

**“IMPIEGO DEL SOLARE TERMODINAMICO PER LA
PRODUZIONE DI COMBUSTIBILI ECOCOMPATIBILI
DALLA CO₂”**

Ing. Suzel Terzi

Tutor: Ing. Giovanni Pino

INDICE

| | |
|---|---------|
| Introduzione | pag. 03 |
| Capitolo 1: Gas Serra | pag. 04 |
| Capitolo 2: Protocollo di Kyoto | pag. 05 |
| Capitolo 3: Solare termodinamico a concentrazione | pag. 09 |
| 3.1: Parabolic dish | pag. 10 |
| 3.2: Parabolic trough | pag. 11 |
| 3.3: Solar towers | pag. 13 |
| Capitolo 4: SOLAREC: | pag. 13 |
| 4.1 Processo | pag. 15 |
| 4.2 Resa energetica | pag. 17 |
| Capitolo 5: ENERGY TOWERS | pag. 24 |
| Conclusioni | pag. 28 |
| Bibliografia | pag. 31 |
| Appendice I: ENERGY TOWER | |
| “Calcolo della Potenza Netta (P_N)” | pag. 32 |

“IMPIEGO DEL SOLARE TERMODINAMICO PER LA PRODUZIONE DI COMBUSTIBILI ECOCOMPATIBILI DALLA CO₂”

Introduzione

La disponibilità energetica ha sempre rivestito un ruolo fondamentale per lo sviluppo tecnologico delle civiltà fin dalla rivoluzione industriale, ed in particolare, negli ultimi decenni, con la crescita del settore industriale e conseguentemente della domanda di energia dei paesi in via di sviluppo questa richiesta è aumentata sensibilmente fino a raggiungere un tasso annuale medio pari al 3% del consumo medio planetario per i paesi in via di sviluppo, mentre per i paesi industrializzati questo valore si attesta intorno all' 1%.

Fino ad oggi la richiesta energetica è stata soddisfatta principalmente dai combustibili fossili, fonte energetica che sta andando verso l'esaurimento. Inoltre il processo di combustione finalizzato alla generazione di energia produce gas di scarto (gas serra), che costituiscono la principale fonte di inquinamento del nostro pianeta. Questa situazione ha portato la comunità scientifica internazionale da un lato a concentrarsi sullo sviluppo di tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili, dall'altro a ricorrere a strategie e tecnologie innovative per la produzione di energia da fonti tradizionali che migliorino il rendimento delle stesse e che ne riducano l'impatto sull'ambiente.

Il sole come fonte di energia rinnovabile nelle sue varie forme: eolica, idroelettrica, solare termica e fotovoltaica, biomasse etc. contribuisce alla domanda sempre crescente di energia e consente la riduzione delle emissioni gassose associate alla produzione di energia da fonti fossili. Inoltre essendo fonti endogene contribuiscono anche a ridurre la dipendenza dall'estero e a diversificare le fonti di approvvigionamento.

Le fonti di energia rinnovabili, nel mondo, rappresentano poco più del 14% delle fonti di energia totali con una netta prevalenza delle biomasse (11%), in larga misura costituite da biomasse tradizionali (legna), e dell'idroelettrico (2,3%). In Europa tali fonti coprono attualmente appena il 6% (2003) dei consumi totali di energia, laddove il loro potenziale tecnico è stimato dalla Commissione Europea intorno al 29% della domanda finale di energia. La Commissione nel suo Libro Bianco sulle Fonti Rinnovabili di Energia ha stabilito l'obiettivo di coprire con queste fonti, entro il 2010, il 12% dei consumi interni, ossia il 22,1% dei consumi elettrici.

Fra le varie tecnologie che rappresentano oggi lo stato dell'arte in materia di sfruttamento delle potenzialità offerte dall'energia solare, verrà presentato in questo lavoro un quadro generale del solare termodinamico a concentrazione, focalizzando l'attenzione in particolare su due diverse tecnologie: il SOLAREC, che con il suo processo utilizza la CO₂ (anidride carbonica) per produrre energia sotto forma di elettricità e di combustibile chimico diminuendo di fatto l'immissione in atmosfera della CO₂ sotto due aspetti, utilizzando quella presente in atmosfera e non emettendola durante il processo di produzione dell'energia.

L'altra tecnologia è quella impiegata nelle ENERGY TOWERS che utilizzano l'energia solare in maniera indiretta sfruttando la circolazione dell'aria che si realizza nelle celle di Hadley.

1. GAS SERRA

L'effetto serra è un fenomeno climatico che consiste nel riscaldamento degli strati inferiori dell'atmosfera per effetto della schermatura che offrono alcuni gas in essa contenuti. Questi ultimi, detti comunemente gas-serra, risultano trasparenti alle radiazioni di lunghezza d'onda relativamente piccola e opachi a lunghezza d'onda maggiori. Il loro comportamento fa sì che le radiazioni a breve lunghezza d'onda provenienti dal Sole attraversino con facilità l'atmosfera e riescano a raggiungere la superficie terrestre, che in parte le riflette e in parte le assorbe. La frazione di radiazione assorbita dalla Terra viene restituita sotto forma di raggi infrarossi a lunghezza d'onda maggiore, che non si disperdono, ma rimangono intrappolati negli strati inferiori dell'atmosfera, in quanto assorbiti dai gas-serra. L'assorbimento dei raggi infrarossi provoca un naturale innalzamento della temperatura dell'aria e della superficie terrestre.

In assenza di questo fenomeno la Terra avrebbe una temperatura media di ben 18°C inferiore a quella attuale, che è di 15°C che permetta una vita sulla Terra come oggi la conosciamo.

Oggi le emissioni antropiche stanno minando questo delicato equilibrio, causando un aumento della temperatura terrestre determinando, di conseguenza, dei profondi mutamenti al clima sia a livello planetario che locale.

I principali gas che causano l'effetto serra sono: Anidride carbonica (CO₂), Metano (CH₄), Protossido di azoto (N₂O), Perfluoro carburi (PFC), Idrofluoro carburi (HFC), esafluoruro di zolfo (SF₆), ognuno di questi con diversi potenziali di riscaldamento globale.

L'apporto di anidride carbonica in atmosfera è dovuto principalmente alla combustione dei combustibili fossili (75%), alla deforestazione (24%) che contribuisce all'incremento dell'anidride carbonica sia in maniera diretta - perché la maggior parte delle foreste tropicali viene bruciata per il reperimento di nuove aree agricole - sia in maniera indiretta perché viene ridotta la capacità delle foreste nella rimozione di parte del surplus annuo di CO₂ atmosferica, produzione di cemento (0,6%) e cattiva gestione dei suoli.

Per quanto concerne il **metano** (CH₄) il suo contributo dipende in gran parte dall'estrazione di combustibili fossili (20%), dighe/bacini (20%), digestione del bestiame (18%), risaie (17%), discariche (10%), deiezione animale (7%) e di emissioni di monossido di carbonio.

La gran parte del **protossido di azoto** (N₂O) sotto forma gassosa naturale è liberata dagli oceani il resto è dovuto ai processi che avvengono nel suolo. Il gas è un sottoprodotto del processo biologico di denitrificazione in ambienti anaerobici e del processo biologico di nitrificazione in ambienti aerobici. Circa un terzo delle emissioni di N₂O sono antropogeniche e provengono da terreni agricoli, dal bestiame e dall'industria chimica.

I gas fluorati, HFC, PFC e SF₆ provengono essenzialmente da attività industriali come ad esempio i processi di refrigerazione e non derivano dai processi energetici.

2. PROTOCOLLO DI KYOTO

Il Protocollo di Kyoto è un documento redatto e approvato nel corso della Convenzione Quadro sui Cambiamenti climatici tenutasi in Giappone nel 1997, entrato in vigore il **16 Febbraio 2005**.

Nel Protocollo sono indicati per i Paesi dell'Annesso I gli impegni di riduzione e di limitazione quantificata delle emissioni di gas serra:

- ✓ Biossido di carbonio (CO₂)
- ✓ gas metano (CH₄)
- ✓ protossido di azoto (N₂O)
- ✓ esafluoruro di zolfo (SF₆)

- ✓ idrofluorocarburi (HFC)
- ✓ perfluorocarburi (PFC)

In particolare le Parti dovranno, individualmente o congiuntamente, assicurare che le emissioni antropogeniche globali siano ridotte di almeno il 5% rispetto ai livelli del 1990 nel periodo di adempimento 2008-2012.

Il protocollo prevede due possibili strumenti per conseguire questi obiettivi:

Le **politiche e misure** sono quegli interventi previsti dallo Stato attraverso programmi attuativi specifici realizzati all'interno del territorio.

I **meccanismi di flessibilità**, danno la possibilità di utilizzare a proprio credito attività di riduzione delle emissioni effettuate al di fuori del territorio nazionale. Questo è permesso considerando il fatto che i cambiamenti climatici sono un fenomeno globale ed ogni riduzione delle emissioni di gas serra è efficace indipendentemente dal luogo del pianeta nel quale viene realizzata. Si distinguono tre tipi di meccanismi flessibili:

- *l' International Emissions trading (IET)*
- *il Clean Development Mechanism (CDM)*
- *la Joint Implementation (JI)*

L'Emission trading è una misura ammessa tra i Paesi appartenenti all'Annesso I, che si esplica nella creazione di un mercato dei permessi di emissione.

La *Joint Implementation* (implementazione congiunta) è una misura che prevede la collaborazione tra Paesi sviluppati e che consente a un Paese dell'Annesso I di ottenere crediti di emissione grazie a progetti di riduzione delle emissioni oppure di assorbimento delle emissioni di gas a effetto serra sviluppati in un altro Paese dell'Annesso I.

Il *Clean Development Mechanism* (meccanismo di sviluppo pulito) è uno strumento analogo alla JI e si differenzia da quest'ultima in quanto coinvolge attori diversi ovvero Paesi appartenenti all'Annesso I e Paesi che non vi appartengono. Le misure di flessibilità vengono considerate supplementari rispetto alle azioni domestiche. Le regole che permetteranno di rendere operativi i meccanismi di flessibilità devono essere ancora precisate.

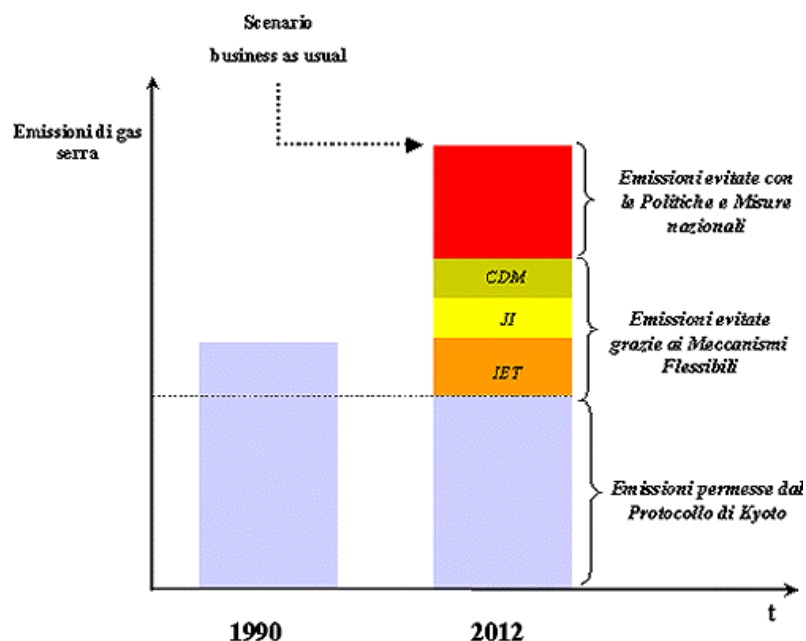


Figura 1: Strumenti per il raggiungimento degli obiettivi del Protocollo di Kyoto

In particolare, l'**Unione Europea** ha un obiettivo di riduzione del 8%, nell'ambito del quale l'**Italia** si è impegnata a ridurre le emissioni del 6,5%.

L'Italia con la legge n° 65 del 15 gennaio 1994 ha ratificato la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici. Il protocollo di Kyoto è stato ratificato invece con la Legge 1 giugno 2002, n.120, con la quale venne stabilito come obiettivo la riduzione delle emissioni dei gas ad effetto serra del 6,5% rispetto ai livelli del 1990, per cui la quantità di emissioni assegnata all'Italia non potrà eccedere nel periodo 2008-2012 il valore di 487,1 MtCO₂ eq.

Oggi con il decreto legislativo numero 216 del 4 aprile 2006 sono state fissate la quantità totale che si intende assegnare per il periodo 2008 – 2012 agli impianti esistenti come riportato in Tab.1.

| | 2008 [Mt CO ₂] | 2009 [Mt CO ₂] | 2010 [Mt CO ₂] | 2011 [Mt CO ₂] | 2012 [Mt CO ₂] |
|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Quantità totale di quote che si intendono assegnare | 206,72 | 198,47 | 191,41 | 179,72 | 177,38 |

Tabella 1: quantità totale delle quote medie che si intendono assegnare nel periodo 2008-2012

Mentre andando nello specifico per le singole attività è stato così stabilito :

| | Assegnazione (2005-2007) ¹⁰ [MtCO ₂ /anno] | Assegnazione (2008-2012) ¹¹ [Mt CO ₂ /anno] |
|--|--|---|
| ATTIVITÀ ENERGETICHE | | |
| Termoelettrico cogenerativo e non cogenerativo | 131,06 | 100,66¹² |
| Altri impianti di combustione | 14,90 | 14,52 |
| <i>Compressione metanodotti</i> | 0,88 | 0,88 |
| <i>Teleriscaldamento</i> | 0,23 | 0,23 |
| <i>Altro</i> | 13,78 | 13,41 |
| Raffinazione | 23,76 | 20,06¹³ |
| Produzione e trasformazione dei metalli ferrosi | 14,76 | 15,76 |
| <i>Ciclo integrato, sinterizzazione, cokeria</i> | 13,47 | 14,47 ¹⁴ |
| <i>Forno elettrico</i> | 1,29 | 1,29 |
| Industria dei prodotti minerali | 33,54 | 34,65 |
| <i>Cemento</i> | 26,52 | 27,63 ¹⁵ |
| <i>Calce</i> | 3,07 | 3,07 |
| <i>Vetro</i> | 3,15 | 3,15 |
| <i>Prodotti ceramici e laterizi</i> | 0,80 | 0,80 |
| Altre attività | | |
| <i>Pasta per carta/carta e cartoni</i> | 5,09 | 5,09 |
| Totale^{*)} | 223,11 | 190,75 |
| Riserva impianti "nuovi entranti" | | |
| <i>Settore termoelettrico</i> | | 15,84 ¹² |
| <i>Settori non termoelettrici</i> | | 2,42 |
| Totale^{*)} | 223,11 | 209,00 |

^{*)} I totali potrebbero non corrispondere alla somma degli addendi a causa degli arrotondamenti

Tabella 2: Distribuzione per attività delle assegnazioni medie annue ai periodi (2005-2007) e 2008-2012 per gli impianti esistenti

Questo è da considerarsi l'ultimo degli step effettuati dal nostro Stato riguardante il rispetto delle norme a suo tempo stabilite dal Protocollo di Kyoto.

L'ultima Conferenza delle Parti (COP 12) svoltasi nella città di Nairobi nel novembre 2006, ha dato risultati piuttosto deludenti forse l'unica nota positiva è dovuta all'accordo che prevede una ricerca per le applicazioni del protocollo di Kyoto entro il 2008 al fine di fissare le quote di emissione per il periodo dopo il 2012, quando la convenzione di Kyoto arriverà alla sua scadenza. dove sono state tre le principali decisioni prese in materia di salvaguardia ambientale.

A conferma dello scarso impegno di molte nazioni si è tra l'altro stipulato che:

1. I Paesi detti "in via di sviluppo" (inclusi Cina, India e Brasile) si sono impegnati genericamente a discutere a partire dal 2008 restrizioni alle proprie emissioni, ma per il momento non sono inclini ad accettare "impegni vincolanti".
2. Tutti i Paesi hanno firmato un documento in cui riconoscono la necessità di dimezzare le emissioni globali di gas ad effetto serra entro il 2050.
3. Il Canada, dopo le voci di una possibile fuga da Kyoto, ha confermato di voler provare a rispettare gli impegni presi e di voler partecipare al Kyoto-bis, ma ha ampiamente lasciato intendere che spingerà, come Cina e India, per impegni di

"basso profilo".

4. L'Australia, rimasta finora fuori dal sistema Kyoto, si è detta pronta a qualche concessione, e potrebbe forse partecipare ad un Kyoto-bis annacquato.
5. Gli Stati Uniti hanno confermato che non intendono partecipare al sistema Kyoto, neppure se dovesse essere ammorbidito.
6. In ambito UE, si è formato un asse Francia-Italia-Inghilterra favorevole ad un Kyoto-plus, ovvero ad un forte accrescimento degli impegni di riduzione di un primo nucleo di Paesi particolarmente attenti ai cambiamenti climatici. I tre Paesi proveranno a spingere l'intera UE verso una posizione "forte". Ad essi sembrano orientate ad unirsi in tempi brevi Germania e Spagna. Francia, Inghilterra e Italia hanno dichiarato di voler tagliare del 60% le loro emissioni entro il 2060.

7. La carbon tax

Nel corso della Conferenza, Svizzera e Francia hanno proposto una tassa mondiale sulla CO₂. La proposta è stata accolta con freddezza da gran parte dei partecipanti. La Francia ha annunciato che introdurrà comunque nel suo territorio la carbon-tax, ovvero una specifica tassa sulle emissioni di anidride carbonica. L'Italia, in cui questo tipo di tassa era stata prevista già dal primo governo Prodi, senza poi essere compiutamente attuata, ha dichiarato di voler iniziare ad applicarla.

8. Commercio e clima

La Francia ha proposto all'UE di stabilire limitazioni e penalizzazioni per le merci importate da Australia e Stati Uniti, sul presupposto che questi due Paesi, non aderendo al sistema Kyoto, si ritrovano avvantaggiate economicamente nel breve periodo a discapito di tutto il pianeta.

Nel marzo del 2007, infine, la Commissione Europea ha stabilito come obiettivo Europeo vincolante sul piano politico che le energie rinnovabili raggiungano il 20% della produzione energetica totale entro il 2020.

3. SOLARE TERMODINAMICO A CONCENTRAZIONE

Il solare termodinamico è una tecnologia piuttosto nuova ma già dai suoi esordi mostra grandi potenzialità. Si basa sulla produzione di energia elettrica mediante cicli termodinamici lavorando a medie ed ad alte temperature sfruttano l'energia solare in modo diretto. Le zone geografiche che meglio si adattano a questo tipo di tecnologia sono quelle

che appartengono alla così detta “sun belt” (fascia solare), area di maggiore irraggiamento solare del pianeta, che trova la sua massima potenzialità nelle zone dei tropici.

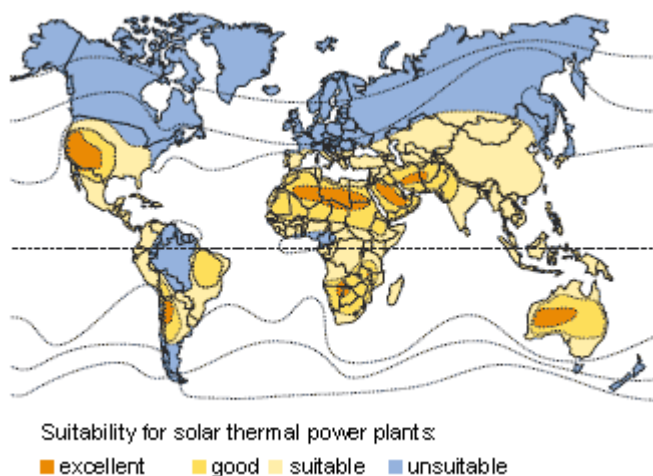


Figura 2 Sun belt (fascia solare)

In particolare il solare termodinamico a concentrazione, che andremo ad analizzare in questo studio, produce energia elettrica convertendo l'energia solare in vapore ad elevata temperatura utilizzando diverse configurazioni di specchi. Il vapore viene incanalato verso un generatore di energia elettrica convenzionale. Il sistema consta essenzialmente di due fasi: nella prima l'energia solare viene “incanalata” e trasformarla in vapore ad elevata temperatura, nella seconda l'energia di vapore viene convertita in elettricità.

Per raggiungere livelli di temperatura confrontabili con quelli ottenuti dalle fonti di energia tradizionali (400 – 600 °C) è necessario concentrare l'energia solare, questo viene fatto utilizzando degli “specchi”. L'utilizzo del concentratore ottico permette al fluido di raggiungere elevate temperature fino agli 800 °C.

3.1 Parabolic Dish (Specchi parabolici)

E' un generatore di energia elettrica, la superficie riflettente è costituita da una sezione parabolica mobile, che insegue su due assi ortogonali la radiazione solare concentrandola nel punto focale dove è posto il ricevitore.

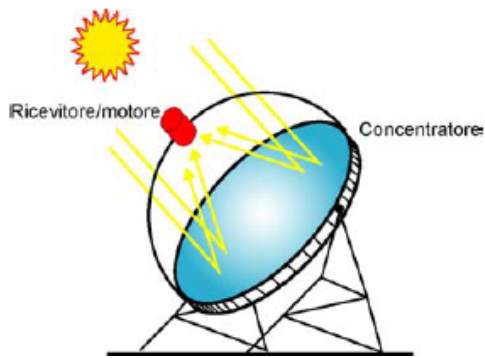


Figura 3 Parabolich Dish

Il calore assorbito è trasferito (a 750 °C) da un sistema fluido-vapore (ad esempio sodio) al motore-generatore, ad esempio un motore lineare tipo Stirling, posizionato sopra il ricevitore.

Le dimensioni dei singoli moduli possono variare nell'intervallo da 5 a 50 kW, con una serie di tali concentratori si possono realizzare impianti di qualsiasi taglia e potenza.

3.2 Parabolic Trough (Specchi semicircolari lineari a sezione parabolica)

L'energia solare viene concentrata attraverso delle superfici semi-cilindriche nel fuoco delle quali passa una condotta. Questi specchi ruotano attorno al loro asse "inseguendo" la radiazione solare.

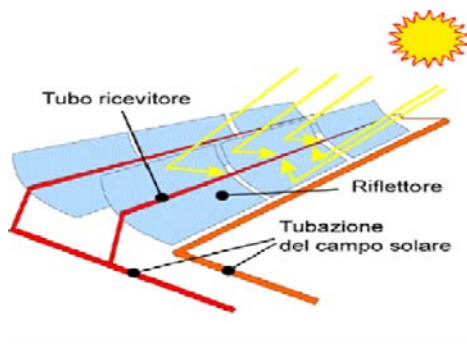


Figura 4 Parabolic Trough

Il collettore è quindi lineare, ed al suo interno, nella condotta, viene fatto circolare il fluido che costituisce lo scambiatore primario (olio minerale). Il fluido primario cede poi calore ad un fluido secondario termovettore (generalmente acqua) collegato al gruppo turbina-alternatore, che trasforma l'energia termica in elettrica.

Le temperature sviluppate vanno da 400 a 600°C dipendentemente dal fluido termovettore utilizzato. Tali impianti oggi hanno dimensioni tipiche dell'ordine da 30 a 80 MW, questi impianti possono essere ibridi, cioè abbinati ad una caldaia alimentata a combustibili fossili (gas naturale nel miglior caso) per regolare il carico e le temperature in mancanza di sole.

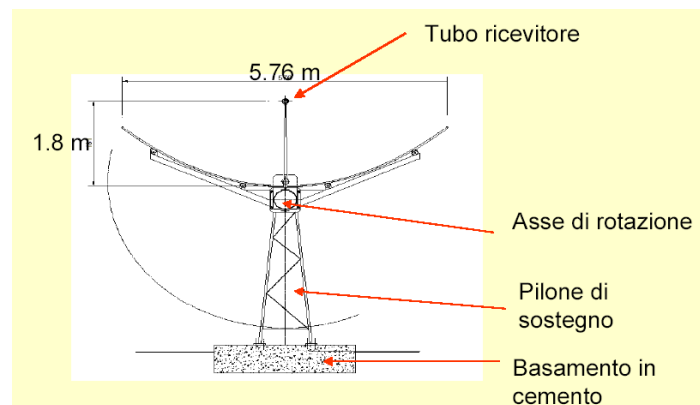


Figura 5 Sezione parabolic trough

I collettori vengono posizionati in file parallele lungo l'asse nord-sud, questa configurazione permette agli specchi di seguire il “percorso” giornaliero del sole, est-ovest, al fine di assicurarsi che la radiazione solare sia sempre concentrata nel fuoco degli specchi.

3.3 Solar Tower (o CRS – Central Receiver System)

L'impianto è costituito da numerosi specchi, detti eliostati, che concentrano la radiazione in uno stesso punto. Il ricevitore si trova in cima ad una torre (da cui il nome “torri solari”) ed al suo interno viene fatto scorrere il fluido primario (miscela di sali fusi) che assorbe il calore.

Il calore trasferito al fluido secondario viene utilizzato per produrre vapore che a sua volta viene impiegato in una convenzionale turbina-alternatore che trasforma energia termica in elettrica.

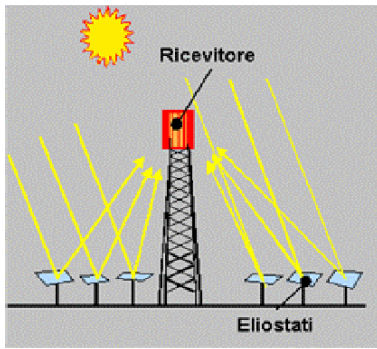


Figura 6 Solar Tower

Questi impianti lavorano ad alte temperature, $500 - 600\text{ }^{\circ}\text{C}$, ed inoltre consentono l'accumulo di energia. Le perdite energetiche più importanti sono dovute a perdite ottiche e perdite collegate al calore radiante.

4 SOLAREC (Solar Reduction of Carbon Dioxide)

Tra i diversi impianti che si basano sulla tecnologia del solare termodinamico a concentrazione il SOLAREC è quello che meglio si adatta al nostro scopo, in quanto non solo sfrutta una fonte di energia rinnovabile come il sole, ma grazie al suo processo abbatte l'emissioni di anidride carbonica.

Inoltre nel campo delle tecnologie che sfruttano l'energia solare ricopre una posizione unica in quanto converte energia solare direttamente in combustibile chimico, mentre molti altri processi investono gran parte dell'energia prodotta nel processo di conversione dell'energia.

Altra particolarità di questa tecnologia è che l'impianto lavora in continuo in quanto durante il giorno produce "combustibile chimico" ed elettricità mentre la notte, in assenza di radiazioni solari, brucia il combustibile prodotto durante le ore diurne.

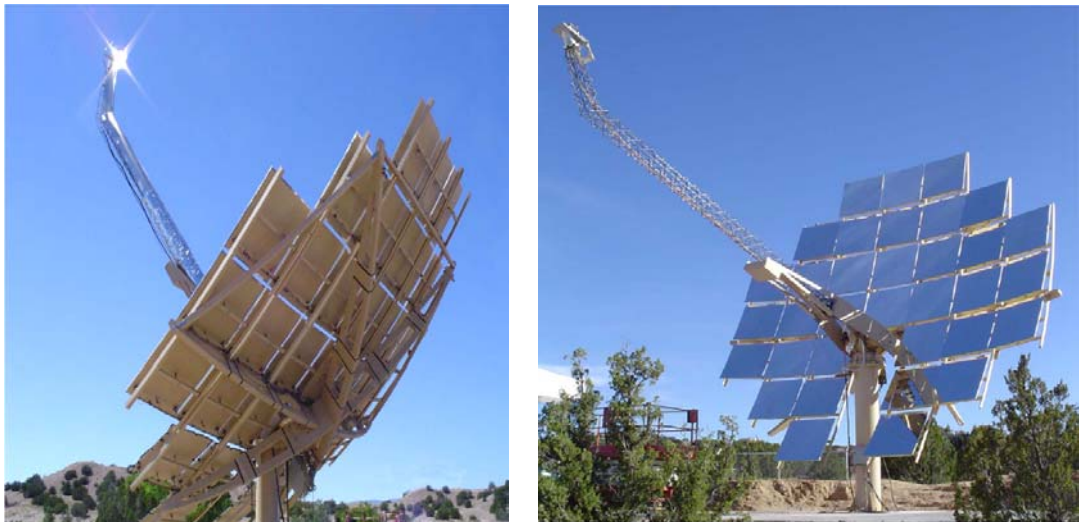


Figura 7 Solarec

Caratteristiche principali :

- 0% emissione di inquinanti;
- ecosostenibile;
- produce combustibile che può avere diversi utilizzi:
 - celle a combustibile;
 - processi industriali;
 - carburante per veicoli;
 - carburante per abitazioni.

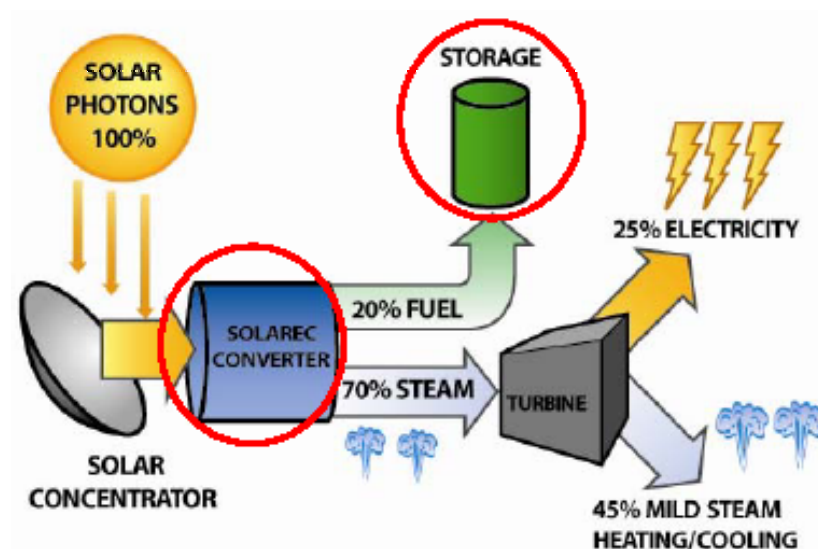


Figura 8 Schema del processo.

Il sistema è costituito da un concentratore solare realizzato con degli specchi che convogliano le radiazioni solari in una zona molto piccola, camera di reazione, nella quale

si raggiungono temperature molto elevate, dell'ordine dei 2.400°C , temperatura questa necessaria per far avvenire la reazione di dissociazione della CO_2 (biossido di carbonio) sulla quale si basa l'intero processo.

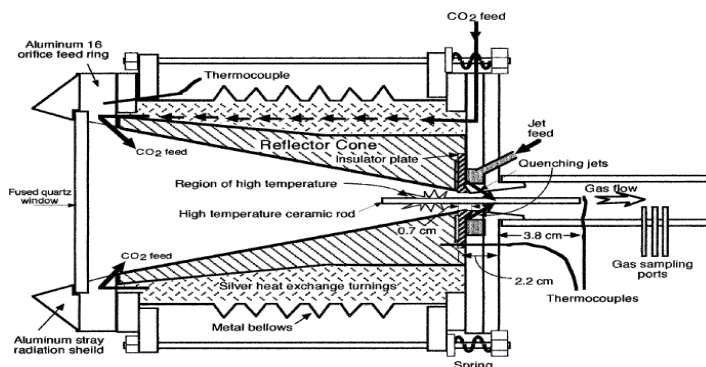


Figura 8 Camera di reazione.

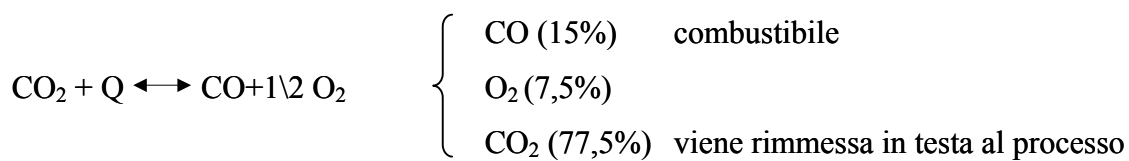
La dissociazione della CO_2 avviene in un piccolo convertitore che si trova nel punto focale degli specchi, mentre le altre reazioni avvengono nella stazione.

L'anidride carbonica viene immessa, all'interno della "camera di reazione", attraverso degli ugelli, mentre la temperatura elevata viene garantita per mezzo di un "asta" ceramica, che diffonde il calore all'interno della camera stessa, la camera di reazione di forma tronco conica, è costituita da un vetro di quarzo fuso nella base, ed un cono riflettente.

In uscita dalla convertitore abbiamo un flusso di "combustibile chimico" e un flusso di vapore ad alta temperatura. Il combustibile può essere immagazzinato, trasformato in altro combustibile, oppure trasportato. Mentre il vapore, ad alta temperatura, viene utilizzato per produrre energia attraverso un sistema di turbine. In uscita da questa fase abbiamo ancora due flussi uno è l'elettricità mentre l'altro è costituito da vapore a bassa temperatura che può essere utilizzato per il teleriscaldamento.

4.1 Processo.

L'equazione sulla quale si basa il processo è la dissociazione della CO_2 in CO e O_2 :



Questa reazione avviene ad una elevata temperatura di circa 1250°C.

Essendo questa reazione reversibile al fine di mantenerla spostata verso DX deve essere sottratto del calore, questo calore viene utilizzato per produrre il vapore che viene utilizzato per produrre energia elettrica per mezzo di turbine.

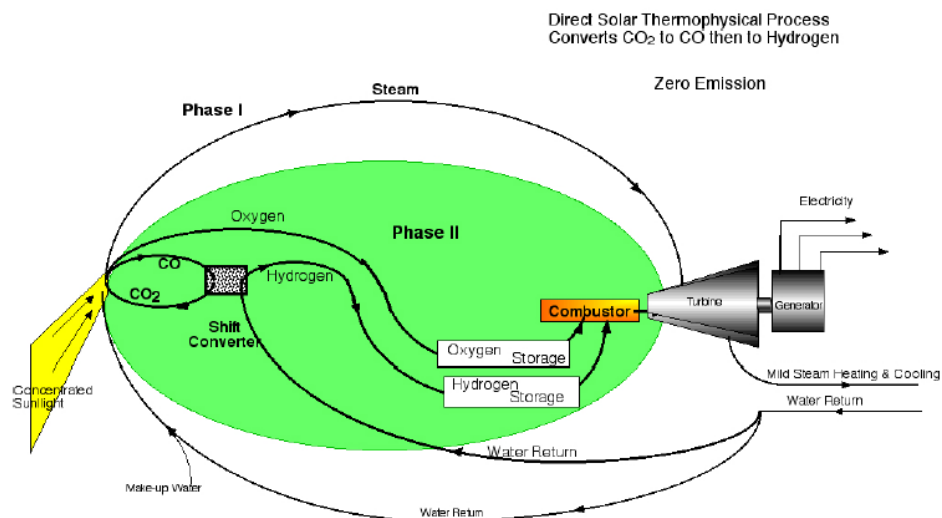
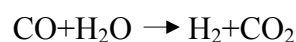


Figura 9 Fasi del processo.

Andando ad analizzare il processo possiamo dividerlo in due fasi: una prima fase nella quale si produce vapore con il quale si azionano le turbine per produrre energia ed una seconda fase che in primo luogo converte la CO₂ in CO, quindi si fa reagire il monossido di carbonio con il vapor d'acqua per produrre H₂ (idrogeno). L'idrogeno così prodotto potrà essere utilizzato come syngas con il monossido di carbonio, oppure può essere impiegato in processi successivi per produrre, ad esempio, Metanolo.

Quindi oltre alla reazione di dissociazione dell'anidride carbonica abbiamo anche la reazione di "Water Gas Shift Reaction" che avviene ad una temperatura di 400°C e per mezzo della quale si produce l'idrogeno.



4.2 Resa Energetica

Al fine di determinare la resa energetica del processo andiamo ad analizzare il grafico che confronta la dissociazione dell'acqua e dell'anidride carbonica a pressione atmosferica. Si osserva che la dissociazione dell'acqua, nel range di temperature che andiamo ad analizzare, tra i 2000°C ed i 2500°C, si attesta a dei valori inferiori rispetto all'anidride carbonica.

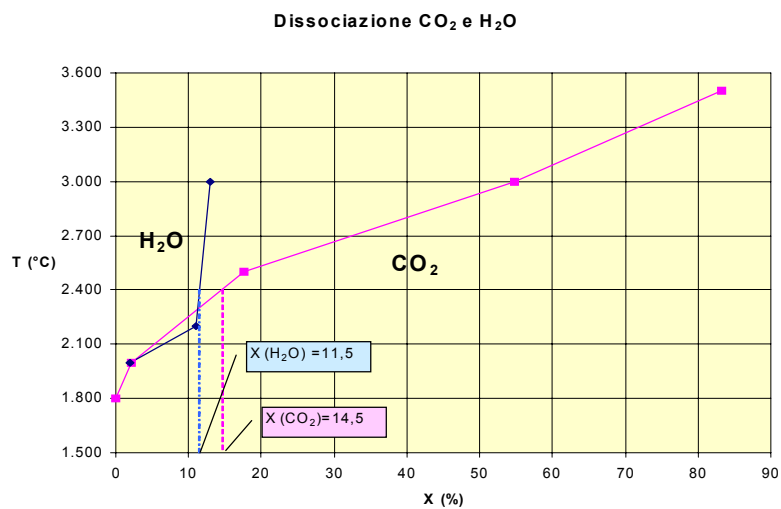


Figura 9 Dissociazione CO₂ e H₂O.

Quindi consideriamo un impianto con le seguenti caratteristiche:

- S: superficie di specchi pari a $S=100 \text{ m}^2$;
- I_s : irraggiamento solare pari a $I_s=1 \text{ kW/m}^2$.

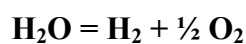
L'energia solare termica prodotta in un'ora (1h) risulta:

$$\begin{aligned} E_s &= 1 \text{ kW/m}^2 \cdot 100 \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ h} = 100 \text{ kW} \cdot 3600 \text{ s} = 36 \cdot 10^4 \text{ kW s} = \\ &= 36 \cdot 10^4 \text{ kJ} = 36 \cdot 10^7 \text{ J} \end{aligned}$$

Andiamo quindi analizzare la resa energetica nel caso dell'acqua e dell'anidride carbonica.

H₂O

La reazione di dissociazione dell'acqua è la seguente:



Energia solare termica utilizzata in un'ora è pari a $E_s = M_{H_2O}(i + r + c_p \Delta T)$ dove:

- M_{H_2O} rappresenta la massa dell'acqua (kg);
- i è il calore di riscaldamento per l'acqua risulta $i = 100 \text{ kcal/kg}$;
- r è il calore latente di vaporizzazione che per l'acqua risulta $r = 540 \text{ kcal/kg}$;
- $\Delta T = (T_e - T_0)$ dove $T_e = 2400^\circ\text{C} = 2673,15^\circ\text{K}$ temperatura di esercizio e $T_0 = 25^\circ\text{C} = 298,15^\circ\text{K}$ temperatura ambientale per cui risulta $\Delta T = 2375^\circ\text{K}$
- C_p il calore specifico del vapore $C_p = a + bT + cT^2$, dove a , b e c sono dei valori tabellati che risultano pari a:

- $a = 0,382 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{K}$;
- $b = 18,22 \cdot 10^{-5} \text{ kcal/kg } ^\circ\text{K}^2$;
- $c = -1,9 \cdot 10^{-8} \text{ kcal/kg } ^\circ\text{K}^3$.

Quindi $c_p = 0,382 + 18,22 \cdot 10^{-5} \cdot 2673,15 - 1,9 \cdot 10^{-8} \cdot (2673,15)^2 = 0,733 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{K}$.

La quantità (kg) di H_2O che si dissocia in un impianto con queste caratteristiche si può così ricavare:

$$M_{H_2O} = \frac{E_s}{(i + r + c_p \cdot \Delta T)} = \frac{36 \cdot 10^7}{4186 \cdot [100 + 540 + (0,733 \cdot 2375,15)]} = 36,12 \text{ kg}$$

a) Produzione H_2

Alla temperatura di 2400°C , il grado di dissociazione è pari ad $\alpha = 11,5\%$, $(\frac{H_2O_{diss}}{H_2O})$,

come si deduce dal grafico di dissociazione si ricava la quantità di H_2 (g) prodotta

$$H_2O_{diss} = 36,12 \cdot 0,115 = 4,1 \text{ kg}$$

Quindi i grammi di H_2 prodotti risultano:

$$4100 \text{ g } H_2O_s / 18 = 230,71 \text{ moli } H_2O_s \quad PM(H_2O)=18$$

$$230,71 \text{ moli } H_2 \cdot 2 = \mathbf{461,42 \text{ g } H_2} \quad PM(H_2)=2$$

$$230,71/2 = 115,35 \text{ moli } O_2 \cdot 32 = 3691,36 \text{ g } O_2 \quad PM(O_2)=32$$

Il Potere calorifico dell'idrogeno è pari a $H_i = 122 \text{ MJ/kg}_{H_2}$ l'energia chimica accumulata dall'idrogeno risulterà:

$$E_{ch}(H_2) = 0,461 \text{ kg} \cdot 122 \text{ MJ/kg} = 56,24 \text{ MJ}_{ch} = \underline{\underline{15,62 \text{ kWh}_{ch}}}$$

E' possibile inoltre calcolare l'energia ottenuta dal vapore residuo (quello non dissociato) che risulta pari a:

$$36,12 - 4,1 = 32,02 \text{ kg (H}_2\text{O non dissociato)}$$

$$Q = M_{H_2O} (i + r + c_p \Delta T) = 32,02 \cdot [100 + 540 + (0,733 \cdot 2375,15)] = 76239,1 \text{ kcal} = 319,14 \text{ MJ}_{th}$$

Considerando il rendimento del ciclo termodinamico del vapore pari a: $\eta = 33\%$ la resa energetica elettrica risulta:

$$319,14 \cdot 0,33 = 105,31 \text{ MJ}_{el} = \underline{\underline{29,25 \text{ kWh}_{el}}}$$

b) Rendimento H_2

Il rendimento energetico totale sarà quindi:

$$\eta_{tot} = (15,62 + 29,25) / 100 = 44,87 \%$$

Dove 15,62 kWh è l'energia chimica accumulata nell'idrogeno, mentre i 29,25 kWh è l'energia prodotta dal ciclo termico a vapore utilizzando il vapore residuo dell'acqua non dissociata.

E' possibile un ulteriore stima, considerando le perdite termiche delle apparecchiature, dovute ai fenomeni di irraggiamento e convezione, che sono state quantificate al 30%, il valore del rendimento complessivo si ridurrà al 31,5%.

CO₂

La reazione di dissociazione dell'anidride carbonica è la seguente:



Energia solare termica prodotta in un'ora risulta $E_s = M_{CO_2} c_p \Delta T$ dove:

- M_{CO_2} rappresenta la massa dell'anidride-carbonica (kg);
- $\Delta T = (T_e - T_0)$ dove $T_e = 2400 \text{ °C} = 2673,15 \text{ °K}$ temperatura di esercizio e $T_0 = 25 \text{ °C} = 298,15 \text{ °K}$ temperatura ambientale per cui risulta $\Delta T = 2375 \text{ °K}$

- Cp il calore specifico $C_p = a + bT + cT^2$ dove a, b e c sono dei valori tabellati che per la CO_2 risultano pari a:

- $a = 0,156 \text{ kcal/kg } ^\circ K$;
- $b = 19,39 \cdot 10^{-5} \text{ kcal/kg } ^\circ K^2$;
- $c = -5,62 \cdot 10^{-8} \text{ kcal/kg } ^\circ K^3$;

Quindi $c_p = 0,156 + 19,39 \cdot 10^{-5} \cdot 2673,15 - 5,62 \cdot 10^{-8} \cdot (2673,15)^2 = 0,272 \text{ kcal/kg } ^\circ K$.

Considerando gli stessi parametri operativi utilizzati per l'acqua, per l'anidride carbonica risulterà:

$$M_{CO_2} = \frac{E_s}{c_p \cdot \Delta T} = \frac{36 \cdot 10^7}{4.186 \cdot 0,272 \cdot 2375,15} = 133,23 \text{ kg}$$

Moltiplicando i kg di anidride carbonica dissociata, che alla temperatura di $2400^\circ C$ si attesta sul valore di $\alpha = 14,5\%$ ($\frac{CO_{2diss}}{CO_2}$) risulta:

$$CO_{2diss} = 133,23 \cdot 0,145 = 19,32 \text{ kg}$$

Quindi i grammi di CO prodotti risultano:

| | |
|---|-----------------|
| 19318,35 g $CO_2 / 44 = 439,05$ moli CO_2 | PM(CO_2)=44 |
| 439,05 moli $\cdot CO_2 = 12293,4$ g CO | PM(CO)=28 |
| $(439,05/2) \cdot 32 = 7024,8$ g O_2 | PM(O_2)=32 |

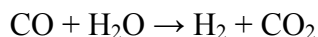
L'energia chimica accumulata nel monossido di carbonio, considerando il potere calorifico della CO pari a $H_i = 10,20 \text{ MJ/kg}$, risulta:

$$E_{ch} (CO) = 12,29 \text{ kg (CO)} \cdot 10,20 \text{ MJ/kg} = 125,36 \text{ MJ} = \underline{\underline{34,82 \text{ kWh}_{ch}}}$$

Dai dati forniti da SOLAREC, l'energia termica residua sarà pari a 70 kWh_{th} e sarà utilizzata per produrre energia elettrica attraverso un ciclo a vapore; tale energia elettrica sarà pari a circa 24 kWh_e , con un rendimento termodinamico pari a $\eta = 0,34$.

a) Produzione H₂

L'idrogeno necessario per la produzione dei combustibili dalla CO può essere prodotto attraverso la reazione di "Water Gas Shift Reaction" (WGSR) che avviene ad una temperatura di 400 °C:



Quindi per i reagenti risulta:

$$12293,4 \text{ g CO} / 28 = 439,05 \text{ moli} \quad \text{PM (CO)} = 28$$

$$439,05 \text{ moli H}_2\text{O} \cdot 18 = 7902,9 \text{ g H}_2\text{O} \quad \text{PM (H}_2\text{O)} = 18$$

$$\text{Totale: } 12,29 \text{ kg CO} + 7,9 \text{ kg H}_2\text{O} = 20,19 \text{ kg}$$

Mentre per i prodotti abbiamo:

$$439,05 \text{ moli H}_2 \cdot 2 = 878,1 \text{ g H}_2 \quad \text{PM (H}_2\text{)} = 2$$

$$439,05 \text{ moli CO}_2 \cdot 44 = 19318,2 \text{ g CO}_2 \quad \text{PM (CO}_2\text{)} = 44$$

$$\text{Totale: } 0,878 \text{ kg H}_2 + 19,318 \text{ kg CO}_2 = 20,19 \text{ kg}$$

Ricordando che il potere calorifico dell'idrogeno è pari a $H_i = 122 \text{ MJ/kg}_{\text{H}_2}$ l'energia chimica accumulata per l'idrogeno sarà pari a:

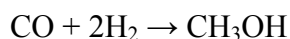
$$E_{\text{ch}}(\text{H}_2) = 0,878 \text{ kg H}_2 \cdot 122 \text{ MJ/kg}_{\text{H}_2} = 107,12 \text{ MJ}_{\text{ch}} = \mathbf{29,76 \text{ kWh}_{\text{ch}}}.$$

A questo punto è quindi possibile produrre il Metanolo (CH₃OH) con l'utilizzo del monossido di carbonio e dell'idrogeno prodotto nei processi precedenti, Metanolo liquido che può essere utilizzato come combustibile liquido per il trasporto.

Considerando come nel caso dell'acqua le perdite termiche delle apparecchiature, dovute ai fenomeni di irraggiamento e convezione, che sono state quantificate al 30%, il valore dell'energia chimica accumulata nell'idrogeno risulterà pari a 20,83 kWh_{ch}.

b) Produzione Metanolo (CH₃OH)

La reazione per mezzo della quale è possibile produrre il metanolo è la seguente:



Le moli di CO prodotte dalla dissociazione della CO₂ sono pari a 437,54 di queste 292,7 sono servite per la produzione dell'idrogeno quindi le restanti 146,35 possono essere utilizzate per la produzione del metanolo. Quindi risulta:

$$146,35 \text{ moli CH}_3\text{OH} \cdot 32 \text{ (pm CH}_3\text{OH)} = 4683,2 \text{ g CH}_3\text{OH}$$

Dato il potere calorifico del metanolo pari a 20,52 MJ/kgCH₃OH, l'energia chimica accumulata nel metanolo risulta:

$$4,68 \text{ kg CH}_3\text{OH} \cdot 20,52 \text{ MJ/kgCH}_3\text{OH} = 96,03 \text{ MJ}_{\text{ch}} = 26,67 \text{ kWh}_{\text{ch}}$$

c) Rendimento dell'idrogeno

Il rendimento totale nel caso dell'idrogeno sarà:

$$\eta_{\text{TOT}} = (29,76 + 24) / 100 = 53,76\%$$

Dove 29,76 kWh è l'energia chimica accumulata per l'idrogeno, mentre 24 kWh è l'energia prodotta dal ciclo termico a vapore utilizzando il calore sottratto al processo di dissociazione della CO₂.

Nel caso di un ulteriore produzione di Idrogeno con l'energia elettrica ricavata in un'ora e pari a 24 kWh si avrà un rendimento, in termini di energia chimica complessiva accumulata nell'idrogeno, pari a:

$$\text{Resa elettrolisi H}_2\text{O: } \eta_{\text{H}_2} 0,23 \text{ m}^3_{\text{H}_2} / \text{kWh}$$

$$24 \text{ kWh} \cdot 0,23 \text{ m}^3_{\text{H}_2} / \text{kWh} = 5,52 \text{ m}^3_{\text{H}_2}$$

$$\rho_{\text{H}_2} = 0,0899 \text{ kg/m}^3_{\text{H}_2}$$

$$5,52 \text{ m}^3_{\text{H}_2} \cdot 0,0899 \text{ kg/m}^3_{\text{H}_2} = 0,50 \text{ kg}_{\text{H}_2}$$

Contenuto energetico dell'Idrogeno: $0,50 \text{ kg H}_2 \cdot 122 \text{ MJ/kg} = 61 \text{ MJ} = 17 \text{ kWh}_{\text{ch}}$ per cui il rendimento energetico totale con l'accumulo di Idrogeno sarà:

$$\eta = (29,76 + 17) / 100 = 46,76\%$$

d) Rendimento del metanolo

Il rendimento energetico totale nel caso CH₃OH sarà quindi:

$$\eta = (26,67 + 24) / 100 = 50,67\%$$

Dove 18,346 kWh è l'energia chimica accumulata nel metanolo, mentre 24 kWh è l'energia prodotta dal ciclo termico a vapore utilizzando il calore sottratto al processo di dissociazione della CO₂.

Confronto resa energetica tra CO₂ e H₂O

| T = 2400 °C | η (H ₂) reale | η (H ₂) teorico |
|------------------|---------------------------|-----------------------------|
| H ₂ O | 31,42% | 44,87 % |
| CO ₂ | 37,63% | 53,76 % |

Tabella 4: Rendimenti netti e teorici della dissociazione della CO₂ e dell'H₂O.

Da questa analisi risulta quindi che ad una temperatura di 2400°C la resa energetica nel caso della dissociazione dell'anidride carbonica è sensibilmente superiore alla resa energetica ottenuta dalla dissociazione dell'acqua.

Inoltre è possibile fare un calcolo empirico dell'anidride carbonica non immessa in atmosferica.

Calcolo della CO₂ evitata

Nel caso di un impianto a carbone da **100 MWe**, si produrrà una quantità di CO₂, calcolata considerando l'energia prodotta in un'ora e con il seguente coefficiente di emissione:

0,8 kgCO₂/kWh

pari a: 0,8 kgCO₂/kWh x 100.000 kW = 80 tCO₂/y

80 tCO₂/y x 6.000 h/y = 480 10³ tCO₂/y

La quantità di CO₂ evitata sarà:

1. Energia da Solare: 24 kWh_e x 0,8 kgCO₂/kWh = 19,20 kgCO₂
2. Energia prodotta dall'idrogeno: 20,83 kWh_{ch} x η(50%) = 10,41 kWh_e
10,41 kWh_e x 0,8 kg CO₂/kWh = 8,32 kg CO₂
Totale CO₂: 27,52 kg CO₂ x 3.000 h/y =
82,56 tCO₂/y

Considerando 300 impianti SOLAREC si eviterà una quantità di CO₂ pari a:

82,56 tCO₂/y x 300 = 24.768 tCO₂/y

5 % di CO₂ evitata sul totale emesso.

5 “ENERGY TOWERS” TORRI SOLARI

Le torri ad energia costituiscono un tipo di tecnologia ideale per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili in zone aride o semi-aride, che utilizza indirettamente l'energia solare sfruttando la particolare circolazione dell'aria dovuta alle celle di Hadly, permette la produzione di energia elettrica durante l'intera giornata senza la necessita di costruire collettori solari.

Il processo si basa sul raffreddamento dell'aria secca ed asciutta che si trova alla sommità di una torre alta 1200 m, e dal diametro di 400 m. Il raffreddamento dell'aria viene realizzato per mezzo di acqua, pompata e quindi nebulizzata in cima alla torre. L'aria, raffreddata, aumenta di densità e “scende” all'interno della torre acquistando velocità: turbine poste alla base convertono poi l'energia cinetica dell'aria in energia elettrica.

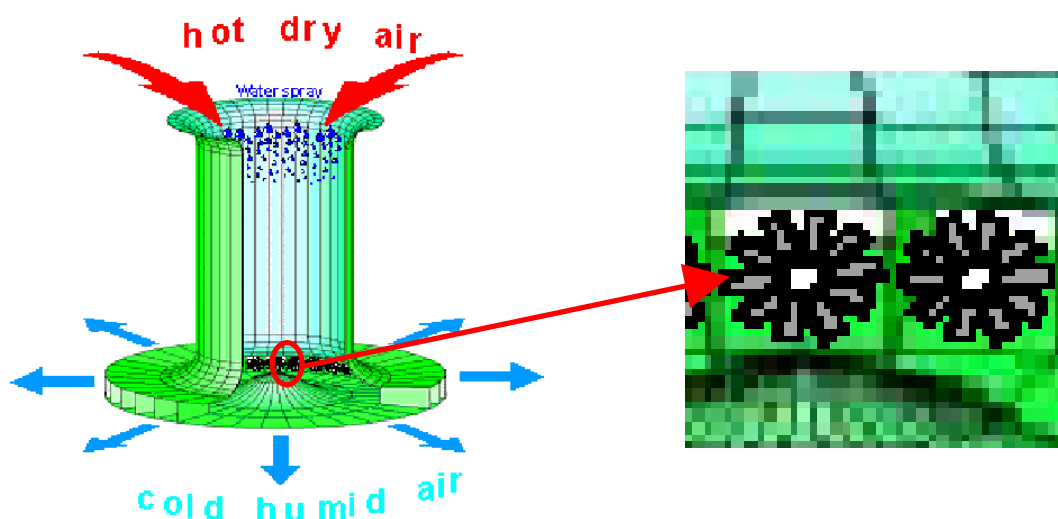


Figura 10 Energy Towers.

Poiché il processo richiede un elevato utilizzo di acqua le torri devono preferibilmente essere posizionate in prossimità di grandi fonti d'acqua, quali laghi o il mare. L'utilizzo di acqua marina innesca però ulteriori spese per la desalinizzazione dell'acqua, che altrimenti comporterebbe elevati fenomeni di corrosione e ben più onerose spese aggiuntive in fase di manutenzione dell'impianto. E' opportuno sottolineare inoltre che il pompaggio sulla sommità della torre dell'acqua di raffreddamento rappresenta la principale fonte di spesa per l'intero processo.

Sono stati condotti numerosi studi teorici che hanno portato all'elaborazione di un modello matematico, detto E.T.P. (Energy Tower's Production model), attraverso il quale è possibile determinare i parametri operativi dell'impianto, ossia la produzione netta di

energia (MW), quella lorda (MW), la potenza spesa per il pompaggio dell'acqua e la portata di acqua (tonn/s) partendo dalla conoscenza di variabili topografiche (come l'altitudine del sito e la distanza dalla sorgente d'acqua da utilizzare) e variabili meteorologiche (quali la temperatura dell'aria ($^{\circ}\text{K}$), l'umidità relativa (%) e la pressione dell'aria (hPa) in un intorno di 1300 m).

Per le variabili meteorologiche è necessario prendere a riferimento un tempo di analisi particolarmente lungo (negli studi condotti per l'Australia va dal Dicembre 1978 al Febbraio 1994), per disporre di un quadro completo dell'andamento climatico nella zona di interesse.

La produzione lorda di energia è funzione delle condizioni ambientali dell'aria circostante, in particolare della temperatura, dell'umidità e della pressione. Mentre l'energia netta risente anche della localizzazione della torre: distanza e altitudine relativa dalla sorgente d'acqua di raffreddamento possono influenzare significativamente il rendimento della centrale.

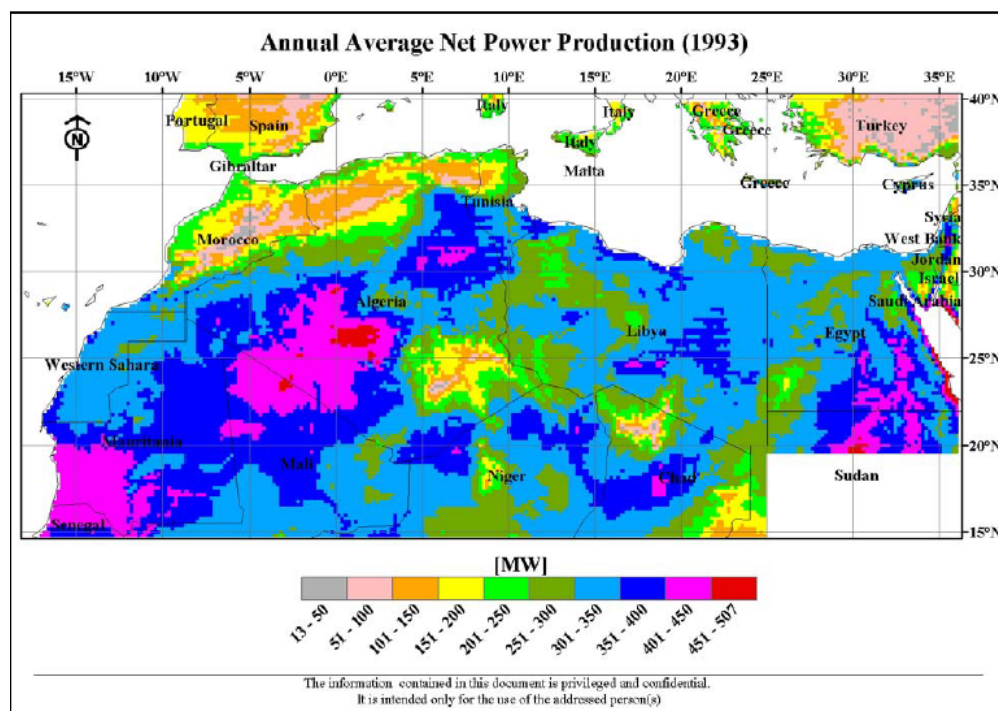


Figura 11: Produzione media della potenza netta prodotta dalle Energy Towers nella zona compresa tra il 15° e 40° parallelo.

La zona che fra il nord Africa ed il Sud Europa ha le caratteristiche geografiche e meteorologiche che meglio si adatta a questo progetto è quella che si trova fra il 15° ed il 40° parallelo. In territorio italiano ricadono pertanto la Sicilia, la Calabria, ed il sud della Sardegna.

| Potential number of people at 6,000 kWh per year | Number of required Energy Towers | Annual energy for this area in this region | Area in this region | Average net power | Range net power |
|--|----------------------------------|--|------------------------------------|-------------------|-----------------|
| [millions] | [-] | [10 ⁹ kWh/year] | [10 ³ km ²] | [MW] | [MW] |
| 1 | 1 | 4 | 0.4 | 507 | 500-507 |
| 84 | 124 | 506 | 49.6 | 466 | 450-500 |
| 1230 | 2017 | 7381 | 806.8 | 418 | 400-450 |
| 2747 | 5062 | 16480 | 2024.8 | 372 | 350-400 |
| 3872 | 8133 | 23234 | 3253.2 | 326 | 300-350 |
| 1490 | 3649 | 8941 | 1459.6 | 280 | 250-300 |
| 522 | 1578 | 3131 | 631.2 | 226 | 200-250 |
| 9946 | 20564 | 59676 | 8226 | | TOTAL |

Tabella 5: Tabella riassuntiva per la produzione media della potenza netta prodotta dalle Energy Towers nella zona considerata (15° - 40° parallelo).

Nella zona di interesse per l'Italia è stata valutata la potenzialità di produzione media di energia netta pari a 226 MW per torre.

Andando nello specifico del nostro territorio si è ipotizzato di utilizzare torri con un diametro di 300 m. ed un'altezza di 1 km.

Attraverso l'analisi del bilancio energetico con modello fluidodinamico ad un nodo (Appendice I) si è giunti alla conclusione che per torri di queste caratteristiche geometriche, posizionate sul nostro territorio, si arriva ad una potenza netta pari a 285 MW.

Con l'impiego di 25 Torri energetiche, nei siti più meridionali dell'Italia, che forniscono circa 285 MWe ciascuna si può soddisfare una domanda di energia elettrica di circa il 90% della popolazione italiana attualmente soddisfatta con combustibili fossili al 68%.

Infatti considerando un consumo medio di energia elettrica per ogni famiglia (circa 3 persone per famiglia) di 10 kWh/d, in un anno si richiederebbero:

$$10 \text{ kWh/d} \times 365 \text{ d/y} = 3.650 \text{ kWh/y}$$

L'energia elettrica totale fornita dalle Torri energetiche sarebbe di:

$$25 \text{ T.E.} \times 285 \text{ MWe/T.E.} = 7.125 \text{ MWe}$$

L'energia elettrica sarebbe allora di:

$$7.125 \text{ MWe} \times 24\text{h/d} \times 365 \text{ d/y} = 62,415 \times 10^6 \text{ MWh/y}$$

Considerando la domanda di circa 3.650 kWh/y, allora il numero delle famiglie soddisfatte sarà:

$$62,415 \times 10^9 \text{ kWh/y} / 3.650 \text{ kWh/y} = 17.100.000 \text{ famiglie}$$

$$17.100.000 \text{ famiglie} \times 3 \text{ persone/famiglia} = 51.300.000 \text{ persone}$$

circa il 90% della popolazione italiana (il consumo elettrico delle famiglie italiane nel 2005 è stato di 67 TWh/y = 67×10^6 MWh/y, fonte GSE) con enorme risparmio di emissioni di gas serra ed inquinanti vari emessi nella combustione dei combustibili fossili.

Calcolo della CO₂ evitata

La quantità di CO₂ evitata confrontando le Energy Towers con un impianto a metano che produce la stessa quantità di energia elettrica risulta:

F.E.: 0,4 kgCO₂/kWh_e (fattore di emissione)

$$\text{CO}_2 \text{ (evitata)} = 0,4 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}_e \times 62,415 \times 10^9 \text{ kWh}_e/\text{y} = \mathbf{25 \times 10^6 \text{ tCO}_2/\text{y}}.$$

Mentre nel caso di un impianto a carbone la quantità di CO₂ evitata è il doppio infatti risulta per un fattore di emissione pari a:

F.E.: 0,8 kgCO₂/kWh_e

$$\text{CO}_2 \text{ (evitata)} = 0,8 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}_e \times 62,415 \times 10^9 \text{ kWh}_e/\text{y} = \mathbf{50 \times 10^6 \text{ tCO}_2/\text{y}}.$$

Conclusioni

Le tecnologie esaminate in questo studio si basano sullo sfruttamento dell'energia solare (per definizione rinnovabile ed eco-compatibile) per via diretta, come avviene nel caso del solare termodinamico ad alta temperatura, fra cui il SOLAREC, ed in maniera indiretta come nelle le ENERGY TOWERS. Le analisi condotte hanno dato delle risposte incoraggianti circa la possibilità di utilizzare tali tecnologie al fine di contribuire al fabbisogno energetico del nostro Paese e limitare, almeno in parte, l'utilizzo di combustibili fossili e di conseguenza l'emissione dei gas serra e dei molteplici inquinanti che derivano dai processi di utilizzo degli stessi.

Considerando la posizione geografica del territorio italiano l'utilizzo di tecnologie che sfruttano l'energia solare sembra una soluzione ovvia, ma ad oggi questo sviluppo incontra ancora delle difficoltà per diverse motivazioni: dai costi ancora elevati alla non adeguata informazione ai cittadini, a tuttora irrisolti problemi di localizzazione.

Per avere un'idea delle effettive potenzialità delle tecnologie esaminate in questo studio, possiamo osservare lo sviluppo del fotovoltaico, che tra le modalità di sfruttamento dell'energia solare è quella che avuto la maggiore crescita negli ultimi anni.

Dai dati forniti dall'ENEA risulta che la produzione di energia elettrica da fotovoltaico è pressoché raddoppiata in Italia nel corso degli ultimi anni, passando dai 16 GWh del 2001 ai 31 GWh del 2005: questo dato, che appare incoraggiante, evidenzia tuttavia un ritardo considerevole rispetto alla produzione della Germania, che nel 2005 è risultata pari a 1.300.000 GWh e che nello stesso anno ha visto l'installazione di ulteriori 600 MW contro i 3 MW dell'Italia.

Come precedentemente specificato questi dati si riferiscono però al solo utilizzo del fotovoltaico: se si considerano anche le tecnologie analizzate in questo studio i valori dell'energia prodotta grazie ad impianti che sfruttano energia solare crescerebbero sensibilmente.

Tra le tecnologie analizzate, quella proposta dal progetto SOLAREC offre i maggiori vantaggi in quanto il processo utilizzato non solo produce energia elettrica ed eco-combustibili, ma utilizza anidride carbonica nel processo stesso. Altro aspetto

interessante è il risultato ottenuto dal calcolo della resa energetica confrontando la produzione di idrogeno (poi utilizzato per la sintesi di altri combustibili) dalla dissociazione dell'anidride carbonica, come nel SOLAREC, e dalla dissociazione dell'acqua: si è infatti osservato che alla temperatura di esercizio del SOLAREC, di 2400°C, la dissociazione dell'anidride carbonica, pari al 37,6%, risulta sensibilmente superiore a quella dell'acqua, pari al 31,5%, evidenziando un sensibile vantaggio economico oltrechè ambientale.

Anche la tecnologia delle TORRI SOLARI, basata sullo sfruttamento di energia solare in modo indiretto, evidenzia aspetti interessanti. Dai calcoli empirici è infatti emerso che l'installazione di 25 torri, cui sarebbe associata una produzione teorica di 62,41 106 MWhe/y, permetterebbe di soddisfare, quasi nella totalità, la richiesta di energia per consumi domestici sull'intero territorio nazionale. Ciò consentirebbe inoltre di rispettare i limiti sui green house gas imposti dal protocollo di Kyoto per la nostra nazione, valori che per la CO₂ devono essere minori alle 100 Mt CO₂/y per la produzione di energia elettrica.

In definitiva possiamo dire che l'utilizzo combinato delle diverse tecnologie eco-compatibili ed una politica più coraggiosa e maggiormente attenta alle esigenze ambientali consentirebbero di limitare l'impiego dei combustibili fossili per la produzione di energia che, ad oggi, per il tramite dei prodotti di scarto dei molteplici processi nei quali vengono impiegati, costituiscono la principale fonte di inquinamento del nostro pianeta.

BIBLIOGRAFIA

- 1) M. Falchetta e P. Monaci: “Il progetto ENEA sull’energia solare a concentrazione ad alta temperatura” (2005).
- 2) Lenntech internet: “I gas serra- origine e caratteristiche”.
- 3) Nomisma Energia: “Le nuove fonti rinnovabili per l’energia elettrica in Europa” (2007)
- 4) A.P.A.T.: “Annuario dei dati ambientali 2005-2006” (2007)
- 5) Los Alamos Renewable Energy, LLC: “SOLAREC” (2006)
- 6) Talia Altman, Dan Zaslavsky, Rami Guetta and Gregor Czisch: “Evolution of the potential of electricity and desalinated water supply by using technology of -Energy Towers- for Australia, America and Africa” (2006)

APPENDICE I

ENERGY TOWER Calcolo della Potenza Netta (P_N)

$$D_T = 300 \text{ m}$$

$$H_T = 1.000 \text{ m}$$

$$A_T = \pi D^2/4 = 70.650 \text{ m}^2$$

$$\rho_1(0) = 1,0623 \text{ kg/m}^3 \text{ (densità aria umida a 0 m, } T = 40^\circ\text{C)}$$

$$\rho_1(H) = 1,1097 \text{ kg/m}^3 \text{ (densità aria umida a 1.000 m: } T = 30^\circ\text{C, } -1^\circ\text{C/100m)}$$

$$\rho_2(H) = 1,1565 \text{ kg/m}^3 \text{ [densità interna aria umida a 1.000 m, } -10^\circ\text{C per} \\ \text{introduzione di 6 g acqua/1.000 g (aria secca)) e } T = 20^\circ\text{C]}$$

$$\rho_2(0) = 1,1472 \text{ kg/m}^3 \text{ (densità interna aria umida a 0 m e } T = 22^\circ\text{C)}$$

BILANCIO ENERGETICO (CON MODELLO FLUIDO- DINAMICO AD 1 NODO):

$$[\rho_2(H) - \rho_1(0)] \times A_T \times H_T \times g \times H_T/2 = 1/2 \rho_2(0) \times A_T \times H_T \times V^2_{(aria)}$$

$$[\rho_2(H) - \rho_1(0)] \times g \times H_T = \rho_2(0) \times V^2_{(aria)}$$

$$\delta \rho_{(aria)} = [\rho_2(H) - \rho_1(0)] = (1,1565 - 1,0623) = 0,0942 \text{ kg/m}^3_{aria}$$

$$V_{(aria)} = \sqrt{\delta \rho_{(aria)} / \rho_2(0) \times g \times H_T} = \underline{\underline{28,38 \text{ m/s}}}$$

$$\underline{\underline{R_g}}_{(aria)} = \rho_2 V D_T / \mu_a = 1,1565 \times 28,38 \times 300 / 1,71 \times 10^{-5} = \underline{\underline{5,76 \times 10^8}}$$

$$Q_{(aria)} = A_T \times V_{(aria)} = 70.650 \times 28,38 = \underline{\underline{2.005.047 \text{ m}^3_{(aria)}/s}}$$

$$f_a = k_r \times 0,316 [R_e^{-0,25}] = 75 \times 0,316 \times [5,76 \times 10^8]^{-0,25} = 15,3 \times 10^{-2}$$

$$P_N = P_L - P_{CD} - P_P - P_{SC}$$

$$P_L = \delta \rho_{(aria)} \times Q_{(aria)} \times H_T \times g \times \eta_{\text{Turbine/ Gen.}} = \\ 0,0942 \times 2.005.047 \times 1.000 \times 9,81 \times 0,35 = \underline{\underline{648 \text{ MW}}}$$

$$P_{CD} = f_a \times \frac{1}{2} \times \rho_{(aria)} \times V_{(aria)}^3 \times A_T = \\ 0,153 \times 0,5 \times 1,1565 \times 28,38^3 \times 70.650 = \underline{\underline{143 \text{ MW}}}$$

$$P_P = [\rho_{H_2O} \times Q_{H_2O}] \times H_T \times g \times 1 / \eta_{(\text{Pompa} - \text{Tubaz.})} = [\rho_{H_2O} \times Q_{H_2O}] = \\ = [0,006 \text{ kg}_{H_2O} / \text{kg}_{(aria,s)}] \times (\rho_{(aria)} \times Q_{(aria)}) \text{kg}_{(aria)} / \text{s} = \\ = 0,006 \times 1,1565 \times 2.005.047 = \underline{\underline{13.913 \text{ kg}_{H_2O} / \text{s}}} \\ = 13.913 \times 1.000 \times 9,81 \times 1 / 0,65 = \underline{\underline{210 \text{ MW}}}$$

$$P_{SC} = \frac{1}{2} \rho_2 \times Q_{(aria)} \times V_{sc}^2 = 0,5 \times 1,1565 \times 2.005.047 \times 3^2 = \underline{\underline{10 \text{ MW}}}$$

$$P_N = 648 - 143 - 210 - 10 = \underline{\underline{285 \text{ MW}}}$$

$$\eta = P_N / P_L = 285 / 648 = \underline{\underline{44\%}}$$