

**Università degli Studi di Cagliari**

**Facoltà di Ingegneria e Architettura**

**Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica**

**Titolo della tesi di laurea**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Relatore:** |  | **Tesi di Laurea di:** |
| **Prof.** |  |  |

**A.A. 2016-2017**

**Indice**

Introduzione 1

Capitolo 1 – La struttura del sistema energetico 3

1.1 I consumi di energia 5

1.1.1 Il bilancio energetico nazionale 9

1.1.2 Il bilancio dell'energia elettrica in Italia 12

1.2 Gli incentivi alle fonti energetiche rinnovabili 15

Capitolo 1 – L’energia solare 19

1.1 La radiazione solare 20

1.1.1 L’irraggiamento solare extra-terrestre 20

1.1.2 La determinazione della traiettoria solare 26

1.1.3 L’irraggiamento su di una superficie orizzontale al suolo 28

1.1.4 L’irraggiamento su di una superficie comunque orientata 31

1.2 Gli impianti solari termici 33

1.2.1 Tipologia e caratteristiche dei collettori solari 35

1.2.2 Le prestazioni dei collettori solari 37

1.2.3 Tipologia e caratteristiche degli impianti solari termici 40

1.2.4 Metodologie di dimensionamento degli impianti solari termici 41

1.3 Gli impianti fotovoltaici 45

1.3.1 Il rendimento degli impianti fotovoltaici 46

1.3.2 Il dimensionamento degli impianti fotovoltaici 48

1.3.3 Il fotovoltaico a concentrazione 50

Capitolo 2 – L’energia eolica 53

2.1 L’energia del vento 40

.........

.........

Conclusioni 103

Bibliografia 107

**Introduzione**

Tradizionalmente, nel settore energetico si distingue fra fonti energetiche rinnovabili e fonti energetiche non rinnovabili. Sono classificate come rinnovabili le fonti energetiche primarie considerate inesauribili, ovvero in grado di rigenerarsi con continuità o comunque caratterizzate da durate molto grandi rispetto alla scala dei tempi umani. Viceversa, sono fonti non rinnovabili quelle consumate con velocità di gran lunga maggiori di quelle di formazione. Sono pertanto fonti rinnovabili l’energia solare, l’energia eolica, l’energia idraulica, l’energia delle biomasse, l’energia geotermica, l’energia delle maree e l’energia del moto ondoso. Sono invece fonti non rinnovabili l’energia derivante dai combustibili fossili (petrolio, gas naturale e carbone) e nucleari (essenzialmente l’uranio).

.......

.......

.......

In tale contesto, questo lavoro di tesi ha come obiettivo lo sviluppo di una analisi LCA (Life Cycle Analysis) di un impianto solare, in maniera tale da valutare il suo impatto ambientale lungo tutte le fasi del ciclo di vita, attraverso la quantificazione dell’utilizzo delle risorse (gli “input” come energia, materie prime, acqua) e delle emissioni nell’ambiente (aria, acqua e suolo) associate alla produzione di energia. Lo studio sarà focalizzato su un impianto fotovoltaico a concentrazione e verranno anche proposte soluzioni alternative per la sezione di accumulo energetico. Le analisi verranno eseguite utilizzando il software SimaPro, uno dei software più utilizzato per gli studi LCA, e i risultati ottenuti verranno confrontati con dati disponibili in letteratura per tecnologie similari.

Più nel dettaglio, il lavoro è così organizzato:

* Nel primo capitolo si descriverà la metodologia della Life Cycle Assesment (Analisi del ciclo di vita) in tutte le sue fasi, partendo da un breve cenno storico e descrivendo i passi da seguire per redigere una buona LCA;
* Nel secondo capitolo verrà riportato lo stato dell’arte delle analisi LCA applicate alla tecnologia del fotovoltaico a concentrazione;
* Nel terzo capitolo verrà descritto brevemente l'impianto sperimentale oggetto dello studio;
* Nel quarto capitolo verrà affrontata l’analisi LCA del campo fotovoltaico, dell’accumulo elettrochimico e delle opere comuni, descrivendo il metodo utilizzato e riportando i valori ottenuti con SimaPro, che verranno poi confrontati con dati sperimentali;

**Capitolo 1**

**La struttura del sistema energetico**

Negli ultimi anni, lo sviluppo delle fonti rinnovabili ha subito un forte impulso a causa dei gravi problemi ambientali connessi al largo impiego di combustibili fossili. L’impiego di carbone, gas naturale e derivati petroliferi negli impianti di conversione dell’energia comporta un notevole impatto ambientale, dovuto essenzialmente alle emissioni solide, liquide e gassose prodotte dal processo di combustione. In particolare, il crescente impiego di combustibili fossili ha determinato il rilascio in atmosfera di enormi quantità di anidride carbonica, derivante dal carbonio originariamente intrappolato nel sottosuolo, con un rapido aumento della concentrazione atmosferica di CO2, passata da circa 280 ppm del periodo preindustriale all'attuale valore di circa 400 ppm. I più recenti studi.......

.........

.........

.........

**1.1 I Consumi di energia**

I consumi energetici mondiali sono attualmente pari a circa 13300 Mtep/anno (i dati si riferiscono al 2012, ultimo anno per il quale sono disponibili le statistiche definitive) [13-15]. Tali consumi vengono coperti dal petrolio con una quota pari a circa il 31,4%, dal carbone con il 29%, dal gas naturale con il 21,3%, dal nucleare con il 4,8%, e dalle fonti energetiche rinnovabili (principalmente biomasse e idroelettrico) per il rimanente 13,5%. Negli ultimi 30-40 anni, come evidenziato nella figura 1.1, il consumo energetico mondiale è aumentato mediamente di circa il 2% all’anno, ma la ripartizione fra le diverse fonti primarie non ha subito modifiche di rilievo, cosicché anche il contributo delle fonti rinnovabili (includendo biomasse, rifiuti, idroelettrico, eolico, solare e geotermoelettrico) è aumentato in valore assoluto ma continua a contribuire al totale con una quota di circa il 12-14%.



**Figura 1.1** – Consumo mondiale di energia primaria (Fonte IEA).

.....

.....

.....

**1.1.1 Il bilancio energetico nazionale**

Per quanto concerne l’Italia, la figura 1.2 riporta l'andamento del consumo interno lordo e dei consumi finali di energia in Italia dal 1997 al 2013, mentre la tabella 1.2 riporta la struttura del bilancio energetico nazionale riferito al 2013.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Solidi** | **Gas naturale** | **Petrolio** | **Rinnovabili** | **Energia Elettrica** | **Totale** |
| 1 Produzione | 0,357 | 6,336 | 5,502 | 31,626 |   | 43,821 |
| 2 Importazione | 13,485 | 50,756 | 77,815 | 2,304 | 9,754 | 154,114 |
| 3 Esportazione | 0,173 | 0,187 | 24,060 | 0,052 | 0,484 | 24,956 |
| 4 Variazione scorte | -0,494 | -0,488 | 0,914 | 0,053 | 0 | -0,015 |
| 5 **Consumo Interno** **Lordo (1+2-3-4)** | **14,163** | **57,393** | **58,343** | **33,825** | **9,270** | **172,994** |
| 6 Consumi e Perdite | -0,142 | -1,533 | -3,822 | -0,013 | -40,897 | -46,407 |
| 7 Trasformazioni in Energia Elettrica | -11,090 | -16,876 | -2,476 | -25,901 | 56,343 | 0 |
| 8 **Impieghi Finali** **(5+6+7)** | **2,931** | **38,984** | **52,045** | **7,911** | **24,716** | **126,587** |
| Industria | 2,856 | 12,130 | 3,788 | 0,034 | 9,367 | 28,175 |
| Trasporti | 0 | 0,812 | 34,897 | 1,188 | 0,926 | 37,823 |
| Civile | 0,003 | 25,463 | 3,427 | 6,682 | 13,935 | 49,510 |
| Agricoltura | 0 | 0,129 | 2,112 | 0,007 | 0,488 | 2,736 |
| Usi non energetici | 0,072 | 0,450 | 5,390 | 0 | 0 | 5,912 |
| Bunkeraggi | 0 | 0 | 2,431 | 0 | 0 | 2,431 |

**Tabella 1.2** – Bilancio energetico italiano nel 2013 in Mtep (Fonte Ministero dello Sviluppo Economico).

.......

.......

**1.1.2 Il bilancio dell'energia elettrica in Italia**

**Capitolo 2**

**L'energia solare**

L’energia che la Terra riceve con continuità dal Sole sotto forma di onde elettromagnetiche è alla base di tutta la vita terrestre. La quantità di energia solare che giunge sulla superficie terrestre dipende dalla posizione geografica, dal mese, dal giorno e dall’ora, oltre che dalle condizioni dell’atmosfera terrestre. In effetti, la radiazione solare, nell’attraversare l’atmosfera terrestre varia le sue caratteristiche sia in relazione all’ora del giorno, sia in relazione alle condizioni meteorologiche (condizioni di cielo sereno o nuvoloso). Nel prosieguo verranno illustrate le metodologie utilizzate per stimare la quantità di energia solare che incide su di una superficie comunque orientata e in una prefissata località geografica. Verranno inoltre illustrate le caratteristiche fondamentali e le metodologie di dimensionamento dei dispositivi di conversione dell’energia solare in energia termica e in energia elettrica.

**2.1 La radiazione solare**

Il Sole è uno sferoide di materia gassosa costituita per l’80% da idrogeno e per il 19% da elio; nell’1% rimanente sono stati trovati quasi tutti gli elementi conosciuti. Nel Sole avvengono numerose reazioni nucleari di fusione, la più importante delle quali trasforma l’idrogeno in elio. Dato che la massa di elio prodotta è inferiore alla massa dell’idrogeno da cui ha avuto origine, tale difetto di massa viene convertito in energia secondo la legge di Einstein. L’energia viene irraggiata nello spazio vuoto e giunge sulla Terra sotto forma di radiazione elettromagnetica.

**2.1.1 L’irraggiamento solare extra-terrestre**

Il Sole irraggia nello spazio energia sotto forma di radiazione elettromagnetica di lunghezza d’onda compresa fra 0,2 e 3,0 μm. Tale radiazione è costituita da una componente visibile con lunghezza d’onda compresa fra 0,4 e 0,8 μm, da una componente ultravioletta con lunghezza d’onda inferiore a 0,4 μm e da una componente infrarossa avente lunghezza d’onda maggiore di 0,8 μm. La figura 4.1 illustra la distribuzione spettrale dell’energia emessa dal Sole (irraggiamento monocromatico) misurata fuori dall’atmosfera terrestre.

L’energia che il Sole invia sulla Terra è, come noto, stimabile tramite la costante solare. Si definisce costante solare CS la potenza media incidente sull’unità di superficie posta perpendicolarmente alla direzione dei raggi solari e misurata fuori dalla atmosfera terrestre. Questo valore medio è stato determinato sperimentalmente e vale 1367 W/m2.

Essendo il raggio medio terrestre RT pari a circa 6371 km, si ha che la potenza solare intercettata dalla Terra è pari a:

 1.1)

ovvero una quantità di energia annua pari a circa:

 1.2)

corrispondenti a circa 131000 miliardi di tep/anno. Tenuto conto del fatto che i consumi attuali di energia sulla Terra sono, in cifra tonda, pari a circa 13 miliardi di tep/anno, a partire dalle eqq. 1.1 e 1.2 si evidenzia come la Terra riceva dal Sole una quantità di energia circa 10000 volte superiore agli attuali consumi globali di energia.

.......

......

**Conclusioni**

In questo lavoro di tesi è stata sviluppata una analisi del ciclo di vita di un impianto fotovoltaico a concentrazione e sono state analizzate soluzioni alternative per la sezione di accumulo energetico.

Lo studio è stato affrontato suddividendo l’intero ciclo di vita nelle sue diverse fasi: manufacturing delle materie prime, trasporto, installazione, messa in opera e manutenzione, e infine smaltimento.

.......

.......

I risultati dello studio hanno evidenziato come il Cumulative Energy Demand (CED), ovvero l’energia primaria richiesta per la realizzazione dell’impianto, risulti pari a circa 1323 MJ, con un conseguente Energy Payback Time (EPBT), ossia il tempo di ritorno energetico, pari a circa 2,0. Quest’ultimo è del tutto confrontabile con i dati disponibili in letteratura, che indicano tra 1,5 e 3,0 anni il tempo di ritorno energetico per impianti fotovoltaici a concentrazione.

.....

......

**Bibliografia**

[1]. Global Footprint Network. <http://www.footprintnetwork.org>*.*

[2]. Environmental Management. Life Cycle Assessment. Requirements and Guidelines. EN ISO 14040. 2006.

[3]. Environmental Management. Life Cycle Assessment. Requirements and Guidelines. EN ISO 14044. 2006.

[4]. Baldo A., Marino M., Rossi P., 1998, Analisi del Ciclo di vita LCA, Zanichelli, Bologna.

[5]. Boustead I., Hancock G.F., 1979 Handbook of Industriale Energy Analysis, Ellis Horwood Ltd.

[6]. Enea, Ente Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente. [www.enea.it](http://www.enea.it).

[7]. Kammen D., Nelson J., Mileva A., Johnston J., 2011, An Assessment of the Environmental Impacts of Concentrator Photovoltaics and Modeling of Concentrator Photovoltaic Deployment Using the SWITCH Model, Renewable and Appropriate Energy Laboratory, University of California Berkeley: CA, USA.

[8]. Fthenakis Vasilis M., Kim Hyung Chul, 2011, Life cycle assessment of high-concentration photovoltaic systems, Progress in Photovoltaic, research and application, pp. 16-26.

......

......