Applicazione dell’energia solare per ottenere energia termica ad alta temperatura,per produrre energia elettrica.

scritto da Giovanni Francia | 1 Dicembre 2008

1. GRANDEZZE E VALORI DELL’ENERGIA SOLARE SULLA TERRA.

La Terra riceve dal Sole. fuori dell’atmosfera. 178.000 miliardi di kW corrispondenti al prodotto della costante solare, 1.4 kW/m^2, per l’area del cerchio massimo.

Solo una parte di questa energia arriva a noi; si ammette generalmente che il 45 %, cioè 80.000 miliardi di kW, raggiunga il suolo; il 55 %, cioè 98.000 miliardi di kW, si perde, riflesso o diffuso nello spazio.

Questi valori acquistano maggiore evidenza se tradotti in carbone-equivalente; supporremo che 1 kg di carbone corrisponda a 10 kWh termici. Con questa unità di misura, l'energia che la Terra riceve dal Sole in un anno fuori dell'atmosfera corrisponde a 156.000 miliardi di tonnellate di carbone, di cui 70.000 miliardi, circa diecimila volte il consumo attuale, arrivano al suolo.

Questa energia è tutt'altro che illimitata: anche ammesso che il 5 % possa essere sfruttato in calore ed energia meccanica, avremmo a disposizione solo 500 volte il consumo odierno, cioè quello che, con il tasso di incremento attuale, raggiungeremmo in poco più di 100 anni.

Osserviamo che il 5 % dell' energia solare totale impegnerebbe una porzione assai piccola della superficie terrestre: i soli deserti, con 30 milioni di km^2, ricevono l'equivalente di 7.000 miliardi di tonnellate di carbone/anno,cioè il 10 % dell'energia solare totale e mille volte il consumo attuale.

L'energia solare si distribuisce diversamente sulla Terra a seconda della latitudine, del clima e del microclima; in una prima grossolana classificazione possiamo distinguere : la zona torrida, con una media di oltre 1500 kWh/m^2.anno; le zone temperate. con 1200 – 1500 kWh/m^2.anno; le zone glaciali, con meno di 1200 kWh/m^2.anno; le zone desertiche arrivano poi a 2200 – 2400 kWh/m^2.anno.

La quantità di energia che arriva alle zone temperate – in tutto oltre 30.000 miliardi di tonnellate di carbone equivalente – è la più importante per quello che riguarda lo sfruttamento allo stato attuale della tecnica. Infatti le zone

temperate sono le più densamente abitate e consumano una grande quantità di energia termica a bassa temperatura per usi domestici ed industriali e per riscaldamento degli ambienti; questa energia, che negli Stati Uniti è stimata addirittura del 30 % del totale, è quella che più facilmente si può ottenere oggi dal sole perché la bassa temperatura di raccolta permette l'uso di impianti statici di basso costo e alto rendimento (pannelli solari).

Per la sua bassa qualità questa energia termica non può essere trasportata e la sua utilizzazione è perciò legata al clima del luogo. Col diminuire del soleggiamento diminuisce l'energia raccolta e contemporaneamente aumenta il costo dei pannelli raccoglitori che dovranno avere un maggior rendimento per supplire alla più bassa densità. Si raggiunge così rapidamente il limite al quale l'energia solare non è più economica: allo stato attuale della tecnica pensiamo che questo limite sia di 1000 kWh/m^2.anno per acqua per usi domestici alla minima temperatura di utilizzazione, 45° – 50°C; 1200 kWh/m^2.anno per acqua per usi domestici a 80°C con serbatoio di accumulo; 1400 kWh/m^2.anno per il condizionamento degli ambienti.

Per quanto riguarda la trasformazione in energia elettrica le temperature di raccolta sono molto più elevate ed oltre alla quantità è richiesta la continuità: le grandi centrali solari sono possibili solo dove il numero dei giorni di sole è molto alto; in queste zone l'energia solare supera generalmente i 1900 kWh/m^2.anno.

Anche nelle zone temperate e densamente abitate si trovano vaste aree con insolazione superiore a 1900 – 2100 kWh/m^2.anno. In particolare, per quanto riguarda l'Italia nel meridione ed in Sardegna troviamo parecchie migliaia di km^2 con insolazione dell' ordine di 2000 kWh/m^2.anno: si pensi che 1000

km^2 ricevono una quantità di energia solare equivalente a 200 milioni di tonnellate di carbone all'anno.

2. TECNICHE DI RACCOLTA E SFRUTTAMENTO DELL'ENERGIA SOLARE.

Temperature di raccolta.

Qualunque corpo nero esposto al Sole assorbe più del 95 % dell' energia che lo colpisce; si riscalda e può riscaldare un fluido, per esempio acqua. Fino a 35° – 40°C un così rudimentale assorbitore di energia raggiante ha un rendimento accettabile, ma, con l'aumentare della temperatura, l'energia termica che il corpo nero perde per reirraggiamento e per scambio con l'aria raggiunge rapidamente il valore dell'energia assorbita ed il rendimento cade a zero. Questo avviene intorno a 50° – 60°C.

Il valore dell'energia termica raccolta a così basse temperature è praticamente nullo: si presenta così il problema di aumentare la temperatura di raccolta fino ai valori richiesti dall'utilizzo pur senza diminuire il rendimento. Le temperature utili sono: dell'ordine di 100°C per le utilizzazioni che chiameremo a bassa temperatura, come rifornimento di acqua calda per usi domestici ed industriali, accumulo per i periodi privi di sole, condizionamento delle abitazioni, ecc.; dell'ordine di 600°C ed oltre per la trasformazione in energia meccanica ed elettrica o per la produzione di combustibili come l'idrogeno. In entrambi i casi si richiedono rendimenti di raccolta non inferiori al 50 – 70 %.

Per le basse temperature le tecniche si basano sulla protezione delle superfici calde dalle perdite per irraggiamento e convezione; per le alte temperature si deve ricorrere alla concentrazione mediante specchi.

Effetto serra.

Dà buoni risultati fino a 70° – 80°C. Consiste nel proteggere

l’ assorbitore – sostanzialmente costituito da una superficie nera – mediante una lastra di vetro o plastica, trasparente alla luce solare e nera, nel senso fisico della parola, per irraggiamento termico infrarosso. Il vetro assorbe l’energia reirraggiata dall’assorbitore; si riscalda e riemette in tutte le direzioni e perciò anche sull’assorbitore, che recupera così il 50 % dell’energia irraggiata.

La protezione di vetro limita poi anche le perdite dovute all’aria. L’uso di più strati di vetro aumenta la protezione, ma riduce la luce incidente di cui ogni strato riflette il 10%.

Superfici selettive.

Sono superfici “quasi nere” per la luce solare e “quasi bianche” per i raggi infrarossi; esse si ottengono sottoponendo la piastra assorbente a speciali trattamenti superficiali. Assorbono 0,80 – 0,90 nel campo del visibile ed emettono 0,15 – 0,25 nel campo dei raggi termici.

Utilizzabili oggi fino a 120° – 150°C; si pensa che queste temperature di utilizzo possano aumentare fortemente con la scoperta di nuove tecniche di produzione.

Nel vuoto queste superfici possono essere usate da sole; nell’ aria le perdite per conduzione e convezione richiedono una protezione ulteriore come quella dell’effetto serra.

Israele ha applicato industrialmente le superfici selettive alla costruzione di pannelli solari per usi domestici.

Cellule antiirraggianti.

Una tecnica nuova per raccogliere l’energia solare a più alte temperature e con maggiori rendimenti è stata presentata dallo scrivente alla Conferenza Mondiale di Roma (O.N.U.) sulle Nuove Fonti di Energia del 1961.

Una struttura a nido d’api, formata da materiali come pyrex,

quarzo, mica, materie plastiche, ecc., trasparenti ai raggi solari e neri per i raggi termici, viene posta a protezione della superficie calda dell' assorbitore.

Il nido d'api non limita l'energia solare che arriva all'assorbitore anche quando la direzione dei raggi è molto inclinata: quando il raggio incontra une parete della cellula il 90 % passa ed il 10 % viene riflesso ma entrambe le parti raggiungono l'assorbitore. Viceversa, l'energia termica emessa dall'assorbitore incontrando una parete della cellula viene assorbita: la parete si scalda e riemette in tutte le direzioni e perciò anche sull'assorbitore che ricupera parte dell'energia perduta. Si dimostra che il fattore di riduzione nell'energia perduta è circa uguale al rapporto tra il diametro medio della cellula e la sua altezza.

Le strutture antiirraggianti hanno anche l'effetto di eliminare la convezione dell'aria; esse potrebbero perciò essere usate senza vetro di protezione in atmosfera non inquinata.

Poiché il coefficiente di protezione è adimensionale, nello spazio l'altezza può essere ridotta ai minimi valori consentiti dalla tecnica se si riduce in proporzione il diametro: uno strato di cellule di cinque millimetri di altezza con diametro di 0,1, spessore delle pareti 0,005, peso dell' ordine di cento grammi al metro quadrato, posta a protezione di una superficie nera isolata posteriormente, perpendicolare ai raggi del sole, costituisce un assorbitore capace di raccogliere l'energia solare con l'89 % di rendimento, alla temperatura di circa 400°C.

Le strutture antiirraggianti possono essere usate sulle superfici selettive con e senza effetto serra: oltre a diminuire l' irraggiamento, evitano le perdite per convezione, che nelle superfici selettive sono le più importanti.

Le strutture antiirraggianti sono particolarmente necessarie

nelle alte temperature dove le perdite per irraggiamento sono molto grandi; fin d'ora disponiamo di materiali come mica, quarzo, vetri speciali, con i quali è possibile costruire strutture antiirraggianti a protezione di assorbitori che lavorano a 800- 1000°C.

Dopo la presentazione, le cellule sono state oggetto di studio specialmente in Italia, Francia ed U.S.A.; applicazioni alle basse ed alle alte temperature sono state progettate e realizzate con risultati del tutto conformi alla teoria in Italia e, con la collaborazione dello scrivente, in Francia. Alcune di queste saranno esposte più avanti; oggi alle cellule antiirraggianti si interessa anche l'Euratom che le ha messe al primo punto del suo programma 1974 per l'energia solare.

3. CALDAIE SOLARI PER ALTE TEMPERATURE.

Caldaia Solare di Cesana Torinese.

Un primo modello di caldaia per vapore ad alta temperatura è stato realizzato a Cesana Torinese nel 1961 (Fig. 1; mancano le figure).

Specchi conici in alluminio con superficie della bocca di 8 m^2 concentrano l'energia solare su una piastra di 0,5 m^2 di superficie a cui è termicamente collegato il tubo a spirale che vaporizza l'acqua. Per aumentare il coefficiente di assorbimento della piastra, la faccia esposta ai raggi solari era rigata da una fine spirale sottile e profonda come un disco da fonografo.

Sulla piastra era posta a protezione una struttura antiirraggiante formata da 2000 tubi di vetro sottile di 14 mm di diametro e 250 di altezza. Si ottenevano fino a 7 kg/h di vapore 100 atm e 500°C con potenza solare di 1100 W/m^2 (Cesana è una località alpina molto soleggiata) con rendimento di 0,75.

In prove di funzionamento a varie temperature comprese tra 200 e 600°C si è constatato che il rendimento cambia assai poco con la temperatura: è probabile che esso sia legato più che altro al coefficiente di riflessione dell'alluminio, alla trasparenza della struttura antiirraggiante e al coefficiente di assorbimento della piastra.

In prove fatte per confronto, senza la protezione della struttura antiirraggiante, il rendimento comincia a scendere sopra i 200°C e cade a zero a circa 400°C.

Caldaia Solare Lineare di Marsiglia.

Nel 1963 è stata progettata dallo scrivente, e costruita a Genova, con finanziamento francese CNRS e NATO, una caldaia solare lineare munita di cellule antiirragggianti per vapore 100 atm e 450°C. La caldaia è stata poi montata a Marsiglia nel 1964 (Facoltà di Eliotecnica dell'Università)-, (Fig. 2, mancante).

Essa consta di 7 specchi cilindro-parabolici di metri 1 x 8 che riflettono i raggi solari sulla caldaia di metri 0,25 x 8. La curvatura degli specchi è tale che il fascio di luce che arriva alla caldaia ha una larghezza media di metri 0,2; per seguire il moto del Sole gli specchi ruotano tutti alla stessa velocità attorno al loro asse longitudinale.

I 7 metri di larghezza complessiva degli specchi inviano i raggi solari negli 0,25 m della bocca della caldaia: si ottiene cosi una concentrazione di 28x.

Nella parte alta della caldaia è posto un fascio di tubi bollitori rigati ad elica per aumentare il coefficiente di assorbimento dell' energia raggiante; le pareti verticali che portano dalla bocca della caldaia al fascio tubiero sono speculari per riflettere l'energia che arriva in direzione inclinata ; nella zona sottostante al fascio tubiero la struttura antiirraggiante costituita da circa 1000 tubi di pyrex diametro 40 mm e altezza 250 mm riduce al minimo le

perdite termiche per reirraggiamento e ventilazione.

Questa caldaia, ancor oggi in funzione, dà fino a 38 kg/h di vapore 100 atm, 450°C, con Sole a 1000 W/m^2; il rendimento supera lo 0,6.

Caldaie Lineari e Caldaie Puntuali.

Dopo il successo tecnico della caldaia di Marsiglia il problema ha assunto un aspetto prevalentemente economico. In una caldaia solare lineare il campo specchi è semplice ed economico ma la caldaia è lunga, pesante e costosa. Anche se comporta un campo specchi più complesso, una caldaia puntuale è preferibile perché ai vantaggi di costo, ingombro, peso, facilità di installazione, unisce la possibilità di ridurre l'area della bocca ai valori ottimali indicati dalla teoria.

In una centrale solare puntuale il campo specchi è formato da un gran numero di specchi piani di superficie minore-uguale di quella della bocca della caldaia. Si ottiene una concentrazione uguale al numero degli specchi moltiplicato per un fattore di correzione che varia con il variare della posizione diurna e annua del Sole con un valore medio di 0,8 nelle ore di mezzogiorno: un campo di mille specchi darà una concentrazione di 800. Con una così alta densità di energia si può progettare la caldaia, ed in particolare il fascio tubiero, sfruttando tutte le caratteristiche dei materiali oggi disponibili per ridurre al minimo i pesi, gli ingombri e i costi.

Cinematismi porta – specchi per Caldaie Solari Puntuali.

Per riflettere i raggi solari nella caldaia ogni specchio deve mantenersi normale alla bisettrice dell'angolo formato dalle rette che lo uniscono rispettivamente alla caldaia ed al Sole; la legge di moto per seguire il sole nel suo movimento diurno e annuo è abbastanza complessa e diversa da specchio a specchio. Il problema di realizzare queste leggi di moto è

stato risolto dallo scrivente con la costruzione di cinematismi che, tutti uguali tra loro e perciò costruibili in serie, vengono regolati al momento del montaggio per tener conto delle posizioni relative specchio-ealdaia. La legge di moto di ciascun specchio è attuata dal corrispondente cinematismo a partire da un moto di rotazione uguale per tutti di 15°/h attorno ad un asse parallelo all'asse terrestre. Nella Fig. 3 (mancante) è rappresentato un cinematismo del tipo più recente.

STAZIONE SOLARE DI S. ILARIO DI NERVI

Prima Caldaia Solare Puntuale.

Nell'inverno 1964/65, con sovvenzioni CNR e NATO, in collaborazione col Prof. A. Capocaccia Preside della Facoltà d'Ingegneria di Genova, lo scrivente ha fondato la Stazione Solare di S. Ilario di Nervi con lo scopo principale di costruire e sperimentare un prototipo di caldaia solare puntuale con cellule antiirragggianti per la produzione di vapore 150 atm, 500°C con un rendimento previsto di 0,7.

La costruzione di questo primo elemento è terminata nella primavera del '65. Il campo specchi era costituito da 121 cinematismi disposti a scacchiera su un quadrato, ciascuno portante uno specchio rotondo per una superficie utile totale di 30 m^2.

Circa tre metri sopra il campo specchi era montata una caldaia per energia raggiante; lo scambiatore di calore era formato da circa 60 metri di tubo d'acciaio avvolto parte a serpentino e parte a spirale e protetto da cellule antiirraggianti formate da tubi di vetro pyrex con rapporti altezza/diametro decrescenti dal centro, più caldo, alla periferia, più fredda (Fig. 4 e Fig. 5, mancanti.

Un registratore a 12 entrate, con fondo scala a 700°C, forniva i grafici delle temperature in vari punti della caldaia.

Si sono ottenuti, con Sole di 900 W/m^2, punte di 21 kg/h di vapore 150 atm, 500°C e medie di 19 kg/h per periodi di 5-6 ore, corrispondenti a rendimenti di 0,65-0,70.

Fin dalle prime esperienze si è notato che una parte eccessiva dell'energia solare che entrava nella caldaia veniva diffusa e perduta per le cattive qualità ottiche del tubo scambiatore di calore; ripetuti tentativi di migliorare queste qualità con vernici nere speciali si sono dimostrati inutili per la scarsa resistenza di queste alle alte temperature superficiali dei tubi.

È stata così studiata e costruita una nuova caldaia in cui le proprietà ottiche dei tubi destinati ad assorbire l'energia raggiante sono assicurate più dalla geometria che dal colore. In questa caldaia il tubo che forma la spirale del serpentino ha sezione triangolare e presenta un angolo acuto ai raggi solari in entrata. La geometria dei tubi è poi tale che la luce non può essere riflessa fuori della caldaia se non dopo aver incontrato due o più volte un tubo. Con questa caldaia il rendimento dell'impianto superava lo 0,7.

Nel tentativo di aumentare ancora le qualità ottiche della superficie assorbente, si è smaltato l'intero scambiatore di calore con smalto nero lucido, teoricamente resistente a 950°C: anche questo trattamento ha avuto breve durata e non ha portato sensibili vantaggi, con ciò confermando l'importanza della geometria nell'assorbimento di energia raggiante ad alta temperatura.

Seconda Caldaia Solare Puntuale.

Nell'inverno 1965 è stato rifatto il campo specchi usando specchi di maggior diametro e meglio disposti per limitare le interferenze tra specchio e specchio (ombra e intercettazione della luce riflessa) nei periodi di Sole basso. Contemporaneamente è stata modificata la caldaia, cambiata la struttura antiirraggiante, rifatto il sostegno, ecc. Questo

secondo impianto è rappresentato in Fig. 6 (mancante).

Il nuovo campo specchi aveva una superficie utile di 52 m^2 e la caldaia forniva 38 – 40 kg/h di vapore 150 atm, 500°C con un rendimento superiore a 0,7.

Terza Caldaia Solare Puntuale.