taratura del regolatore di flusso si dovrà considerare il tipo di connessione dei pannelli, rammentando che i pannelli in serie sono attraversati dalla stessa portata, mentre nella connessione in parallelo la portata si ripartisce nei rami paralleli. Se avremo equilibrato le perdite di carico dei rami, la portata complessiva sarà equamente suddivisa per ogni ramo così che ogni pannello sarà attraversato da una portata:

$$m_{serie} = \frac{m_{Tot}}{N_{Rami}}$$

Verificando la temperatura massima nei pannelli ( $<90^\circ\text{C}$ ) e il  $\Delta t$  dell'impianto ( $10 <\Delta t> 30^\circ\text{C}$ ) correggeremo il valore di portata del circolatore (maggiore portata= minore salto termico e viceversa) tramite il regolatore di flusso, rammentando che la taccheta graduata del regolatore indica la portata in litri/minuto e non in kg/h.



## Tubazioni

Per potenze inferiori a 50kW le tubazioni del circuito solare sono di rame, per potenze superiori possono essere in acciaio nero UNI8863. Da evitare assolutamente le tubazioni zincate che si degradano fortemente per l'effetto pila dovuto al rame dei pannelli ed all'antigelo (glicole con effetto dielettrico). Anche le tubazioni plastiche sono da evitare per l'alta temperatura che può raggiungere l'impianto solare.

Mentre le tubazioni del circuito sanitario (acqua calda ed acqua fredda) oltre che in rame possono essere in acciaio zincato, più conveniente per diametri superiori a DN20.

Il diametro delle tubazioni deve essere proporzionato alla portata passante nella tubazione. Tubazioni piccole causano rumorosità e maggiori perdite di carico, mentre tubazioni eccessivamente grandi aumentano ingiustificatamente i costi e le difficoltà di posa. Un dimensionamento corretto del diametro è quello basato sulla velocità (generalmente compresa tra 0,7 e 0,9m/s), secondo la formula:

Per evitare pericoli di intasamento il diametro minimo di qualsiasi tratto non dovrà comunque essere inferiore a 10mm.

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot m}{v \cdot \pi \cdot 3,6}}$$

Dove: m= portata tubazione (kg/h);  
v=velocità fluido (m/s);  
3,6= conversione da m<sup>3</sup> in litri e da ore in secondi (1000/3600=3,6)

## Coibentazione

Particolare attenzione è necessaria anche nella coibentazione. Il materiale dovrà avere bassa conduttività ( $\lambda < 0,04 \text{ W/mK}$ ), e buona resistenza agli agenti atmosferici e alle sovratemperature del circuito solare che possono raggiungere anche i 150°C. Molto adatte per queste applicazioni sono le coppelle in elastomero tipo Armaflex HT impiegando spessori non inferiori a quanto previsto dall'allegato B del DPR412/93, indicativamente pari al diametro del tubo da isolare.

La coibentazione esterna deve essere protetta da urti e radiazioni ultraviolette, mediante un rivestimento in lamierino di alluminio avente spessore di almeno 8/10mm.

Le perdite energetiche dalle tubazioni possono essere calcolate con:

$$Qd = \frac{\pi \cdot D_e \cdot L \cdot (t_f - t_e)}{\frac{1}{h_e} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{s_n}{\lambda_n}} \cdot t_p$$

Dove: Qd=energia dissipata (J); De= diametro esterno tubazione (m); L= lunghezza tubazione (m);

tf= temperatura fluido (°C); te= temperatura aria esterna (°C);  $\lambda$ =conduttività isolante (W/m°C);

s=spessore isolante (m); he= adduttanza aria esterna (porre 3W/m°C per tubazioni interne e 15W/m°C per tubazioni esterne);



## Collegamento dei pannelli

I pannelli possono essere collegati tra loro in serie o in parallelo. Generalmente il collegamento in serie è limitato ad un massimo di 4-6 pannelli ciò per evitare che la temperatura finale in uscita dall'ultimo pannello sia eccessivamente elevata (in estate la temperatura del pannello dovrà risultare minore di 90°C) pertanto nel caso fosse necessaria una maggiore potenza assorbita si dovranno suddividere i pannelli in rami collegati in parallelo. Nel collegamento è molto importante far sì che le perdite di carico siano le stesse per qualsiasi ramo idraulico. Generalmente questo è possibile senza dover necessariamente installare delle valvole di bilanciamento idraulico ma semplicemente effettuando il collegamento con "ritorno rovesciato". Un altro metodo di collegamento è quello del "parallelo puro" noto anche come "metodo Tichelmann". Vediamone pregi e difetti:

## Collegamento in parallelo e collegamento Tichelmann

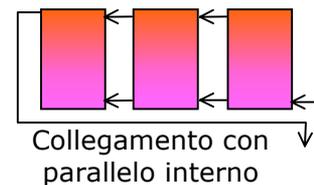
I collegamento Tichelmann è un collegamento che dispone in parallelo ogni singolo pannello ed è realizzato in modo tale che qualsiasi pannello produce la medesima perdita di carico. Questo metodo era molto adottato nel passato dato che la minore temperatura operativa consente rendimenti buoni anche con pannelli di mediocra qualità.

I pregi sono i seguenti:

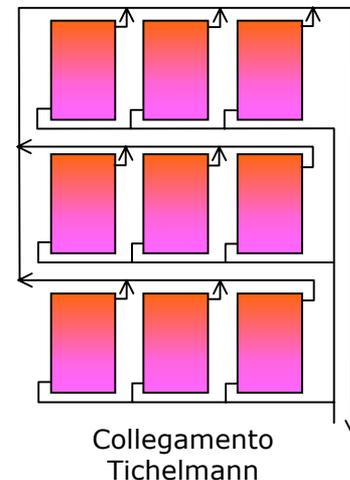
- E' limitato il rischio delle sovratemperature
- E' ridotta la prevalenza richiesta dalle pompe
- E' migliore il rendimento dei pannelli

Mentre gli inconvenienti di questo metodo sono i seguenti:

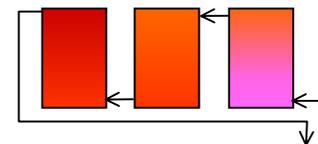
- La lunghezza delle tubazioni è molto rilevante
- La temperatura operante potrebbe non essere sufficiente in caso di scarsa insolazione



Collegamento con parallelo interno



Collegamento Tichelmann



Collegamento in serie

## Collegamento in serie

Considerato il buon isolamento dei pannelli attualmente in commercio, è possibile effettuare collegamenti in serie anche di 5-6 pannelli senza avere un sensibile calo del rendimento. Il pregio maggiore del collegamento in serie è dovuto alla semplicità nei collegamenti, mentre il problema maggiore è quello che possono verificarsi pericolose sovratemperature in caso di basso consumo da parte dell'utenza.

## Collegamento in serie-parallelo

Questo collegamento è quello più usato dato che unisce il vantaggio del collegamento in serie, ossia semplicità dei collegamenti e possibilità di temperature più elevate, al vantaggio del collegamento in parallelo che consente di aumentare l'energia assorbita mantenendo entro valori accettabili la temperatura massima. Per una equilibratura delle perdite di carico nei vari rami è necessario realizzare il "ritorno rovesciato".

## Calcolo della temperatura operativa

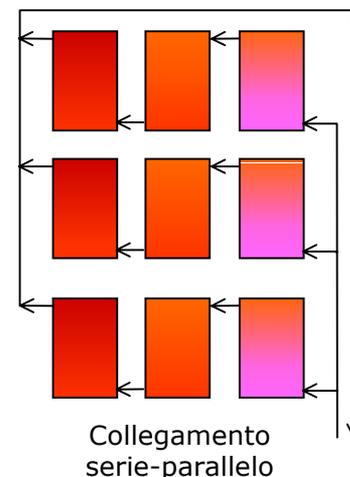
Come detto il collegamento in serie aumenta la temperatura in uscita dai pannelli mentre quello in parallelo la limita. E' possibile calcolare la temperatura in uscita con:

$$Tu = Ti + \frac{Hi \cdot \eta_p \cdot S_{serie}}{m_{serie} \cdot c}$$

Dove: m= portata (litri/min); Hi=radianza (W/m<sup>2</sup>); Sp=superf. pannelli in serie (m<sup>2</sup>); η<sub>p</sub>= rendimento pannello (adim); c=capacità termica massica (glicole=0,89Wh/Kg°C, - acqua=1,163Wh/Kg°C); Ti= temp. ingresso (°C); Tu= temperatura uscita pannelli (°C)

La portata (m) condiziona fortemente la temperatura (Tu) all'uscita dei pannelli.

Salvo diversa specificazione del Costruttore il valore minimo della portata attraversante una serie di pannelli è di circa 40kg/h per ogni m<sup>2</sup> di pannello disposto in serie.

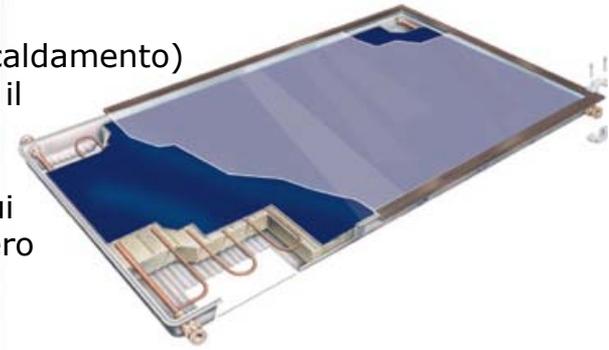


Collegamento serie-parallelo

## Scelta dei collettori:

Come accennato nelle località con  $GG < 1500$  ( $GG = \sum \Delta T_{\text{Tea}} \cdot \text{giorni Riscaldamento}$ ) la scelta dei collettori piani è preferibile ai collettori con tubi sotto vuoto per il miglior rapporto costo/resa.

Essendo la radiazione solare variabile nel corso dell'anno, è necessario scegliere il mese di riferimento per determinare l'irradianza ( $H_i$ ) incidente sui collettori ed assegnare la % di copertura del fabbisogno energetico giornaliero per la produzione di ACS.



## Dimensionamento dei collettori per ACS:

Il mese di Luglio in cui si ha la massima insolazione (per Genova  $H_{\text{med}} = 6690 \text{ Wh/m}^2$  in 9,6 ore) risulta indicato per assegnare una copertura del 100% del fabbisogno termico. Questa scelta presenta alcuni vantaggi tra cui quello di non doversi preoccupare di pericolose sovratemperature dell'impianto, che si avrebbero se si prendesse come riferimento un mese più freddo in cui sono richieste superfici maggiori risultanti sovrabbondanti in estate. La superficie necessaria dei collettori si calcola con:

$$S_p = \frac{Q_{\text{giorno}}}{\eta_p \cdot \eta_i \cdot H_{\text{giorno}}}$$

Dove:  $Q_{\text{giorno}}$  = Energia giornaliera richiesta dall'utenza (Wh);  $\eta_p$  = rendimento pannelli (adim, se non noto porre  $\eta_p = 0,5$ );  $\eta_i$  = rendimento impianto di distribuzione e regolazione (adim, se non noto porre  $\eta_i = 0,9$ );  $H_{\text{giorno}}$  = Irradianza giornaliera nel mese di Luglio (per Genova  $= 6690 \text{ Wh/m}^2$ );  $S_p$  = superficie pannelli ( $\text{m}^2$ ).

## Energia giornaliera per produzione ACS:

Per determinare l'energia giornaliera richiesta è necessario soprattutto conoscere i consumi giornalieri di acqua calda, che possono essere stimati con la norma UNI9182. Per piccole utenze può essere stimato un consumo giornaliero di ACS per persona pari a 50 litri/giorno. L'energia richiesta per la produzione dell'ACS si calcola con:

$$Q_{\text{ACS}} = m_{\text{ACS}} \cdot (T_u - T_i) \cdot c$$

Dove:  $Q_{\text{ACS}}$  = Energia giornaliera utile per la produzione di acqua calda sanitaria (Wh);  $c$  = capacità termica massica acqua ( $1,163 \text{ Wh/Kg}^\circ\text{C}$ );  $T_i$  = temperatura ingresso acqua fredda ( $^\circ\text{C}$ );  $T_u$  = temperatura uscita acqua calda ( $^\circ\text{C}$ )

## Energia giornaliera per riscaldamento invernale:

Molto più raramente l'energia termica solare viene impiegata anche per il riscaldamento invernale degli ambienti. Le difficoltà di questa applicazione sono dovute al fatto che nel periodo invernale l'irraggiamento è molto più modesto e quindi si rendono necessarie maggiori superfici captanti, oltre alla realizzazione di impianti a bassa temperatura (pannelli radianti) e all'esecuzione di un ottimo isolamento termico dell'edificio. Anche in queste condizioni la superficie captante viene limitata per soddisfare al massimo il 50% del fabbisogno annuale calcolato secondo la norma EN832. Tanto per avere un'idea l'energia giornaliera richiesta per il riscaldamento di un appartamento da  $200 \text{ m}^2$  di classe B ( $50 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$ ) ubicato in zona D (166 giorni di riscaldamento) è mediamente:  $Q_{\text{risc}} = 50 \times 200 / 166 = 60 \text{ kWh}$ . Per la copertura del 50% di questo fabbisogno, con i normali

rendimenti  $\eta_p=0,5$  e  $\eta_p=0,8$  ed con un insolazione media invernale di  $H_i=2,3\text{kWh/m}^2\text{giorno}$ , sarebbe necessaria una superficie di  $S_p=30/(2,3 \times 0,5 \times 0,8)=33\text{m}^2$ .

L'elevata superficie captante necessaria per il riscaldamento anche di case ottimamente isolate rende questa applicazione limitata a villette mono o bi familiari che possano disporre di un buon rapporto tra la superficie del tetto e la superficie degli ambienti. Inoltre questa elevata superficie captante in estate sarebbe esuberante per la sola produzione di ACS e quindi un impiego razionale potrebbe essere quello di utilizzarla per il raffrescamento estivo.

### Energia giornaliera per raffrescamento estivo:

Alcuni fattori sociali (aumento dei pensionati, aumento tempo trascorso in casa), climatici (diminuzione della qualità dell'aria, aumento della temperatura esterna), economici (aumento del costo dell'energia convenzionale, aumento del valore dell'immobile, aumento del tasso di benessere), aggiunti a vantaggi fiscali (riduzione IVA, detrazione IRPEF e contributi regionali a fondo perduto) potrebbero rendere estremamente interessante la climatizzazione estiva soprattutto se abbinata al riscaldamento invernale.

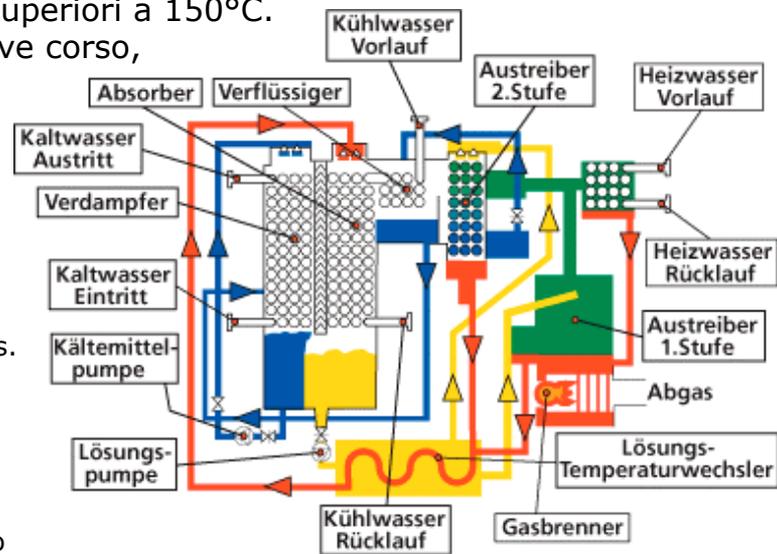
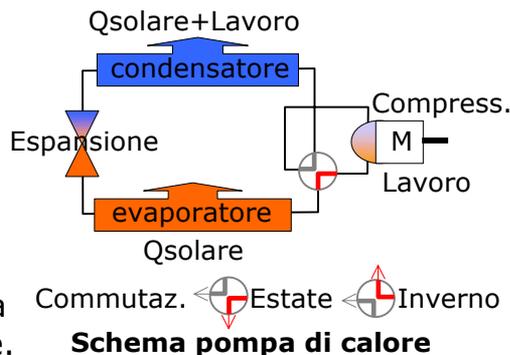
Ciò è attualmente possibile abbinando agli impianti solari macchine in grado di invertire il ciclo termodinamico caldo-freddo di Carnot come fanno le ormai diffuse pompe di calore. E' anche possibile utilizzare sistemi che sfruttano l'evaporazione di un liquido per sottrarre calore all'ambiente come fanno i refrigeratori ad assorbimento a bromuro di litio o ammoniaci, però queste macchine generalmente hanno taglia superiore a 50kW e richiedono temperature per il processo di evaporazione superiori a 150°C.

La trattazione di queste applicazioni non è prevista in questo breve corso,

si segnala però il sito Internet [www.iea-shc.org](http://www.iea-shc.org) per approfondimenti.

Per ciò che concerne l'energia per il raffrescamento estivo non esiste una norma specifica, ma è attualmente allo studio il progetto CEN prEN15243.

In linea di massima alle nostre latitudini l'energia per il raffrescamento è al massimo 1/2 di quella richiesta per il riscaldamento invernale per il semplice fatto che la differenza della temperatura estiva  $T_e-T_a$  è minore di circa 1/2 rispetto alla differenza della temperatura invernale  $T_a-T_e$ .



**Schema assorbitore al bromuro di litio**

## Serbatoi di accumulo

Dal momento che la radiazione solare è disponibile solo per alcune ore ed è molto variabile è indispensabile un adeguato serbatoio di accumulo che dovrà essere sempre proporzionato alla superficie dei pannelli al fine di evitare temperature insufficienti o pericolose dell'ACS. Entrambi i componenti dovranno essere dimensionati in relazione al consumo giornaliero di acqua calda.

Il dimensionamento ottimale del volume di accumulo è circa 1,5 volte il fabbisogno giornaliero di acqua calda, da calcolarsi secondo la norma UNI9182.

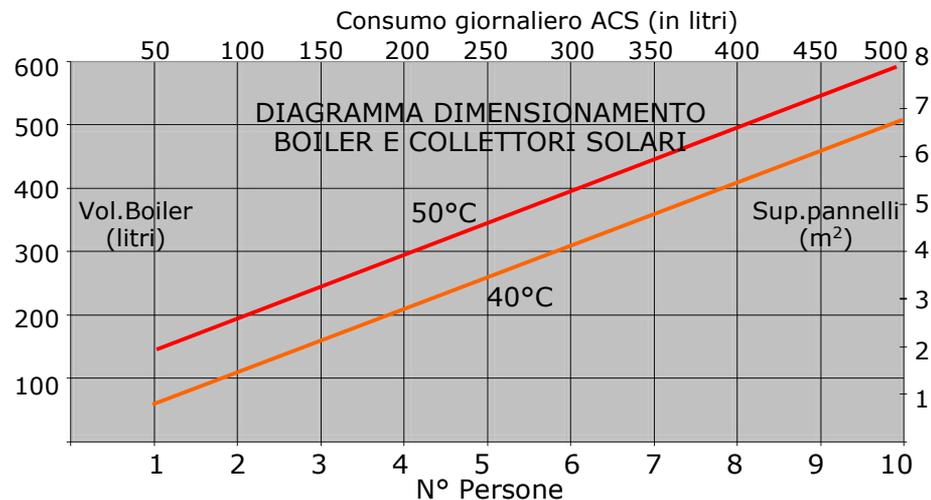
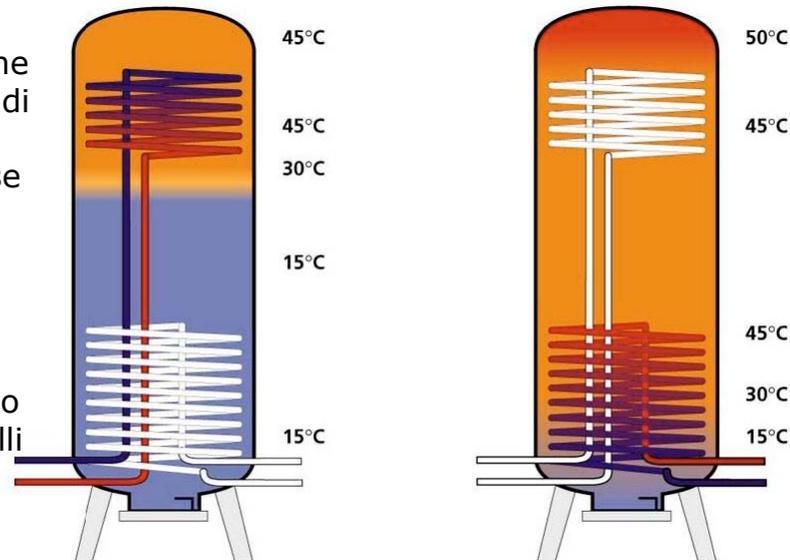
Il diagramma sottoriportato consente un veloce dimensionamento del volume del boiler (ordinata sinistra) e la superficie dei pannelli solari (ordinata destra) noto il n° di persone (ascisse in basso) o noto il consumo giornaliero di acqua calda (ascisse in alto) per 2 valori di temperatura dell'ACS all'utenza.

Dal punto di vista costruttivo i boiler solari presentano 2 distinti serpentini: quello inferiore con superficie di scambio maggiore viene utilizzato per il circuito solare, mentre quello superiore per il circuito di riscaldamento ausiliario è collegato alla caldaia tradizionale.

I boiler a doppio serpentino vengono progettati per favorire la stratificazione del calore in modo che si abbia una separazione termica tra la zona riscaldata dal pannello solare e quella scaldata dalla caldaia di integrazione.

Per potenze superiori a 50kW è talvolta conveniente separare i boiler collegando in serie il boiler riscaldato dai collettori (avente circa il 70-80% del volume totale) con quello riscaldato dalla caldaia.

In questo modo, con 2 distinti boiler, il circuito solare assume anche una funzione di preriscaldamento e può rimanere attivo anche con temperature più basse nei pannelli, purchè ovviamente superiori di almeno 8-10°C rispetto alla temperatura dell'acqua fredda proveniente dall'acquedotto.



## Vaso di espansione

Il vaso di espansione è generalmente del tipo chiuso a membrana e deve avere un volume idoneo a contenere il volume di espansione dell'impianto, calcolabile con la formula ISPEL prevista dalla Raccolta R82, impiegando un coefficiente di sicurezza di 1,5 per compensare meglio le accidentali sovratemperature.

$$V_{ve} = \frac{1,5 \cdot C \cdot e}{1 - \left( \frac{10 + p_i + H_v}{10 + p_{vds} + \Delta H_{vv}} \right)}$$

Dove: C= contenuto d'acqua circuito solare (litri); e=coefficiente volumico di espansione acqua=0,035 adim, glicole=0,07); H<sub>v</sub>= altezza idrostatica sul vaso di espansione (m); p<sub>i</sub>= pressione idrostatica a freddo (N/cm<sup>2</sup>), p<sub>vds</sub>= pressione taratura valvola di sicurezza (N/cm<sup>2</sup>); ΔH<sub>vv</sub>= dislivello vaso-valvola di sicurezza (m).

Se non è noto il contenuto C d'acqua dell'impianto assegnare per prudenza circa 50 litri per m<sup>2</sup> di pannello



## Valvola di sicurezza

Il compito della valvola di sicurezza è quello di scaricare l'eccesso di pressione che eventualmente si dovesse verificare nell'impianto. La pressione di intervento (taratura) della valvola non dovrà essere né troppo bassa, altrimenti avremmo esagerati volumi dei vasi espansione, né troppo alta altrimenti correremmo il rischio di danneggiare i componenti deboli del circuito. Tenuto conto che i componenti dell'impianto normalmente hanno pressioni di esercizio di almeno 50-60 N/cm<sup>2</sup> (5-6 kg/cm<sup>2</sup>), la pressione della valvola di sicurezza è quasi sempre compresa tra 4 e 5 kg/cm<sup>2</sup>.

Lo scarico della valvola di sicurezza è bene che sia convogliato in un contenitore in modo da non inquinare gli scarichi con additivi glicolati e al contempo poter visualizzare l'intervento della valvola e riutilizzare il fluido ad un successivo rabbocco dell'impianto.

Eventuali valvole di sfiato o riempimenti automatici dall'acquedotto devono essere muniti sempre di valvola di intercettazione manuale, da chiudere durante il funzionamento dell'impianto in modo da essere certi che la miscela acqua/glicole nel circuito avvenga solo mediante riempimento controllato da un operatore esperto.



## Valvola di non ritorno

Nella tubazione tra circolatore e pannelli è necessario installare una valvola di non ritorno in modo da impedire la circolazione inversa notturna quando il boiler risulterà più caldo dei pannelli.

## Caldaia di integrazione

Data l'incostanza dell'irraggiamento solare è sempre necessario prevedere un sistema di integrazione del calore. Salvo il caso di un mono utente con consumo inferiore a 100 litri/giorno, in cui può essere anche conveniente l'impiego di una resistenza elettrica da 500W, il sistema di integrazione del calore è costituito da calderine murali a gas metano di tipo modulante con potenza termica nominale pari al fabbisogno termico dell'utenza.

Si ricorda che per potenze inferiori a 30kW sono di riferimento le norme UNI 7129, mentre per potenze superiori a 35kW si devono applicare le norme di prevenzione incendi del DM 12/04/1996.



# Protezione antigelo

Gli impianti termici solari ubicati in zone in cui la temperatura esterna notturna o invernale è inferiore a 0°C devono essere protetti dal gelo. Le protezioni dal gelo possono essere attuate in 2 modi:

- 1) Realizzando impianti solari a svuotamento o con tubi sottovuoto Heat-Pipe;
- 2) Utilizzando fluidi termovettori non congelanti;

## Impianti a svuotamento (drain back)

Negli impianti a svuotamento, come suggerisce il termine, si provvede a svuotare il contenuto della parte di impianto esposto all'esterno (tubazioni e collettori) trasferendolo nel boiler di accumulo. Quando le condizioni climatiche diventano favorevoli viene riempito l'impianto tramite una pompa ad alta prevalenza.

Costruttivamente l'impianto a svuotamento differisce dal tradizionale impianto a circolazione forzata per 2 caratteristiche:

- Viene utilizzata una pompa anziché un circolatore (si ricorda che per definizione i circolatori devono vincere unicamente le resistenze accidentali del moto presenti in impianti idraulicamente pieni ed a circuito chiuso, mentre la pompa oltre alle resistenze al moto deve vincere i anche dislivelli geodetici);
- Viene utilizzato un boiler in cui l'accumulo è costituito dall'acqua del circuito solare mentre nel serpentino (minor volume) viene fatto passare il circuito sanitario da scaldare.

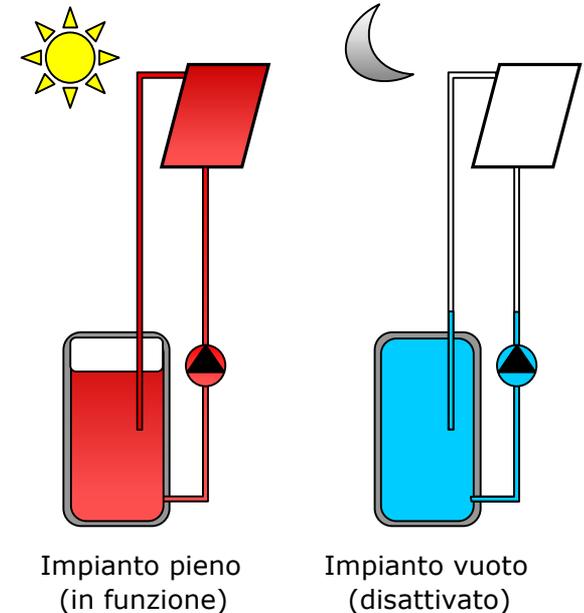
I pregi dell'impianto a svuotamento sono principalmente:

- Nessun rischio di gelo o di sovratemperature (si svuota l'impianto)
- Utilizzo di semplice acqua (risparmio sui prodotti antigelo)
- Minor rischio di proliferazione della legionella se l'accumulo viene utilizzato per il circuito solare e non per l'utilizzo sanitario;
- Nessun rischio di circolazione inversa notturna

Per contro vi sono alcuni problemi:

- Maggior consumo elettrico della pompa;
- Maggior dimensione dei boiler di accumulo;
- Maggior rumorosità dell'acqua per le fasi di svuotamento/riempimento
- Possibili problemi in caso incompleto svuotamento dell'acqua (scarico) o per completo sfiato dell'aria (fase di riempimento).

Questo tipo di impianti risultano molto diffusi anche in Australia non tanto come soluzione al pericolo di gelo ma come protezione dal surriscaldamento dell'acqua per eccessiva insolazione.



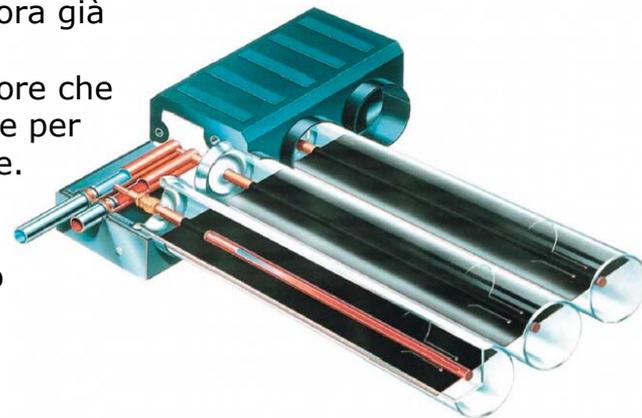
## Impianti con pannelli sottovuoto heat-pipe

Rispetto ai pannelli tradizionali questi collettori hanno l'assorbitore inserito all'interno di un tubo di vetro sottovuoto, che come per i termos, presentano una bassissima trasmittanza. Inoltre l'assorbitore è costituito da tubetti riempiti con un alcool che evapora già alle basse temperature.

All'estremità superiore del tubo il calore viene ceduto al liquido termovettore che scorre nel tubo superiore di raccolta. L'alcool, una volta raffreddato, ricade per gravità sul fondo del tubo heat-pipe ed è pronto ad assorbire nuovo calore. Perché questo meccanismo funzioni, i tubi devono essere installati con un'inclinazione minima di 30°.

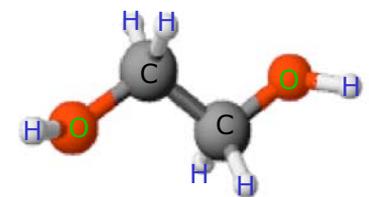
A fronte di un migliore rendimento dei pannelli questi impianti presentano alcuni svantaggi tra cui:

- Il vuoto all'interno dei tubi può diminuire con il passare degli anni;
- Presentano un maggior costo rispetto ai pannelli tradizionali;
- Non consentono la completa integrazione con la struttura dell'edificio.



## Glicole antigelo

Per garantire la protezione dal gelo degli impianti ordinari viene miscelata all'acqua una percentuale di antigelo in proporzione alla temperatura minima esterna dell'impianto. In commercio vi sono 2 tipi di glicole antigelo: il glicole propilenico ed il glicole etilenico. Sebbene le proprietà chimiche siano molto simili il glicole propilenico presenta una minore tossicità ma ha costi maggiori, così che il glicole etilenico è quello più utilizzato negli impianti solari.



Glicole etilenico  $C_2H_6O_2$

Caratteristiche	Acqua	Glicole Etil.
Formula	H <sub>2</sub> O	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>
Densità	1	1,11
Temperatura di fusione (°C)	0	-90
Temperatura di ebollizione (°C)	100	197
Temperatura di autoingnizione (°C)	-	410
Indice pH	7-7,5	9-9,5
Capacità termica (kJ/kg°C)	4,186	3,725

Dalla tabella si può notare che il glicole puro ha una temperatura di fusione (congelamento) addirittura di -90°C. Per contro presenta un possibile rischio di infiammabilità e una capacità termica inferiore all'acqua. Inoltre con il passare del tempo il glicole aumenta la proprietà acidità (con grave pericolo per le guarnizioni e le tubazioni dell'impianto) e genera composti filamentosi. Per tale motivo ogni 5 anni è consigliabile la sostituzione del liquido contenuto nell'impianto.

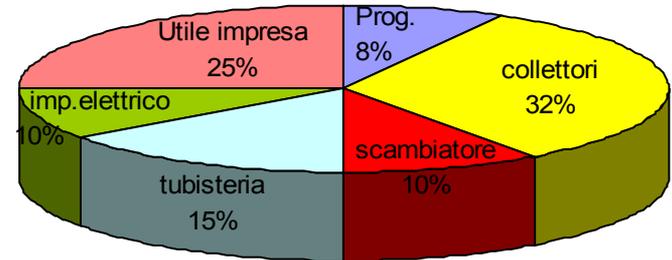
% glicole	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Temperatura di fusione °C	0	-2	-4	-6	-8	-12	-16	-22	-28	-33	-38	-46	-55

La tabella a fianco indica la temperatura di congelamento in rapporto alla % di miscela del glicole etilenico con l'acqua.

# Costi del solare Termico

## Costi

Il costo di realizzazione di un impianto solare è sensibilmente variabile in funzione della situazione economica locale, della tipologia di installazione: fabbricati nuovi o già esistenti, della posa dei pannelli (sovrapposizione o integrazione della copertura), dei permessi di costruzione, dell'entità delle modifiche all'impianto esistente, della necessità di attrezzature durante il montaggio (gru, impalcature,..), della tipologia di impianto e dei collettori, della potenza dell'impianto, dell'incidenza IVA, ecc...



Ripartizione spese per la realizzazione di un impianto solare da 10m<sup>2</sup> (costo 1.000 Euro/m<sup>2</sup>)

Attualmente (2006) il costo medio di un impianto a circolazione forzata per la produzione di ACS è di circa 1000 Euro/m<sup>2</sup> IVA esclusa. Per un impianto a circolazione naturale con le stesse caratteristiche, il costo si riduce a circa 800 Euro/m<sup>2</sup>. Il grafico soprariportato da un'idea dell'incidenza dei singoli costi per la realizzazione di un impianto a circolazione forzata.

## Risparmi

L'impianto termico solare ha, un po' come tutti i sistemi di sfruttamento dell'energia rinnovabile, maggiori costi iniziali per la realizzazione dell'impianto (circa 3 volte un impianto tradizionale a gas metano e circa 1,5 volte l'impianto a gasolio) ma ha il vantaggio di avere un costo estremamente basso di gestione in quanto il suo funzionamento evita il consumo, e quindi la spesa, dei tradizionali combustibili fossili.

Il grafico a fianco riporta la "velocità di ammortamento" di un impianto solare in funzione del costo dell'energia (espressa in Euro/kWh) prodotta con le fonti tradizionali. Ad esempio il metano ha un pci=9,6kWh/m<sup>3</sup> e costa 0,75Euro/m<sup>3</sup> IVA inclusa, quindi il costo energetico è di 7,8EuroCent/kWh con questo costo energetico un impianto solare si ammortizza in 8,8 anni, mentre con il gasolio che ha pci=9,96kWh/litro e costo di 1,4Euro/l ha costo energetico di 14EuroCent/kWh e riduce i tempi di ammortamento a 5,3 anni.

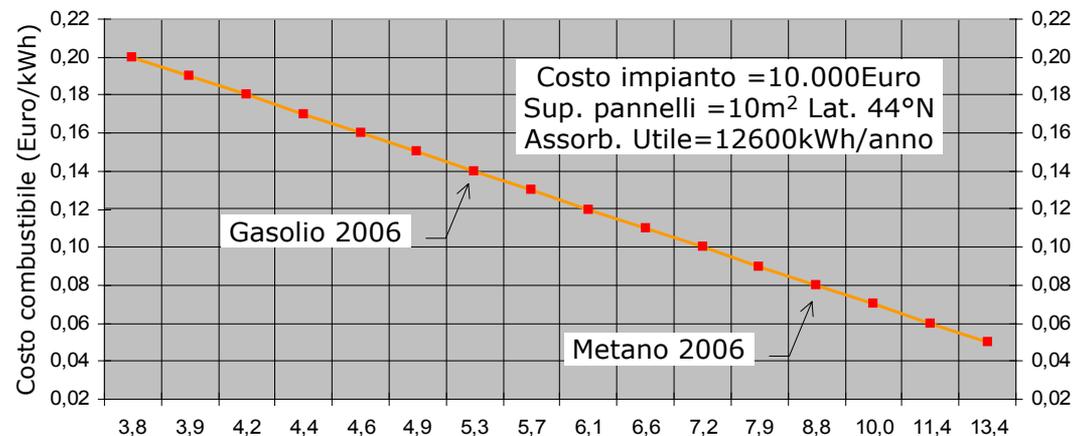


Grafico tempi ammortamento impianto solare in funzione del costo Euro/kWh del combustibile sostituito

## **PARTE 4**

# **IL SOLARE ELETTRICO**

- .... IN CORSO DI PREPARAZIONE....

# Bibliografia

Per chi volesse approfondire la propria conoscenza sulle tematiche trattate si segnalano:

## **NORME TECNICHE**

- DM MAP 06/02/2006 Criteri di incentivazione della conversione fotovoltaica da fonte solare
- UNI-EN832 Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento
- prEN15316-4, Thermal solar systems, CEN, Ottobre 2005
- ISO TR12596, Solar heating: dimension and installation guidelines

## **TESTI TECNICI**

- Elettricità dal sole, W. Palz, Tecniche Nuove, 1981
- Metodologie di risparmio energetico, Enea, HOEPLI Editore, 1984
- Corso di risparmio Energetico, Enea, 1987
- L'energia solare: impieghi pratici, E. Cometta, Editoriale Delfino, 1984
- La corretta realizzazione degli impianti fotovoltaici, CAST, editrice Il Rostro, 2000
- Il solare termico a circolazione forzata, Solarpraxis, Editore Thermital, 2004
- Manuale della regolazione e della gestione dell'energia, R. Cyssau, Tecniche Nuove, 1992
- Matematica finanziaria, Mario Trovato, ETAS Libri, 1990
- Impatto ambientale dei sistemi energetici, M.Bianchi A.Gambarotta A.Peretto, Ediz.Pitagora, 2004

## **SITI INTERNET**

Sono innumerevoli i siti internet di Università, Enti, Associazioni e Aziende in cui è possibile reperire documentazione sulle tecniche di sfruttamento dell'energia solare al punto che sarebbe difficile farne un elenco, per cui si rimanda ai motori di ricerca presenti su Internet. Un particolare ringraziamento va al Laboratorio LEEE dell'Università Professionale della Svizzera Italiana ([www.lee.ee.suspi.ch](http://www.lee.ee.suspi.ch))

[www.peritorusso.it](http://www.peritorusso.it)