

**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITA' DI BOLOGNA**

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

- Sede di Forlì -

CORSO DI LAUREA
IN INGEGNERIA MECCANICA

Classe: L-9

ELABORATO FINALE DI LAUREA
In: Disegno Assistito dal Calcolatore

**STUDIO ED OTTIMIZZAZIONE DI UN M.A.P.E.
(Modulo Autonomo per la Produzione di Energia)**

CANDIDATO
Lorenzo Balestra

RELATORE
Chia.mo Prof. Luca Piancastelli

Anno Accademico 2015/2016
Sessione 1

Abstract

Questo elaborato si propone di presentare l'assemblaggio di un generatore di corrente denominato M.A.P.E (Modulo Autonomo per la Produzione di Energia) basato sulle fonti di energia alternativa solare ed eolica. Le componenti relative alla produzione di energia elettrica e al suo stoccaggio sono oggetti commerciali dei quali è stata sfruttata la scheda tecnica sia per la scelta del dimensionamento che per la modellazione con il software 3D. Le componenti strutturali sono state disegnate partendo da zero con SolidWorks, prevedendo l'opportuno dimensionamento e il conseguente studio di integrità strutturale per non compromettere la sua operatività anche in condizioni di ambiente non favorevole. Durante tutto il lavoro si è ricercato, attraverso fonti cartacee e digitali, di applicare le più efficienti e nuove tecnologie disponibili sul mercato per ottenere il miglior compromesso "prestazioni-costo". Il risultato che si è ottenuto con l'assemblaggio finale dei vari componenti è un modulo trasportabile in zone impervie o prive di infrastrutture per la produzione e la distribuzione dell'energia elettrica, assolutamente indipendente da fonti di carburante fossile e richiedente una manutenzione minima. In conclusione la struttura del generatore M.A.P.E. lo rende un oggetto fortemente modulare e adattabile a una vasta varietà di contesti, anche se si presta a un costante aggiornamento, ottimizzazione e miglioramento col progredire delle tecnologie.

Rigraziamenti

Ringrazio il professor Piancastelli e il suo staff per l'aiuto e il tempo dedicatomi durante la stesura di questo elaborato di tesi. Ringrazio inoltre tutti, parenti e amici, che mi sono stati vicini durante questi anni di esperienza universitaria e che hanno contribuito in modo sostanziale al raggiungimento di questo importante obiettivo.

Indice

Introduzione	6
Capitolo 1 – L’idea e la stesura del progetto	
1.1 - Specifiche di progetto e richieste dell’utenza	9
1.2 - Dalle specifiche alla realizzazione	11
<i>1.2.1 – Risorse rinnovabili</i>	11
<i>1.2.2 – Trasporto, deployment ed uso sul campo</i>	12
Capitolo 2 - L'irraggiamento solare	
2.1 - Il Sole	13
<i>2.1.1 – Composizione chimica</i>	13
<i>2.1.2 – La propagazione dell'energia attraverso gli strati</i>	14
2.2 - La radiazione solare	16
2.3 - Effetto fotovoltaico	19
2.4 - Lo stato dell’arte degli impianti fotovoltaici e l'utilizzo sul campo	22
<i>2.4.1 – I tipi di pannelli in commercio e quelli adatti all'impiego</i>	22
<i>2.4.2 – Calcolo del rendimento di pannello</i>	24
<i>2.4.3 – Deployment ideale</i>	26
<i>2.4.4 – Calcolo della producibilità attesa</i>	29
Capitolo 3 - Il vento e la produzione di energia	
3.1 - Introduzione al microeolico	30
3.2 – Schema di funzionamento di una turbina	31
3.3 – Scelta di dimensione e potenza	32
Capitolo 4 – L’impianto elettrico	
4.1 – Introduzione all'impianto elettrico per risorse rinnovabili	35
4.2 – Tesla Power Wall	37
<i>4.2.1 – Una soluzione unica, caratteristiche principali</i>	37
<i>4.2.2 – Componenti e dimensionamento</i>	39
<i>4.2.3 – Confronto con sistema tradizionale</i>	42

Capitolo 5 – Il M.A.P.E. e i componenti strutturali

5.1 – Il container	43
5.1.1 – <i>Scelta della dimensione del container</i>	43
5.1.2 – <i>Modifiche apportate alla struttura classica del container</i>	45
5.2 – Telai scorrevoli per il deployment e supporti dei pannelli	47
5.3 – Supporto per generatore eolico	52
5.4 - Utilizzo dello spazio interno	54
Breve Riepilogo Tecnico	56
Conclusione	60
Bibliografia - Sitografia	61

INTRODUZIONE

Sin dall'alba dei tempi l'uomo ha guardato verso il cielo con stupore e ammirazione, cercando una relazione tra il movimento degli astri e la vita sul nostro pianeta.

Il Sole, che 4,6 miliardi di anni fa si innesco grazie alla fusione nucleare di alcuni atomi di idrogeno che si trasformarono in elio, ha reso possibile lo sviluppo di forme di vita complesse sulla terra, la creazione dell'atmosfera e conseguentemente la creazione del pianeta come lo conosciamo oggi.

Mentre tutto il mondo attorno a noi evolve, una sola cosa rimane praticamente immutata: la generazione di energia. Gran parte dell'energia sul pianeta è generata tramite la combustione di legna o combustibili fossili quali carbone, petrolio greggio e derivati e gas naturale. Queste fonti energetiche però producono inquinamento atmosferico locale (particolato, e gas inquinanti) e globale (gas serra). Un altro fondamentale svantaggio delle risorse fossili è la loro misura limitata e il costo sempre crescente per la loro estrazione.

Il ventesimo secolo ha visto un rapido incremento, di circa venti volte, dell'utilizzo dei combustibili fossili. Tra il 1980 e il 2004 l'incremento mondiale della loro produzione-consumo è stato del 2% annuo circa con un consumo giornaliero, per esempio, di 87 milioni di barili di greggio. Ammettendo che il tasso ed il tipo di consumi energetici possa rimanere costante, alcuni studiosi affermano che il petrolio (da fonti convenzionali) verrà esaurito in 35 anni e il carbone in 200 anni.

Escludendo la generazione di elettricità tramite energia nucleare, resa pericolosa dalla condizione dell'uomo di non poter prevedere misure adeguate di sicurezza e l'incapacità di contenere attivamente la radioattività in caso di incidente, vedi le catastrofi di Chernobyl e Fukushima, rimaniamo legati quindi alle fonti di energia rinnovabile e principalmente al solare, idroelettrico ed eolico.

Le tecnologie che impiegano l'energia solare sono di due tipologie: quella termoelettrica e

quella fotovoltaica. La prima sfrutta la componente termica dell'energia solare per portare un fluido ad alta temperatura, in modo da potere ottenere da esso energia elettrica; essendo per essa necessaria solo la componente diretta dell'energia solare, questa tecnologia è applicabile con grandi rendimenti solo in quelle aree in cui è presente una elevata insolazione. La seconda invece, ovvero la tecnologia fotovoltaica, utilizza la radiazione elettromagnetica per attivare reazioni chimico-fisiche che permettono quindi una conversione diretta da radiazione solare a energia elettrica; questa, a differenza della energia termoelettrica, è in grado di sfruttare anche la componente diffusiva della radiazione, avendo però livelli di efficienza minori per quanto riguarda la conversione dell'energia. Il principale vantaggio dell'energia ottenuta attraverso la tecnologia fotovoltaica è la modularità e, in generale, la relativa semplicità dell'impianto che non necessita di specchi (che devono essere continuamente puliti per l'ottenimento di un massimo rendimento) e non richiede componenti di impianto che abbiano parti mobili al loro interno (con una alta affidabilità risultante).

Se, per quanto riguarda il discorso energetico, possiamo riconoscere che una fonte come il fotovoltaico ad emissioni zero sia una scelta che potrebbe portare il pianeta verso un futuro più "green", ci accorgiamo che questo tipo di generazione di energia elettrica ha un altro fondamentale vantaggio che è quello di non deve essere collegata a nessuna infrastruttura preesistente, per operare al 100% della sua efficienza prevista. La tecnologia fotovoltaica può essere infatti sfruttata sia nei paesi del "primo mondo", dotati di infrastrutture efficienti per la distribuzione della corrente elettrica immettendo l'energia dei pannelli direttamente in rete e sfruttando essa stessa come regolatore, sia nel contempo, nei paesi in via di sviluppo o in luoghi isolati dove stendere chilometri di cavo non è economicamente conveniente o fattibile.

L'elaborato presentato nelle pagine successive, a cui ho dato il nome di M.A.P.E (Modulo Autonomo per Produzione Elettricità) può essere configurato per lavorare in entrambi gli ambiti (on grid e off-grid), ed è ottimizzato per operare in maniera autosufficiente e può essere facilmente trasportabile, con la possibilità di operare anche nelle più difficili condizioni atmosferiche come, per esempio, neve, sabbia e vento forte.

Un modulo del genere può portare grandi e numerosi benefici sia nell'ambito civile, umanitario che militare, dove sia richiesta una affidabile fonte di approvvigionamento di corrente elettrica in tutte le aree del globo, anche le più remote.

CAPITOLO 1 - L'idea e la stesura del progetto

1.1 – Specifiche di progetto e richiesta dell'utenza

La creazione di un Modulo Autonomo per la Produzione di Energia (M.A.P.E.) è una idea nata dalle mie esperienze di viaggio, fatte prevalentemente a scopo turistico in paesi del secondo e terzo mondo.

Nelle nostre case siamo abituati a una costante produzione di energia elettrica fornita, nella maggior parte dei casi, da centrali a polverina di carbone aiutate, nei picchi di richiesta, da centrali a gas. Questa elettricità non solo alimenta gli elettrodomestici di uso quotidiano, ma anche le pompe che forniscono acqua alla rete idrica, alimentano il sistema elettrico della caldaia del riscaldamento di casa e ci forniscono luce, sia all'interno delle case private per comodità, sia nelle strade pubbliche per aumentare, ad esempio, la sicurezza.

Tutti noi diamo questa “infinita” disponibilità quasi per scontata, ma una rilevante percentuale di persone non ha accesso a una rete elettrica preesistente o la regione in cui c'è la necessità di attingere a una fonte di energia affidabile non dispone nemmeno di cavi elettrici (*riferimento figura 1*). In questo caso le soluzioni a questi problemi possono essere molteplici e vanno valutate in funzione di una convenienza economica.

Proprio nel caso non sia possibile nessun tipo di allacciamento a infrastrutture vicine (o quest'ultimo risultasse una opzione totalmente inattuabile economicamente) vorrebbe inserirsi l'idea del Modulo Autonomo, fornendo quella costante produzione di elettricità che non può essere attinta da centrali collocate in maniera permanente sul terreno.

Per poter soddisfare le specifiche sopraindicate si è provveduto a stabilire dei punti fondamentali per la realizzazione dell'elaborato:

- Indipendenza delle risorse fossili: dato il fatto che le zone per cui questo modulo è stato pensato non sono spesso accessibili facilmente o comunque risultano in generale isolate; sarebbe da evitare la necessità di continuo rifornimento di un qualsivoglia carburante (benzina, gasolio, metano, ecc...) per cui si sarebbe comunque dipendenti

da una linea di approvvigionamento per mare, aria o terra, aumentando i rischi di rimanere senza carburante e quindi energia.

- **Facilità di trasporto:** le misure del modulo devono rimanere compatte nei limiti della trasportabilità via aerea, su gomma, su rotaia o marittima, per poter essere consegnato anche in aree remote dove non sono presenti strade asfaltate o aeroporti. Il modulo deve essere inoltre contenuto in un involucro impermeabile e resistente, per evitare di danneggiare le apparecchiature elettriche al suo interno.
- **Semplicità di deployment:** la messa in funzione deve essere possibile senza l'ausilio di personale specializzato e senza l'utilizzo di strumenti specifici.
- **Minimizzazione della manutenzione:** ridurre al minimo gli interventi di manutenzione programmata e produrre un adeguato dimensionamento delle parti mobili per non incorrere in problemi strutturali.
- **Resistenza all'ambiente:** resistenza agli agenti atmosferici dei materiali e della struttura per non incorrere in problemi di usura, corrosione o cedimento anche operando in condizioni atmosferiche difficili (vento forte, sabbia, neve, ghiaccio, pioggia battente).

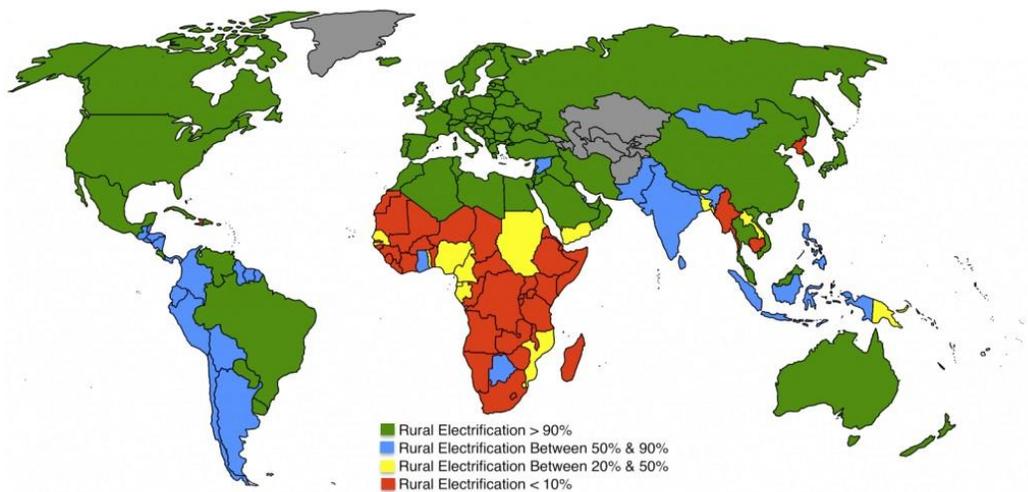


Figura 1: accessibilità a fonti affidabili di corrente elettrica nel mondo.

1.2 – Dalle specifiche alla realizzazione

Se nella precedente sezione abbiamo stabilito i punti fondamentali che la realizzazione di un progetto come questo richiedono, nel seguente illustreremo una analisi delle soluzioni valutate ed esporremo le motivazioni che hanno portato ad includerle nella realizzazione.

1.2.1 - Risorse rinnovabili

Il primo punto fondamentale stabilito è sicuramente l'indipendenza dall'approvvigionamento di risorse fossili e quindi l'autonomia delle generazione di energia elettrica.

Solitamente, per avere una stabile e continua generazione di energia in luoghi remoti o in caso di interruzione delle utenze, si è costretti a ricorrere a grossi gruppi elettrogeni. Queste macchine sono costituite da un motore termico accoppiato ad un generatore elettrico (alternatore) e sfruttando la combustione convertono l'energia tramite un processo a cascata, prima da termica a meccanica e successivamente in elettrica. Il gruppo elettrogeno è di gran lunga la soluzione preferita al giorno d'oggi per l'elevata potenza specifica relativamente alle dimensioni, per la facilità di trasporto e per l'enorme diffusione sul mercato sia di generatori che dei pezzi di ricambio necessari in caso di rottura.

Nonostante i numerosi pro elencati sopra i gruppi elettrogeni risultano sempre dipendenti da un costante rifornimento di carburanti fossili, oltre che essere rumorosi, inquinanti e costituiti da molte parti mobili che, come noto, diminuiscono il fattore di affidabilità.

Per fornire una valida alternativa a un gruppo elettrogeno questo elaborato si basa principalmente sulle risorse rinnovabili che tutti conosciamo, eolico e solare, sostanzialmente quasi sempre disponibili in ogni parte del globo, affidandosi solo in minima parte alla componente che sfrutta la combustione e solo in caso di necessità particolari.

Approfondimenti riguardanti la tecnologia solare ed eolica utilizzata si possono trovare nei capitoli 2 e 3.

1.2.2 - Trasporto, deployment ed uso sul campo

Quando è stata scelta la destinazione d'uso principale per un modulo come questo, si sono prese in considerazione varie opzioni che fornissero resistenza agli agenti atmosferici e nel contempo durabilità.

Se nel vagliare le opzioni un "case" costruito appositamente per l'impiego sembrava la soluzione ideale, ovviamente le valutazioni economiche hanno portato in una direzione differente suggerendo una struttura di base resistente, impermeabile e già prodotta e testata sul campo da anni: il container per trasporto marittimo.

Come risulterà ovvio lo scopo principale del container è proteggere il proprio carico dalle intemperie in uno dei pochi luoghi del nostro pianeta che ancora rimane fuori dal controllo dell'uomo, il mare, ed in questo campo riesce egregiamente dall'anno della sua introduzione nel 1967.

Il container ISO risulta un eccezionale candidato come base per la costruzione dei M.A.P.E. e ne consentirebbe una versatilità che altrimenti non avrebbe.

Dettagli sul container, le modifiche necessarie per l'adattamento all'impiego e il deployment si trovano nel capitolo 5.

CAPITOLO 2 - L'IRRAGGIAMENTO SOLARE

2.1 - Il Sole

La stella che ha dato il nome al nostro sistema di pianeti, e che a noi sembra così incredibilmente grande, non è altro che una piccola fonte di luce, se confrontata con le altre enormi stelle che sono state scoperte recentemente con l'osservazione di altre galassie. È grazie alla radiazione solare di questa nana gialla, infatti, che le piante riescono a compiere la fotosintesi rendendo quindi la vita possibile sul pianeta.

Nonostante le incessanti ricerche svolte nel campo dell'astrofisica, il sole rimane per noi sempre e comunque pieno di segreti, sia per quanto riguarda le reazioni che avvengono sulla sua superficie sia per aspetti che influenzano più direttamente la nostra vita come venti solari e radiazioni.

Un contributo notevole alla ricerca è stato sicuramente dato negli anni Novanta dalle missioni spaziali volute dall'ESA, l'Agenzia Spaziale Europea, dove gradualmente si fa strada la consapevolezza che il Sole è l'oggetto astronomico più importante per il nostro sistema e per la nostra vita, e dal quale dipendiamo in maniera incondizionata.

2.1.1 - *Composizione chimica*

La stella ha "ereditato" la sua composizione chimica dal mezzo interstellare da cui ha preso origine: l'idrogeno e l'elio, che ne costituiscono la grande parte, si sono costituiti grazie alla nucleosintesi del Big Bang, gli elementi più pesanti sono stati sintetizzati dalla nucleosintesi delle stelle più evolute che, al termine della propria evoluzione, li hanno diffusi nello spazio circostante. La composizione del nucleo è fortemente alterata dai processi di fusione nucleare, che hanno aumentato la percentuale in massa dell'elio a discapito dell'idrogeno: infatti l'idrogeno costituisce il 34% della massa del nucleo, mentre l'elio costituisce il restante 64%. La percentuale di elementi pesanti, detti convenzionalmente metalli, è rimasta invece pressoché invariata. Gli elementi più pesanti, presenti in tracce soprattutto negli strati più superficiali, sono: litio, berillio e boro, neon, la cui quantità effettiva sarebbe maggiore di quella precedentemente stimata tramite le osservazioni eliosismologiche; gli elementi del gruppo 8 della tavola periodica, cui

appartengono ferro, cobalto e manganese.

2.1.2 - La propagazione dell'energia attraverso gli strati

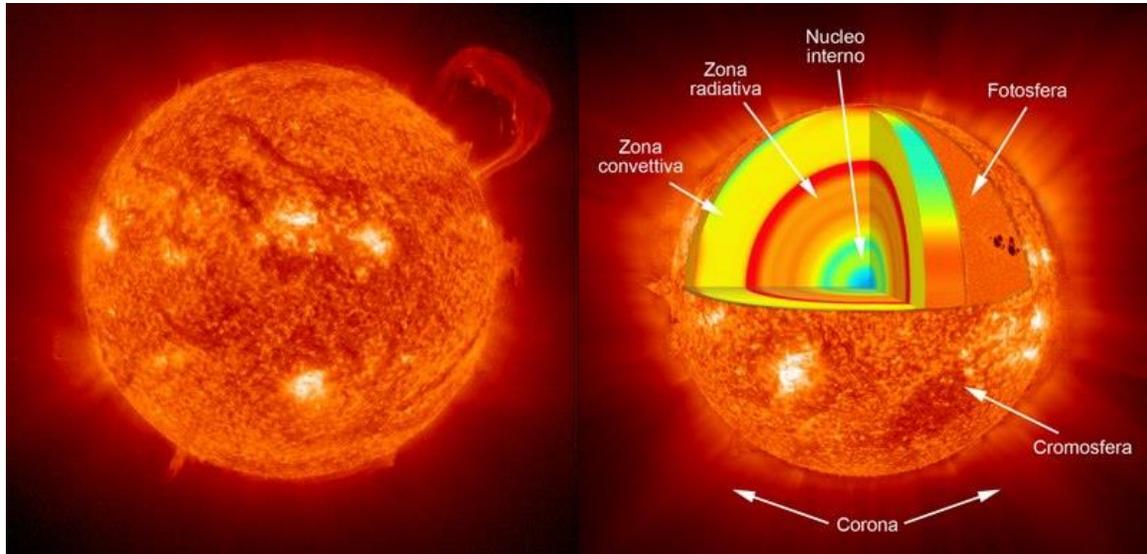


Figura 2: diagramma del sole.

1. Nucleo
2. Zona radiativa
3. Zona convettiva
4. Fotosfera
5. Cromosfera
6. Corona
7. Macchia solare
8. Granulazione fotosferica
9. Protuberanza ad arco

Il Sole possiede una struttura interna ben definita, che viene studiata dall'eliosismologia, la disciplina che studia la propagazione delle onde di pressione sulla nostra stella; questa ha una composizione a strati, dove all'interno avviene la generazione dell'energia solare tramite reazioni nucleari, e passando da uno strato all'altro fino a raggiungere la superficie, questa energia si attenua, ma mantiene intensità rilevanti, soprattutto dal punto di vista umano: questa energia infatti che si va a propagare nell'Universo, raggiunge la

nostra atmosfera con intensità nettamente inferiori.

Gli strati, dal centro verso l'esterno, sono (riferimento figura 2):

- Il nucleo: rappresenta il 10% in volume della stella, ma oltre il 40% in massa. Qui sono presenti caratteristiche fisiche davvero intense, una densità superiore a $150\,000\text{ kg/m}^3$, temperature superiori ai 13 milioni di gradi kelvin e pressioni di quasi 500 miliardi di atmosfere. Questi valori generano un ambiente, unico all'interno del Sole, tale da permettere la fusione nucleare tra idrogeno ed elio.
- Zona radioattiva: si estende da 0,2 fino a 0,7 raggi solari. Questa zona assorbe l'energia emessa dal nucleo e la trasmette per irraggiamento agli strati successivi. Questo trasferimento avviene in maniera molto lenta: infatti gli ioni di idrogeno ed elio emettono fotoni, che viaggiano attraverso una breve distanza prima di essere riassorbiti ed emessi da altri ioni.
- Zona convettiva: possiede uno spessore di circa 200 000 km, e si colloca nella parte esterna del Sole. Essendo in questo strato la temperatura e la densità inferiori, l'energia e il calore non possono più essere trasferiti per irraggiamento, ma attraverso moti convettivi (da qui il nome alla zona). Infatti la materia più calda viene portata nella zona alta, dove cede la propria energia allo strato successivo; raffreddata, risprofonda alla base, dove riceve nuovamente energia dalla zona radioattiva.
- Fotosfera: questa zona possiede uno spessore di circa 500 km e una temperatura che si aggira attorno ai 6000 gradi kelvin. Costituisce la superficie del Sole visibile ad occhio nudo dalla Terra.
- Cromosfera: in questa zona la temperatura, che si stava abbassando man mano che ci si allontanava dal nucleo, rizia a salire fino a raggiungere le decine di migliaia di gradi kelvin. È uno strato di poche migliaia di chilometri, ma è principalmente sede di migliaia di getti gassosi emessi contemporaneamente, chiamati spiculae: questi getti hanno un diametro superiore ai 1000 km e una velocità superiore ai 30

km/s.

- Corona: qui la temperatura raggiunge il milione di gradi kelvin: è infatti costituita da plasma, e si estende nello spazio per decine di milioni di chilometri. Gli astrofisici non sono ancora riusciti a comprendere perché la corona abbia una temperatura così elevata; essi ritengono che parte del calore sia originato dalla riconnessione delle linee del campo magnetico solare.

2.2 *La radiazione solare*

Il sole emette una potenza pari a circa 175-178 miliardi di Megawatt, oltre $60.000 \cdot 10^3$ W per metro quadrato, di cui solo circa 1350 W/m^2 raggiungono l'atmosfera terrestre dopo aver attraversato 150 milioni di km.

Si definisce costante solare G_0 la quantità di radiazione solare incidente la Terra per unità di tempo, su una superficie unitaria orientata in direzione ortogonale ai raggi solari e posta sull'area superiore dell'atmosfera terrestre. Il valore della costante solare è pari a 1.367 W/m^2 . Questo valore può variare di qualche punto percentuale in più in inverno e in meno in estate principalmente a causa della variazione della distanza della Terra dal Sole. La costante solare, inoltre, varia a seconda anche dell'attività delle macchie solari.

La costante solare include tutte le frequenze dello spettro della radiazione solare, non soltanto quelle della banda visibile (riferimento figura 3). Infatti i fotoni emessi dal Sole hanno una frequenza piuttosto eterogenea che comprende la quasi totalità dello spettro elettromagnetico, dalle radioonde fino ai raggi gamma.

La massima intensità spettrale di radiazione emessa dal Sole è a $0,48 \mu\text{m}$. Per quanto riguarda la curva dello spettro, essa è caratterizzata da onde di lunghezza compresa tra circa $0,2$ e $3 \mu\text{m}$. L'occhio umano percepisce come luce solo le radiazioni con lunghezza d'onda compresa mediamente tra $0,38$ e $0,76 \mu\text{m}$, che compongono circa il 42% dello spettro totale. Le onde di lunghezza inferiore a $0,38 \mu\text{m}$ sono denominate ultraviolette e sono il 7%, quelle di lunghezza superiore a $0,76 \mu\text{m}$ sono dette infrarosse, e coprono il 51% dello spettro totale.

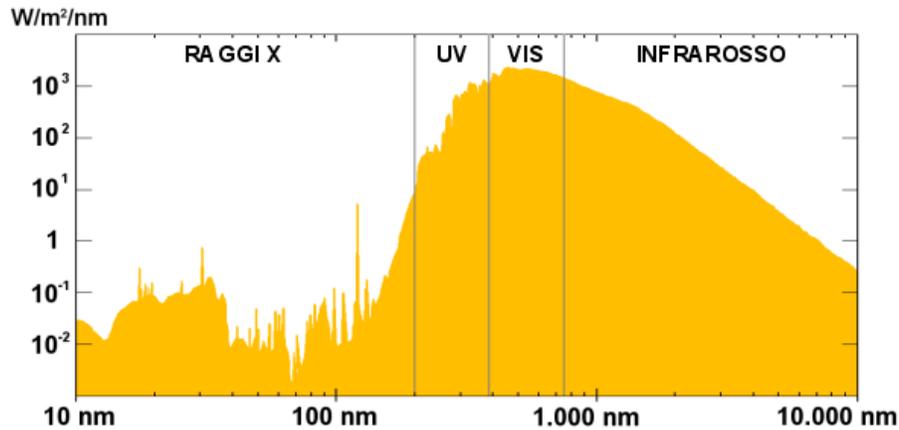


Figura 3: spettro della radiazione solare sulla superficie esterna dell'atmosfera terrestre.

La porzione di spettro di emissione solare che raggiunge la superficie terrestre, al netto dell'azione filtrante dell'atmosfera, è variabile ed è influenzato dalle condizioni meteo, dall'altitudine, dalla posizione del sole nell'arco dell'anno e anche dall'inquinamento (riferimento figura 4).

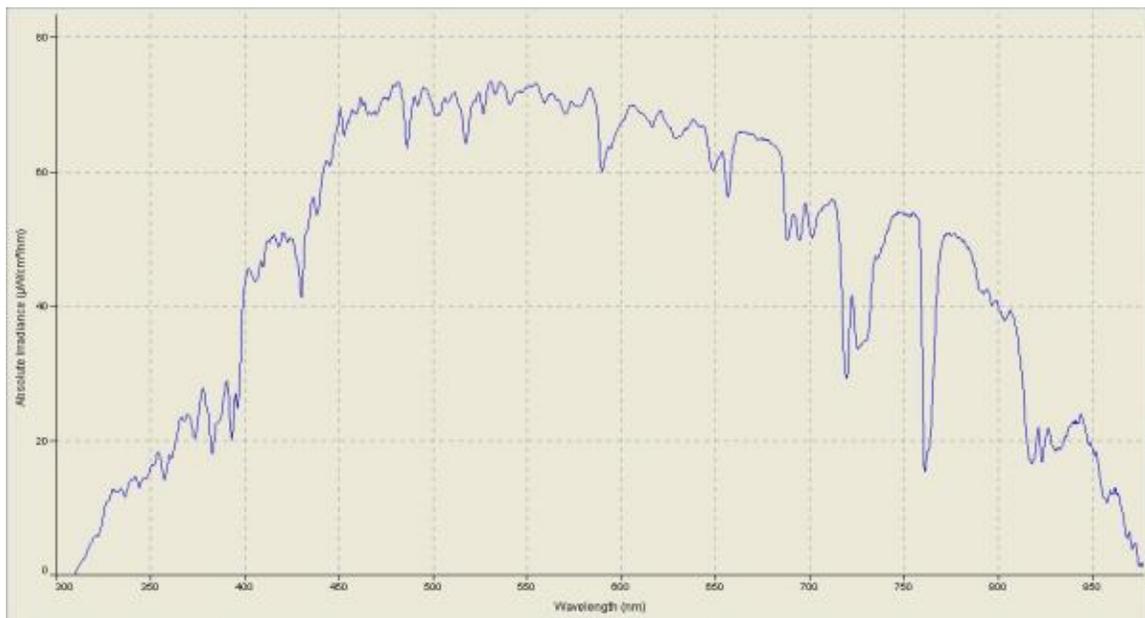


Figura 4: spettro della radiazione solare al livello del mare.

La radiazione solare che raggiunge la superficie terrestre si distingue in diretta, diffusa e riflessa. La relativa preponderanza di una componente sulle altre è principalmente influenzata da condizioni meteorologiche, inclinazione e orientamento della superficie,

presenza di elementi riflettenti (riferimento figura 5).

- La radiazione diretta colpisce qualsiasi superficie con un ben preciso angolo di incidenza.
- La radiazione diffusa incide sulla superficie considerata con vari angoli. Questa componente è dovuta ai fenomeni di assorbimento che avvengono quando la luce solare attraversa l'atmosfera da parte delle nubi.
- La radiazione riflessa è una componente che incide in maniera complementare alle altre due su una superficie inclinata considerando l'apporto della radiazione solare dovuta a specchi d'acqua adiacenti, pareti di edifici o anche dal terreno. Tale contributo viene indicato col nome di albedo.

Si definisce inoltre come insolazione l'energia media giornaliera che colpisce una superficie piana orizzontale. E' espressa in kW/h, essendo un Wh (wattora) l'energia necessaria a fornire una potenza di un Watt per un'ora (corrisponde quindi a 3,6 kJ, poichè un'ora è composta da 3600 secondi).



Figura 5: schema sulle varie parti che compongono la radiazione solare

2.3 - Effetto fotovoltaico

Quando la radiazione solare investe un qualsivoglia materiale cede energia agli elettroni più esterni degli atomi, che lo costituiscono; se tale energia è sufficiente, l'elettrone (portatore di carica negativa) risulta libero di allontanarsi dall'atomo di origine, dando luogo alla formazione di una lacuna (portatore di carica positiva).

Si rendono pertanto disponibili portatori di carica, che possono essere sfruttati per generare una corrente. Al fine di generare tale corrente è necessario creare un campo elettrico interno al materiale e ciò è ottenuto stabilendo un eccesso di atomi caricati negativamente (anioni) in una parte del semiconduttore e un eccesso di atomi caricati positivamente (cationi) nell'altra. Tali eccessi di cariche positive e negative all'interno del semiconduttore sono ottenuti attraverso un processo detto di drogaggio. Il processo di drogaggio è ottenuto inserendo all'interno della struttura cristallina del semiconduttore degli atomi del terzo gruppo, come ad esempio il boro (B), e del quinto gruppo, quale ad esempio il fosforo (P), per ottenere rispettivamente una struttura di tipo p (con un eccesso di lacune, aventi carica positiva, da cui la dizione "tipo p") e una di tipo n (con un eccesso di elettroni, aventi carica negativa, da cui la dizione "tipo n"). Nel caso del Silicio, essendo questo un semiconduttore avente quattro elettroni di valenza (riferimento figura 6), il drogaggio con un elemento del terzo gruppo, quale il boro, che ha pertanto tre elettroni di valenza, non permette la chiusura dell'ottetto, dando luogo quindi alla formazione di una lacuna, portatore di carica positiva. Mentre il drogaggio con un elemento del quinto gruppo, quale il fosforo, che ha cinque elettroni di valenza, di cui quattro concorrono alla chiusura dell'ottetto, mentre il quinto resta libero di spostarsi all'interno del reticolo cristallino del semiconduttore fungendo da portatore di carica negativa.

Va sottolineato che il materiale risulta essere globalmente neutro, dato che il drogaggio viene realizzato con atomi neutri (non ioni), quello che cambia è l'eccesso di elettroni nei legami covalenti, da una parte, e il difetto degli stessi dall'altra. Quindi sia la struttura di tipo p che quella di tipo n sono neutre. Lo strato drogato tipo n, presenta una carica negativa debolmente legata, costituita da un elettrone in eccesso per ogni atomo drogante.

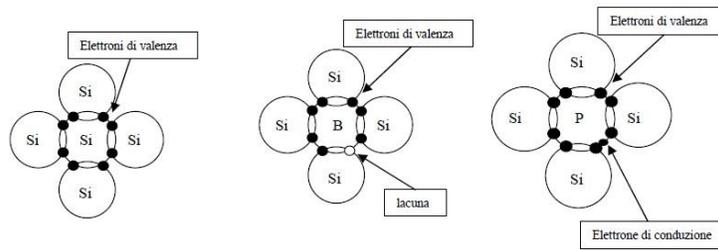


figura 6: schema elettroni di valenza

Nello stesso modo, nello strato drogato di tipo p, si ottiene un eccesso di carica positiva, data dalle lacune degli atomi droganti. Se si congiungono due semiconduttori, uno di tipo p e uno di tipo n, si ottiene, in corrispondenza della zona di contatto, una zona di separazione detta giunzione p-n. Mettendo a contatto i due materiali così ottenuti, si viene a verificare un flusso di diffusione di elettroni dalla zona n alla zona p e di lacune in direzione opposta (gli elettroni e le lacune si spostano fino al raggiungimento dell'equilibrio elettrostatico, che determina un eccesso di carica positiva nella zona n, un eccesso di elettroni nella zona p e una regione intermedia detta regione di svuotamento. Il risultato è un campo elettrico interno al dispositivo che si estende a cavallo della regione di svuotamento, generalmente spessa pochi micrometri (riferimento figura 7).

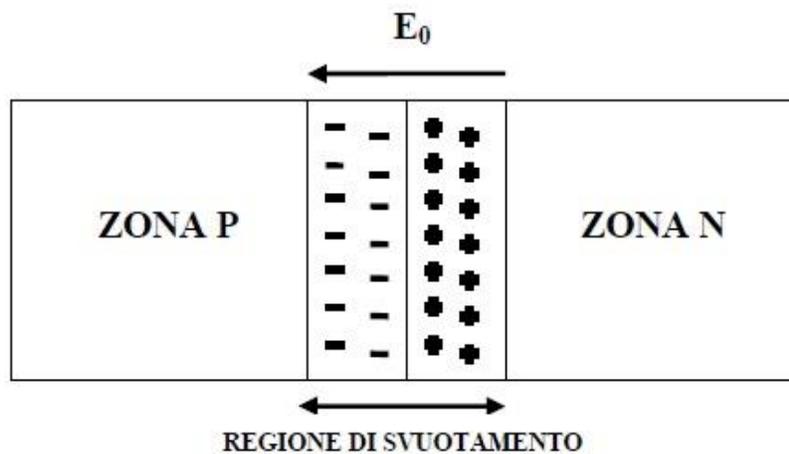


figura 7: rappresentazione schematica della giunzione p-n

Quando la giunzione p-n è investita dalla parte del silicio tipo n da un flusso luminoso questo cede energia agli atomi di Silicio portando alcuni elettroni dalla banda di valenza a quella di conduzioni, liberando quindi, sia sul lato n che su quello p della coppie elettrone/lacuna, libere a questo punto di muoversi all'interno del semiconduttore. Il campo elettrico separa gli elettroni in eccesso generati dall'assorbimento della luce dalle rispettive lacune, spingendoli in direzioni opposte, gli elettroni verso la zona n e le lacune verso la zona p. Una volta attraversato il campo, gli elettroni liberi non tornano più indietro, perché il campo, agendo come un diodo, impedisce loro di invertire la marcia (riferimento figura 6 7 8).

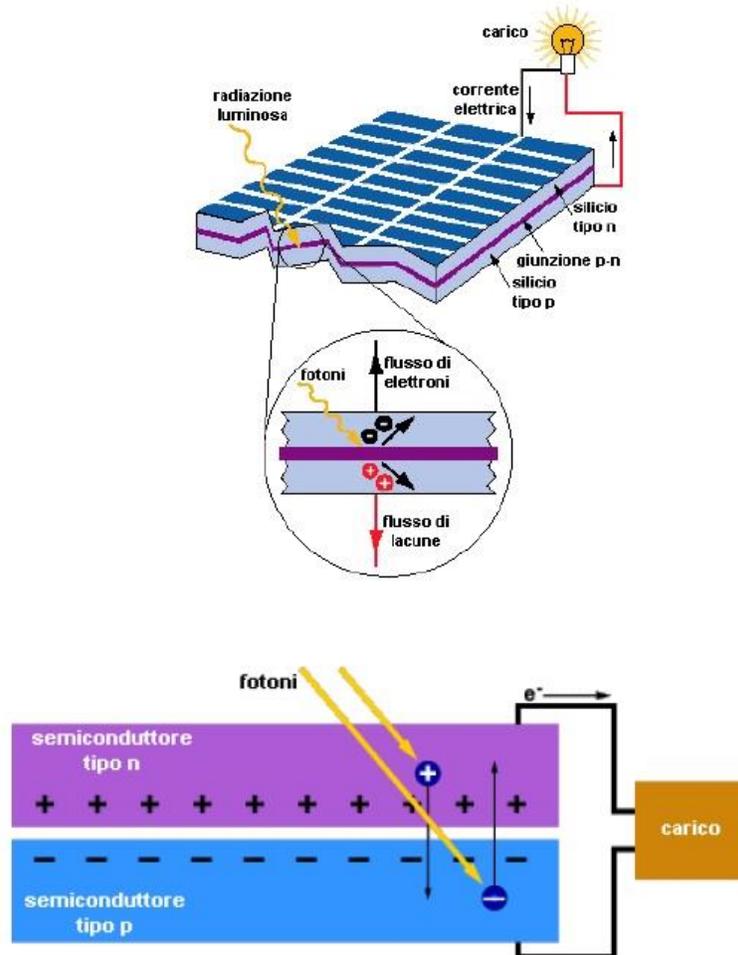


Figure 8 e 9 :rappresentazione dei flussi di elettroni

2.4 - Lo stato dell'arte degli impianti fotovoltaici e l'utilizzo sul campo

2.4.1 – I tipi di pannelli in commercio e quelli adatti all'impiego

La maggior parte delle celle fotovoltaiche attualmente in commercio sono realizzate tramite semiconduttori in silicio. Le principali tipologie di celle fotovoltaiche sono:

- celle in silicio monocristallino
- celle in silicio policristallino
- celle a film sottile

Celle in silicio monocristallino: (riferimento figura 10) Le celle in silicio monocristallino sono realizzate a partire da cristalli di silicio ad elevato grado di purezza, che vengono prima fusi e poi fatti solidificare in modo da ottenere un lingotto di forma cilindrica costituito da un monocristallo, avente un diametro compreso tra i 13 e i 20 cm e un'altezza di circa 200 cm. Il cristallo viene successivamente tagliato a fette sottili dello spessore di $250 \div 350 \mu\text{m}$, dette celle, che andranno a costituire i moduli o pannelli fotovoltaici, ottenuti collegando tra loro più celle. I pannelli fotovoltaici monocristallini presentano rendimenti tipici minori o uguali al 16%.



Figura 10: Pannello in silicio monocristallino commerciale.

Celle in silicio policristallino: (riferimento figura 11) Le celle in silicio policristallino hanno costi minori delle monocristalline e sono tipicamente ottenute per fusione degli scarti del processo industriale di produzione dei moduli monocristallini. I pannelli fotovoltaici policristallini presentano rendimenti tipici minori o uguali al 14%.



Figura 11: Pannello in silicio policristallino.

Le celle a film sottile: (riferimento figura 12) sono composte da strati di materiale semiconduttore (non sempre è presente il silicio), quali silicio amorfo, telloruro di cadmio, solfuro di cadmio, ecc., depositati generalmente come miscela di gas su supporti a basso costo (vetro, polimeri, alluminio) che danno consistenza fisica alla miscela. I pannelli fotovoltaici a film sottile presentano rendimenti tipici dell'ordine del 5 ÷ 8%.

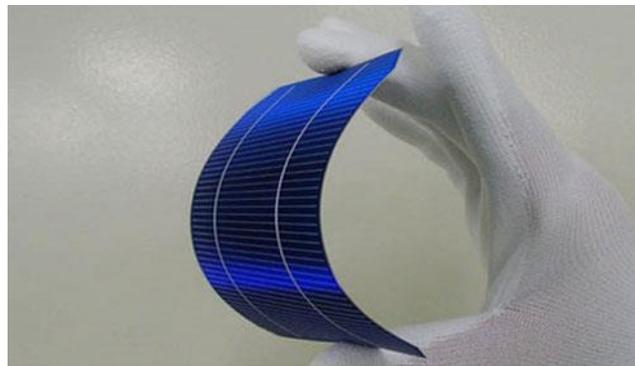


Figura 12: Celle a film sottile.

Le diverse tecnologie di pannelli fotovoltaici hanno una capacità più o meno spinta di percepire la radiazione diffusa. I pannelli in silicio monocristallino sono quelli con minor capacità di conversione della componente diffusa, i policristallino presentano prestazioni migliori in tal senso e quelli a film sottile sono quelli più idonei all'installazione in presenza di una rilevante componente di luce diffusa.

Nell'elaborato proposto ci si concentrerà sulla preparazione di un modulo con pannelli di silicio monocristallino (Yingli Solar High Efficiency Monocrystalline Module, scheda tecnica allegata),(riferimento figura 13) per installazione in zone in prossimità dell'equatore nell'africa sahariana o nel medio oriente dove la maggior parte dell'anno le giornate sono calde e secche e prevale la componente diretta. Il modulo autonomo rimane comunque personalizzabile entro le misure massime dei telai di sostegno e può accomodare anche pannelli di diversa natura nel caso l'evenienza lo richiedesse, senza modificare la struttura.

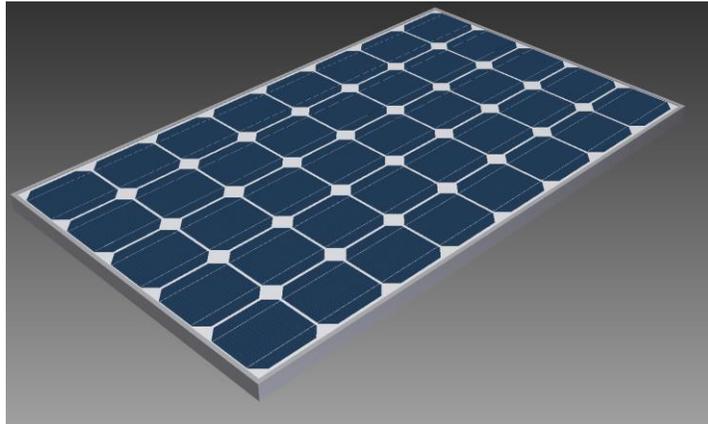


figura 13: pannello Yingli 260 YL260-30b

2.4.2 – Calcolo del rendimento del pannello

Si definiscono condizioni standard (STC – standard test condition) per l'effettuazione dei test di laboratorio sui pannelli al fine di definirne l'efficienza:

- irraggiamento 1000 W/m^2 ;
- temperatura del modulo 25°C .

Tra i principali dati riportati nella scheda tecnica di un pannello fotovoltaico vi sono:

- la potenza nominale del pannello
- le dimensioni del pannello

Si definisce rendimento di pannello il rapporto tra la potenza in watt e la superficie del pannello in m². Ad esempio un pannello da 220 W, avente le seguenti dimensioni:

- altezza 1644 mm
- larghezza 992 mm
- profondità 46 mm

avrà un rendimento di pannello pari a:

$$\eta = \frac{\text{potenza}}{\text{superficie}} = \frac{220}{(1,644 \times 0,992)} \frac{W}{m^2} = 134,89 \frac{W}{m^2} = 0,13489 \frac{kW}{m^2}$$

si dice, anche se impropriamente essendo il risultato ottenuto non un vero rendimento, il quale dovrebbe essere dimensionale, che il modulo ha un rendimento del 14,45%. Ciò deriva dal fatto che se si divide il risultato ottenuto con un valore d'irraggiamento di riferimento, quale ad 1000 W/m² si ottiene la percentuale di conversione della potenza solare in potenza elettrica, cioè un rendimento:

$$\eta = \frac{134,89 \frac{W}{m^2}}{1.000 \frac{W}{m^2}} = 0,13489 = 13,49\%$$

Il pannello, in condizioni standard, genererà quindi una potenza di 220 W, pari a un rendimento di conversione dell'energia solare in energia elettrica del 13,49%. 10 In presenza di un valore di irraggiamento superiore o inferiore ai 1.000 W/m², e al variare della percentuale di luce diretta e diffusa, di temperature di pannello superiori o inferiori a

25°C e di un angolo di incidenza della radiazione solare superiore o inferiore ai 90° la potenza generata dal pannello potrà essere maggiore o minore di 220 W.

2.4.3 – Deployment ideale

Una volta scelto l'opportuno tipo di pannello e calcolatone il rendimento si rende fondamentale una analisi dell'ottimale posizionamento del modulo per ottimizzare le potenzialità di cui è stato dotato, compatibilmente con l'ambiente circostante. Per quanto riguarda il posizionamento dei pannelli risultano fondamentali le analisi degli angoli di tilt e azimut e dell'ombreggiamento (riferimento figura 14).

ANGOLI

L'angolo di tilt è l'inclinazione del pannello rispetto all'asse orizzontale.

Più l'angolo di incidenza della radiazione solare tende ad essere normale al pannello minore sarà la componente riflessa e quindi maggiore la produzione del pannello. Durante il giorno la posizione del sole varia in cielo, quindi a meno di non utilizzare pannelli ad inseguimento, ovvero pannelli provvisti di un supporto mobile che li orienti costantemente nella direzione del sole, è necessario installare i moduli con un inclinazione che ne massimizzi la produzione.

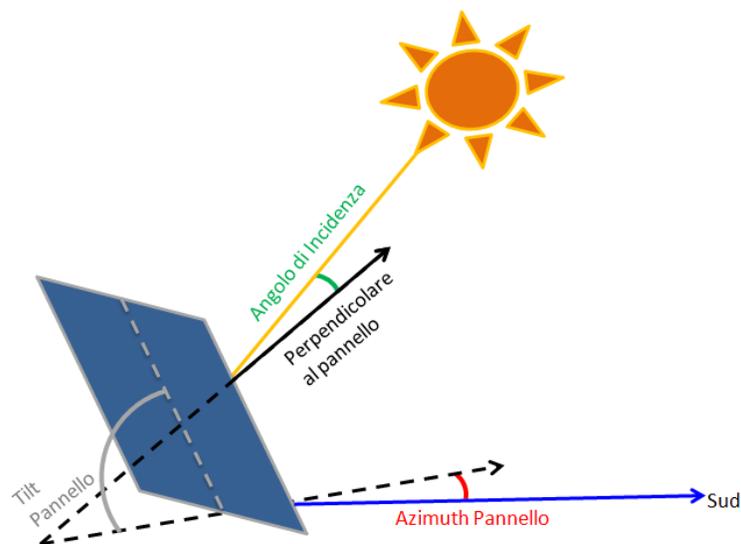


figura 14: rappresentazione angoli

Si definisce angolo di azimut lo scostamento rispetto al sud. L'orientamento del pannello deve essere il più possibile verso sud. Il sole sorge a est e tramonta a ovest, e per quasi tutto l'anno si trova localizzato nell'emisfero sud, per paesi che come il nostro si trovano a nord dell'equatore. Pertanto orientando i pannelli a sud si ha la loro massima esposizione al sole durante l'anno. Se i pannelli dovessero essere installati con un orientamento non perfettamente sud – nord, tanto più l'angolo di azimut dovesse essere grande e tanto minore sarà la producibilità del pannello.

ORIENTAMENTO	INCLINAZIONE (orizzontale = 0° - verticale = 90°)						
Sud = 0° e Est/Ovest = 90°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0°	0,89	0,97	1	0,99	0,93	0,83	0,69
15°	0,89	0,96	1	0,98	0,93	0,83	0,69
30°	0,89	0,96	0,99	0,97	0,92	0,82	0,70
45°	0,89	0,94	0,97	0,95	0,90	0,81	0,70
60°	0,89	0,93	0,94	0,92	0,87	0,79	0,69
75°	0,89	0,91	0,91	0,88	0,83	0,76	0,66
90°	0,89	0,88	0,87	0,83	0,78	0,71	0,62

Tabella energia solare al variare dell'orientamento e dell'inclinazione (dati orientativi) in Italia.

Dai dati in Tabella si evince che installando i pannelli con un orientamento (angolo di azimut) di 90°, cioè in direzione est o ovest, complanari al terreno o su una struttura di supporto a 90° (angolo di tilt) i kWh prodotti per kWp (KiiloWatt di picco) installato saranno il 62% di quelli ottenibili installando il pannello in modo ottimale, si avrà quindi una perdita del 38% della producibilità massima ottenibile installando i pannelli con orientamento a sud e inclinazione dei moduli di 30°.

OMBREGGIAMENTO

Se un pannello è parzialmente ombreggiato può essere soggetto o a un calo di produzione o all'annullamento completo della produzione, con conseguente riduzione o completa perdita di produzione dell'intera stringa all'interno della quale il pannello è inserito. Nella scelta e valutazione delle superfici su cui installare un impianto fotovoltaico si deve fare quindi particolare attenzione alla presenza di elementi che possano proiettare un'ombra

sui moduli durante le varie ore della giornata. Nel far ciò si deve considerare che:

- di giorno il movimento del sole modifica la posizione delle ombre proiettate dagli oggetti per terra facendo descrivere a queste un semicerchio
- al mattino e al tramonto le ombre sono più lunghe essendo il sole più basso in cielo.

In generale dato un oggetto avente un'altezza h eventuali pannelli che dovessero essere installati in prossimità di questo andranno posti ad una distanza di almeno 3 volte h . Gli stessi pannelli tendono a farsi ombra tra loro, nel caso dell'utilizzo di più moduli, non è quindi il caso di pannelli posti complanari al suolo, in ragione di ciò ogni fila di pannelli dovrà essere distanziata dalla fila precedente di una distanza pari a 3 volte l'altezza della fila precedente.

2.4.4 – Calcolo della producibilità attesa

Il calcolo della producibilità di un impianto fotovoltaico si effettua a partire dall'irraggiamento al metro quadro medio annuo, in presenza di un'inclinazione ottimale della superficie incidente.

A partire dall'irraggiamento (kWh / m^2) si ricava, noto il rendimento atteso di pannello, e le perdite del sistema attese, la producibilità annua per kWp installato, misurata in kWh / kWp . La producibilità lorda attesa sarà pari a:

Producibilità lorda (kWh/kWp) = Irraggiamento (kWh/m^2) * rendimento pannello * superficie al kWp (m^2/kWp)

Mentre la producibilità netta si calcola tenendo conto delle perdite del sistema:
Producibilità netta (kWh/kWp) = producibilità lorda (kWh/kWp) * (1 – perdite concentrate – perdite distribuite – perdite per riflessione – perdite per temperatura)

Esempio di calcolo della producibilità attesa per un impianto sito ad Augusta (Sicilia):

Irraggiamento Augusta: $2.000 \text{ kWh}/\text{m}^2$.

Rendimento pannello policristallino: 0,14.

Superficie al kWp: $\sim 8 \text{ m}^2/\text{kWp}$.

Perdite: temperatura (11%) + riflessione (2,5%) + concentrate, distribuite e inverter (14%) + trasformatore (2%) = 29,5%.

Producibilità lorda (kWh/kWp) = $2.000 \text{ (kWh/m}^2 \text{)} * 0,14 * 8 \text{ (m}^2 \text{ /kWp)} = 2.240 \text{ (kWh/kWp)}$

Producibilità netta (kWh/kWp) = $2.240 \text{ (kWh/kWp)} * (1 - 0,295) = 1.579 \text{ (kWh/kWp)}$

CAPITOLO 3 - Il vento e la produzione di energia

3.1 - Introduzione al microeolico

L'energia eolica è la conversione dell'energia del vento in una forma utilizzabile di energia, generalmente grazie all'utilizzo di aerogeneratori che producono energia elettrica. Questa è un'energia alternativa ai combustibili fossili, abbondante, rinnovabile e a sostegno dell'economia verde, ampiamente distribuita, pulita, non produce emissioni di gas serra durante il funzionamento e richiede una superficie di terra non eccessivamente elevata. Gli effetti sull'ambiente sono in genere meno problematici rispetto a quelli provenienti da altre fonti di energia.

L'energia eolica è una fonte stabile di anno in anno, ma ha una variazione significativa su scale di tempo più brevi. Un metodo per ovviare a questi cambiamenti è possedere il modo di stoccare l'energia prodotta tramite batterie o metodi alternativi. Inoltre, le previsioni del tempo consentono alla rete elettrica di essere preparata tempestivamente a seconda delle variazioni previste nella produzione.

La produzione di energia elettrica di solito proviene da venti molto vicini alla superficie terrestre. Tuttavia i venti in alta quota sono più forti e più stabili e possono avere una capacità globale di 380 TW. Negli ultimi anni si sono visti significativi progressi nelle tecnologie destinate a produrre energia elettrica da queste correnti ventose.

Con il termine minieolico o piccolo eolico, ci si riferisce alla produzione di energia elettrica da fonte eolica realizzata con l'utilizzo di aerogeneratori di altezza inferiore a 30 metri. Gli aerogeneratori possono essere al servizio di una utenza isolata non collegata alla rete elettrica o connessi sia per una auto-produzione in scambio che per la fornitura di energia elettrica alla rete (con contributo alla cosiddetta generazione distribuita). La differenza con il grande eolico risiede oltre che nella dimensione delle macchine nella possibilità di operare economicamente con regimi di vento inferiori a quelli richiesti dalle enormi macchine industriali.

3.2 - Schema di funzionamento di una turbina

A livello descrittivo, possiamo affermare che i principali componenti di una turbina eolica sono sette: il rotore e le pale, il generatore, il sistema di trasmissione (con albero e ingranaggi), l'impianto di controllo, i dispositivi frenanti e il sistema di orientamento (riferimento figura 15).

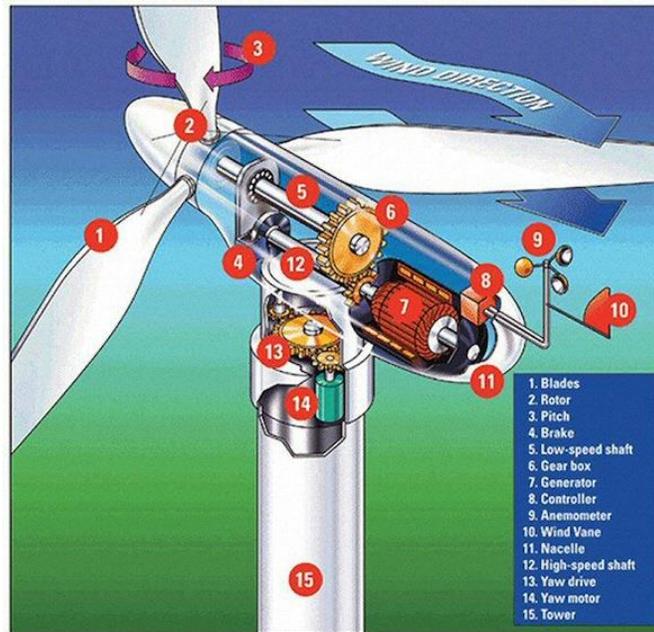


figura 15: schema di funzionamento di un generatore eolico

Osservando una pala eolica si riconoscono subito quattro componenti: la testa con le lame e il rotore, la base e il tronco. Quella che noi abbiamo definito “testa” si chiama navicella e rappresenta la struttura di contenimento di due componenti cruciali, il rotore e il generatore elettrico. Sempre nella navicella, tra il generatore e le lame è situato l’albero di trasmissione. L’albero di trasmissione è tenuto in rotazione dalle pale, così l’energia rotazionale dal mozzo (il componente in cui sono ancorate le pale) è trasferita al generatore elettrico. Gli ingranaggi correlati all’albero di trasmissione possono avere il ruolo di moltiplicatore di giri: un moltiplicatore di giri può portare 30 giri reali al minuto a una rotazione interna di 18.000 giri al minuto, rotazione necessaria alla generazione dell’energia elettrica. A consentire il corretto funzionamento dei componenti appena descritti, ci sono due sistemi, il sistema di controllo e quello di

frenatura. Se non viene controllata, una turbina tende a raggiungere velocità eccessivamente elevate durante i periodi di forte vento oltrepassando così la sua potenza nominale. Il sistema di controllo di solito è dato da dispositivi elettronici, meccanici e idraulici (per esempio, i sistemi di controllo Eaton), può comprendere un anemometro, un micro-computer e sensori di diversa natura.

Per quanto riguarda i sistemi frenanti possono essere aerodinamici, elettrici o meccanici. Anche il sistema frenante è localizzato sulla navicella, è per questo che può essere definita -in tutti sensi- la testa dell'aerogeneratore. I sistemi frenanti di tipo aerodinamico sono dati da strutture che tendono a rallentare l'azione esercitata dai venti troppo forti, così nelle grandi turbine si notano le punte delle pale che possono essere ruotate ed esercitare un'azione frenante.

Nelle turbine più piccole vi è un sistema passivo che riesce a orientare il rotore parallelamente al vento. I sistemi meccanici prevedono -di solito- un particolare freno a disco posto sull'albero. I sistemi frenanti elettrici dissipano la potenza del vento in vari modi, molto diffuso è il meccanismo elettrico che disattiva i fili di uscita del generatore trasformando l'energia meccanica del vento in calore.

3.3 - Scelta di dimensione e potenza della turbina

Nella valutazione delle risorse sfruttabili per il M.A.P.E. si è preso in considerazione da subito di affiancare alla fonte costituita dal fotovoltaico un secondo mezzo di produzione di energia elettrica.

Da anni per comunità che si trovano in luoghi remoti e ventosi si è ricorsi a impianti di tipo diesel-vento per abbassare i costi di approvvigionamento dai carburanti fossili e fornire energia 24h al giorno. Nel nostro caso la possibilità di produrre energia sia attraverso il sole sia attraverso il vento e stoccarla in pacchi batterie appositamente dimensionati renderebbe l'eventuale contributo di un generatore a gasolio necessario solo in mancanza di entrambe le fonti.

Per quanto riguarda la scelta della turbina installabile sul modulo si è quasi interamente limitati dalle dimensioni di quest'ultima e del suo sostegno che devono infatti essere

contenuti all'interno del modulo per il trasporto.

Nell'elaborato presentato in questa sede viene considerato l'utilizzo di una singola turbina: la Turbina Minieolica WINDSPOT da 3,5 kW, prodotta dalla Sonkyo Energy S.L. Questa turbina oltre a rispettare i limiti massimi per quanto riguarda la misura di trasporto una volta smontate le pale, risulta una delle più produttive nel suo ambito grazie alla tecnologia a passo variabile. Il modello preso in considerazione è un componente già ampiamente testato sul suolo nazionale in diversi ambienti e garantisce l'ottimale rapporto peso/energia nel nostro caso.

La PENGHU University of Taiwan ha effettuato test di verifica della capacità produttiva di diverse turbine minieoliche appartenenti a diversi produttori da cui è emerso che la Turbina Minieolica WINDSPOT da 3,5 kW è la più produttiva ed affidabile con una produzione record giornaliera pari a 74 kWh in condizioni ottimali di vento.

CARATTERISTICHE TECNICHE:

- Alimentazione: 3.5 kW @ 250 rpm
- Diametro rotore: 4.05 m
- Velocità di innesto: 3 m/s
- Velocità nominale: 12 m/s
- Peso: 185 kg
- Lunghezza totale: 3,2 m
- Produzione annuale prevista: 5-7m/s (5550-11300 kWh)
- CO₂ risparmiata: 3610-7350 kg
- Tipo: Rotore orizzontale controvento
- Generatore: 24-48-110-220 V a 50/60 Hz, sincrono, a magneti permanenti; 3 fasi

- Controllo d'imbardata: Sistema passivo a Timone di Coda
- Controllo potenza: Sistema a pale orientabili centrifugo passivo con Ammortizzatore (Design brevettato)
- Trasmissione: Diretta
- Freno: Elettrico
- Dispositivo di controllo: Possibilità di Connessione Autosufficiente o meno
- Pale: Resina di poliestere rinforzata con fibra di vetro
- Inverter: Efficienza =95%; Algoritmo MPPT
- Rumore: 37 dB(A) da 60 m con una velocità del vento di 8 m/s
- Protezione anti corrosione: Design a tenuta + galvanizzazione a caldo + vernice resistente ai raggi UV
- Design: In base alla IEC61400-2



Figura 16: turbina micro-eolica - modello SolidWorks.

CAPITOLO 4 - L'impianto elettrico

4.1 - Introduzione all'impianto elettrico per risorse rinnovabili

Una volta completata l'analisi e la scelta dei pannelli fotovoltaici e della turbina eolica si rende necessario il dimensionamento di quelle apparecchiature elettroniche che risultano necessarie al trasferimento, l'accumulo e la distribuzione dell'energia elettrica prodotta.

Come già accennato nell'introduzione il modulo può operare sia allacciato alla rete elettrica preesistente, sia in autonomia e proprio per questo secondo caso bisogna prevedere una serie di componenti aggiuntive. Mentre, infatti, nel caso in cui si operi con un allacciamento alla rete, quest'ultima svolge sia le funzioni di regolatore di carica che di distribuzione dell'energia (osservando dove il fabbisogno è maggiore o minore), in un modulo che opera autonomamente bisogna prevedere un sistema che regoli l'output dei pannelli e dell'aerogeneratore e prevedere un sistema per lo stoccaggio di questa energia.

Lo schema elettrico del M.A.P.E. deve assicurare il corretto utilizzo dell'energia prodotta dal sistema, riducendo al minimo le perdite. Il nostro modulo si avvarrà di un sistema di sfruttamento dell'energia rinnovabile relativamente semplificato considerando che tutto sommato genera una potenza contenuta per cui non sono necessari inverter trifase di stringa, cabine di trasformazione e specifici dispositivi di interfaccia. Passiamo ora ad elencare le componenti (riferimento figura 17):

- Campo fotovoltaico e generatore eolico: Il campo fotovoltaico è l'insieme dei moduli fotovoltaici dell'impianto. Per un impianto di circa 6 Kw basteranno mediamente 24 moduli da 250 – 260 watt collegati in serie.

La tensione in uscita dal campo fotovoltaico varia in funzione della temperatura, ma anche in funzione del posizionamento e dell'orientamento dei moduli e dalle condizioni di irraggiamento. L'orientamento ottimale è a sud e l'inclinazione ottimale è di circa 30 gradi, in Italia. Il generatore eolico incrementa (quando a regime) l'apporto di corrente elettrica di 3.5Kw, portandolo a circa 9.5Kw. Il campo fotovoltaico e il generatore eolico producono energia in corrente continua, per convertire quest'ultima in corrente alternata utilizzabile dall'utenza dobbiamo

prevedere un inverter, ma prima di passare all' inverter lo schema impianto prevede il collegamento della stringa al sezionatore.

- **Sezionatore:** La stringa di moduli fotovoltaici, prima di essere collegata all' inverter per la commutazione della corrente da continua ad alternata, deve essere collegata ad un apposito sezionatore. Ciò è previsto dalla norma CEI 64-8. Il sezionatore è una misura di sicurezza che permette di scollegare il campo fotovoltaico di cui sopra in caso di interventi sull'impianto. Grazie agli scaricatori, inoltre, il sezionatore permette di staccare, salvandolo, l'impianto fotovoltaico in caso di scariche atmosferiche o picchi di tensioni (sovratensioni).
- **Inverter:** Come detto l'inverter permette di trasformare la corrente continua prodotta in corrente alternata. Per un impianto da 9.5 Kw di potenza l'inverter sarà di 10 Kw (9500 watt in entrata).
- **Sistema elettronico di monitoraggio:** Questo permette, sfruttando anche la connessione internet, di monitorare in tempo reale la produzione dell'impianto fotovoltaico. Un efficiente sistema di "alert", permetterà di intervenire tempestivamente in caso di malfunzionamento impianto o di guasti. Il sistema di monitoraggio si serve anche di un sensore di temperatura e di irraggiamento che permette di "ponderare" e monitorare la produzione dell'impianto in relazione alle condizioni esterne di funzionamento.
- **Il contatore di produzione:** È il contatore definito anche "contatore Gse", che permette di misurare tutta l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico. Il contatore di produzione misura quindi l'energia stoccata "in sito". **Batterie:** Per l'utilizzo in autonomia un pacco batterie opportunamente dimensionato si rende necessario per i momenti in cui non vi è la possibilità di consumare direttamente l'elettricità prodotta. In questo ambito esistono svariati tipi di tecnologie, da quelle più vecchie al piombo a quelle più nuove agli ioni di litio e sono fondamentalmente l'unica parte dell'impianto elettrico che richiede una costante manutenzione e controllo.

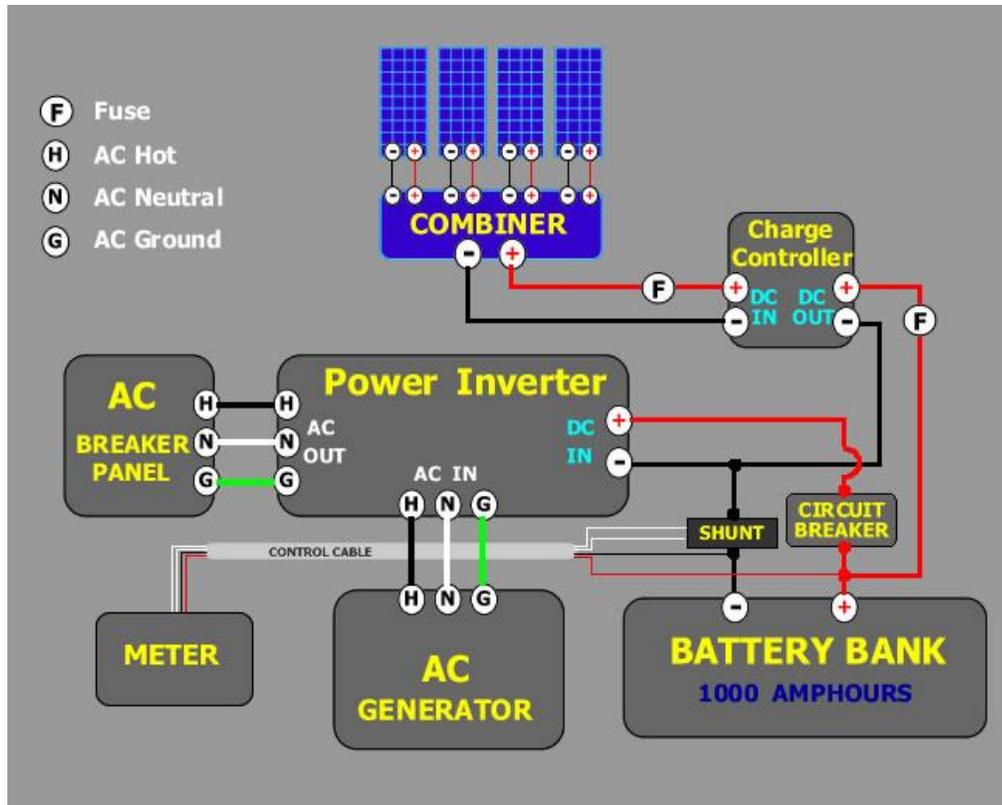


figura 17: Schema impianto risorse rinnovabili

4.2 Tesla Power Wall

4.2.1 – Una soluzione unica, caratteristiche principali

Come spiegato nel paragrafo precedente, l'impianto elettrico consta di numerosi e diversi componenti per i quali, una volta stabilita la dimensione e la capacità, si dovrebbe valutare la compatibilità, il costo e i vari collegamenti. Per ovviare a questa analisi possiamo dotare il modulo, invece che di tanti componenti separati, dell'ultimo ritrovato dell'azienda Tesla Energy, leader mondiale nella ricerca e sviluppo in sistemi per lo sfruttamento delle risorse alternative.

Il Tesla Power Wall e la sua controparte industriale Tesla Power Pack (da 10 volte la capienza) sono stati presentati da Elon Musk, CEO di Tesla Energy il 30 Aprile del 2015, come "l'anello mancante" tra il mondo delle energie rinnovabili e il loro autoconsumo. Se fino ad oggi infatti l'utilizzo di un impianto fotovoltaico o microeolico in una abitazione differiva significativamente dall'utilizzo autonomo (per via del problema dello stoccaggio

di energia), con il Tesla Power Wall i due concetti non risultano più così distinti, dando la possibilità ad ognuno di noi di decidere da quale fonte attingere l'energia. Il Power Wall Home Battery è un parallelepipedo di 130 x 86 x 18 centimetri e pesante 100 chili; si può installare verticalmente su un muro sia all'esterno che all'interno e contiene fondamentalmente tre delle sei componenti fondamentali dell'impianto a noi necessario: batterie, contatore, sistema di monitoraggio (riferimento figura 18, 19).

Passiamo ora a dare qualche dato dettagliato sull'articolo per verificare che sia effettivamente ciò di cui necessitiamo:

Dati	Versione 1	Versione 2
Dimensione 1	130cm	130cm
Dimensione 2	86cm	86cm
Dimensione 3	18cm	18cm
Peso	100Kg	100Kg
Capacità	7kWh	10kWh
Possibilità di collegamento in serie	Si, fino a 9	Si, fino a 9
Massima richiesta energetica soddisfabile con serie di PowerWall	63kWh	90kWh
Costo	3000\$	3500\$
Garanzia	10 Anni	10 Anni
Temperatura di funzionamento	Da -4 a 110 °F Da -20 a 43 °C	Da -4 a 110 °F Da -20 a 43 °C



figura 18: Tesla Power Wall



figura 19: Modellazione Tesla Power Wall in SolidWorks

4.2.2 – Componenti e dimensionamento

Considerando le priorità del nostro modulo, la valutazione sull'affidabilità e sulla capacità necessaria si è stati portati a scegliere due Power Wall da 7kWh. Disponendo di due unità all'occorrenza separabili infatti si aumenta la ridondanza e si minimizza quindi l'eventualità di uno stop nell'erogazione dell'energia dovuto a un guasto.

Grazie alle due unità ci assicuriamo una capacità di accumulo di 14kWh erogabili

secondo i seguenti parametri per singolo power wall:

Vtaggio	Corrente		Potenza	
	Continua	Picco	Continua	Picco
350-450V DC	5.8A	8.6A	5kW	7kW

Per far capire quali sono le potenzialità che questo componente da al Modulo elenchiamo alcuni esempi tra le utenze che questo può alimentare:

- 4 lavatrici casalinghe;
- 6 frigoriferi di grandi dimensioni;
- 100 Lampadine
- 200 Computer portatili.

Stabiliti dimensioni e potenza del Power Wall passiamo ad analizzare le altre due componenti rimanenti per chiudere l'impianto: inverter e selezionatore (il piano fotovoltaico e microeolico sono già stati trattati nei capitoli precedenti).

Per quanto riguarda l'inverter si è scelto di prendere in considerazione un prodotto dell'azienda Aurora dall'alto rendimento e dalla solida affidabilità. Questo inverter ci permette infatti di ridurre al minimo le dissipazioni nella trasformazione di corrente da continua ad alternata e offre una eccezionale resistenza agli agenti atmosferici essendo concepito per lavorare anche all'esterno. Riportiamo qui di seguito le sue caratteristiche:

Potenza nominale (max)	10,4 kWp (11,4 kWp)
Tensione max. entrata (a 1000 W/m ² ; -10°C)	900 V
Gamma tensione MPP	300-750 V

DATI USCITA	
Rendimento massimo	97,7%
Tensione di rete / frequenza	3 x 400 V / 50 Hz
DATI GENERALI	
Dimensioni (l x b x h)	650 x 650 x 200 mm
Peso	38 kg
Gamma temperatura ambientale	-20+50 °C

Come sul Power Wall la garanzia è di 10 anni.

Il selezionatore considerato per l'impianto è un Lovato electric a 8 poli abbinato a un interruttore che fornisce la possibilità di scollegare completamente le fonti di approvvigionamento rinnovabili.

4.2.3 – Confronto con sistema tradizionale

Una volta completato l'impianto possiamo valutare la differenza il caso in cui avessimo scelto una configurazione tradizionale.

Considerato che il Power Wall integra 3 componenti in un unico "pacchetto" il risparmio sicuramente più importante lo si ha in termini di peso. Tesla ha infatti sviluppato il suo prodotto sfruttando la tecnologia delle batterie ricaricabili agli ioni di litio. Queste batterie, le stesse usate dalla Tesla Motors, usano una combinazione di nickel, manganese e cobalto che può compiere 5000 cicli di carica scarica prima dello scadere della garanzia e altrettanti prima di una manutenzione. Il Tesla Powerwall ha una efficienza del 92.5% quando caricato o scaricato da un sistema a 400-450V a 2kW ad una temperatura di 25°.

Questi valori non si avvicinano minimamente alle performance che avremmo ottenuto

costruendo l'impianto attorno a un pacco batterie al piombo o a delle batterie a gel più moderne, considerando che tre sole piccole batterie deep-cycle da 12V raggiungono il peso di 120Kg (20Kg in più di una singola unità Tesla) e solo il 30% della potenza.

Capitolo 5 – Il M.A.P.E. e i suoi componenti strutturali

5.1 – Il container

Nei capitoli precedenti abbiamo trattato in dettaglio delle componenti attive del Modulo e delle tecnologia che essi sfruttano, considerando come punto fondamentale un alto rendimento globale. Una volta effettuata l'analisi di queste componenti è necessario definire lo "scheletro" della struttura ovvero l'insieme delle componenti strutturali che permettono al modulo di operare nelle condizioni previste.

5.1.1 – Scelta della dimensione del container

Per via della natura del modulo stesso e della sua necessità di operare in ambienti remoti, e a volte con difficili condizioni climatiche, si è resa necessaria la ricerca di un contenitore, un "case", che soddisfacesse alcuni requisiti fondamentali:

- Possibilità di trasporto su gomma senza bisogno di semirimorchi particolari o trasporti eccezionali. Le misure di massima del modulo dovevano essere comprese all'interno delle massime misure trasportabili secondo il codice della strada dei principali paesi europei senza sporgenze.
- Possibilità del trasporto su rotaia facendolo, come prima, rientrare le misure entro i massimi standardizzati per i vagoni ferroviari.
- Possibilità di trasporto via mare con l'opzione di essere caricato in stiva o trasportato sul ponte con conseguente necessità di impermeabilizzazione e resistenza alla corrosione del sale marino.
- Possibilità del trasporto via aerea potendo essere caricato in stiva di aereo cargo o agganciato alla parte inferiore di un elicottero.

Sebbene la costruzione di un contenitore apposito sarebbe stata la soluzione ideale, potendo eliminare ogni componente strutturale non necessaria dalla struttura e salvando quindi peso, questa realizzazione si rivela assolutamente non conveniente economicamente per via del notevole lavoro di carpenteria metallica e della quantità di

prove strutturali a cui si dovrebbe sottoporre l'unità prima di essere impiegata sul campo.

Una volta scartata l'opzione di una base personalizzata il candidato sicuramente più adatto al nostro impiego è il container ISO. Questo Contenitore standardizzato esiste sin dal 1967 e fronte di una larghezza comune di 8 piedi (244 cm) e una altezza comune di 8 piedi e 6 pollici (259 cm), sono diffusi in due lunghezze standard di 20 e di 40 piedi (610 e 1220 cm). Ogni container di norma è numerato e registrato con undici caratteri alfanumerici, nella forma: 4 lettere (delle quali le prime 3 corrispondono alla sigla della compagnia proprietaria) e 6 numeri, seguiti da un numero finale di controllo (denominato "check-digit"), che è ottenuto con un apposito algoritmo di calcolo sulle 10 lettere o cifre precedenti, a questo scopo per ogni lettera corrisponde un valore numerico convenzionale.

Dalla standardizzazione dimensionale e quindi volumetrica dei container è nata la consuetudine di valutare la capacità di carico di una nave portacontainer in TEU (acronimo di Twenty-foot Equivalent Unit) (Unità equivalente a 20 piedi).

Sono anche omogenei gli attacchi, presenti sugli angoli del contenitore, specifici per il fissaggio sui vari mezzi di trasporto. In questo modo, tramite carrelli elevatori, carriponte, Straddle Carrier e gru sono facilmente trasferibili tra una nave (dove possono essere facilmente sovrapposti verticalmente), un vagone o un autocarro. Le caratteristiche di questi attacchi, unite alla robustezza intrinseca del contenitore, ne consentono l'impilazione l'uno sull'altro, migliorando l'utilizzazione dei moli, delle banchine e dei magazzini.

Il container ISO classico presenta le superfici laterali piene e una chiusura posteriore con due battenti facilmente sigillabili per evitare effrazioni.

Per usi particolari e non molto frequenti, sono stati predisposti anche dei container ISO cisterna, frigoriferi, open top (con tetto apribile) e container con pareti laterali apribili. I container di norma ISO possono anche essere utilizzati per il trasporto di liquidi, installando un serbatoio flessibile chiamato Flexitank.

Attualmente l'importanza del container nel campo dei trasporti marittimi è giunta ad un

livello tale che le stime parlano di circa il 90% delle merci cargo trasportate attraverso l'uso di circa 200 milioni di TEU all'anno.

Per questo elaborato scarteremo la versione da 40 piedi e ci concentreremo sulla versione da 20, più piccola, versatile e facilmente trasportabile.

5.1.2 – Modifiche apportate alla struttura classica del container

Stabilito che la misura presa in considerazione nell'elaborato sia 20 piedi, bisogna iniziare a valutare le modifiche che saranno da apportare al container per adattarlo al nostro uso specifico.

La struttura portante del container risiede negli spigoli, profili di acciaio pieni che donano una notevole rigidità strutturale all'insieme. Le superfici laterali, come già specificato, sono a loro volta una lamina di acciaio, ma svolgono solo la funzione di isolare il carico dall'ambiente esterno. Nessun carico importante va fatto pesare sulle pareti esterne per evitare il rischio di deformazioni che comprometterebbero l'impermeabilizzazione interna.

Nel nostro caso dobbiamo valutare le soluzioni per installazione di:

- Telai di sostegno dei pannelli con relativo sistema di regolazione dell'angolo di tilt;
- Supporti per generatore microeolico;

Il primo caso è sicuramente il più complesso dal punto di vista della massimizzazione dello spazio interno. Per installare il maggior numero di pannelli possibile all'esterno e poter riporre gli stessi all'interno, una volta finito il ciclo operativo, si è pensato a una cornice rigida in alluminio che funga da mezzo per la protezione durante il trasporto e come resistente sostegno una volta messo in operazione il tutto. Per ottenere una disposizione ottimale dei pannelli, una volta raggiunto il luogo di utilizzo, andrà creata una apertura sul secondo lato corto del container, in maniera simmetrica rispetto alle porte di chiusura già predisposte. Questa apertura verrà ricavata attraverso il taglio della lamiera originale che verrà sostituita da una lamiera piana, dotando quest'ultima di

cerniere per l'apertura e la chiusura e prevedendo opportune guarnizioni per rendere il tutto impermeabile. L'uscita dei telai per il deployment avverrà quindi da entrambi i lati in modo simmetrico per un totale di dodici pannelli per lato (quattro per telaio su tre telai)

Una volta creata l'apertura supplementare attraverso la quale accedere al piano fotovoltaico bisognerà dotare il container di due guide a T (rif. figura 20 - 21), una sul pavimento e una sul soffitto da entrambi i lati corti, sulle quali scorreranno i telai. Queste guide coincidono con il loro negativo presente sul telaio interno a meno di una certa tolleranza di sicurezza. Lo scorrimento su tali guide è assicurato da dei cilindretti dalla superficie gommata che impediscono il contatto diretto metallo-metallo e favoriscono il lavoro degli operatori.



figura 20: Guida a T montata sul container.

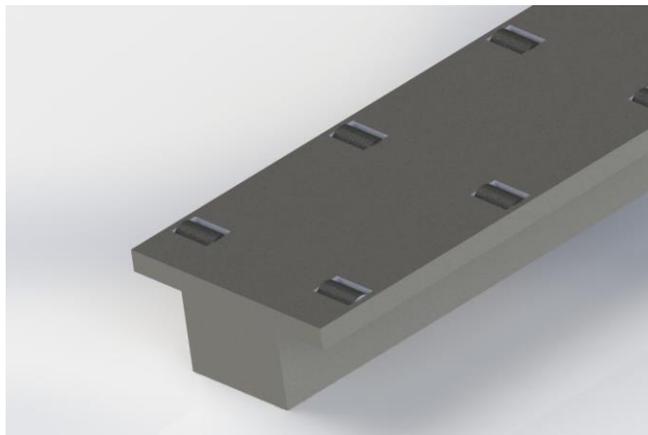


figura 21: particolare delle guide a T, cilindretti gommati

Per il supporto del generatore microeolico si è pensato a un modello il più semplice possibile. Nessuna modifica strutturale sarà necessaria al container per installare il palo di sostegno delle due turbine, visto che si sfrutteranno semplicemente i fori già esistenti alle estremità degli spigoli del container, non dovendo eseguire altre operazioni che potrebbero compromettere la rigidità strutturale e riducendo al minimo la possibilità di infiltrazioni. L'unica modifica minore necessaria è un foro di diametro 15 mm per l'installazione di un passacavo stagno (rif. figura 18) che colleghi l'impianto elettrico interno con quello presente nel supporto della turbina.



figura 22: passacavo stagno

5.2 – Telai scorrevoli per il deployment e supporti dei pannelli

Questi telai sono l'insieme di semplici profili di alluminio uniti tramite saldatura, che svolgono sia il compito di bloccare e proteggere i pannelli durante il trasporto, sia di sorreggere il piano fotovoltaico una volta messo in operazione al di fuori del Modulo. Il materiale scelto per la realizzazione è un alluminio della serie 6000 (AA 6061) usato anche in ambiente marino per le sue caratteristiche di saldabilità e resistenza alla corrosione dell'ambiente.

Il telaio è composto principalmente da (rif. figure 23, 24, 25) :

- due guide esterne che si vincolano rispettivamente al container o al telaio

successivo (in ordine di deployment)

- una cornice che circonda tutto il telaio, racchiude il supporto dei pannelli e li protegge lateralmente.
- due guide interne che analogamente a quelle esterne si vincolano al telaio precedente in ordine di deployment.

Le guide interne sono molto simili ai supporti a T visti montati sul container e sono dotate di cilindretti dalla superficie gommata per agevolare lo scorrimento. In generale, l'estrazione dei telai segue l'esempio delle guide di un cassettone.

L'ultimo telaio, il più esterno una volta aperto il modulo, è dotato di un sistema di appoggio di altezza regolabile, per distribuire il peso in maniera più uniforme e non gravare eccessivamente sui vincoli delle guide (rif. figura 26).

Per tutti i telai e supporti sono state effettuate le adeguate prove di resistenza alla sopportazione del peso e prevedendo un fattore di sicurezza di 2 si è considerato il fattore dovuto agli agenti atmosferici (vento, neve, pioggia, grandine)

Ogni telaio è dotato internamente di una cornice oscillante che permette la regolazione del pannello una volta giunto il luogo di operazione. I pannelli verranno quindi bloccati all'angolazione più opportuna secondo la tabella delle latitudini di operazione del paragrafo 2.4.3 per raggiungere la massima efficienza. Ogni cornice oscillante è dotata sul retro di un supporto telescopico regolabile che le permette di essere vincolata al telaio stesso. La cornice durante il trasporto può essere bloccata con due perni per mantenere in posizione interna al telaio e proteggerlo da eventuali urti.

Seguono una serie di immagini del lavoro di modellazione svolto al computer per illustrare i concetti appena esposti:



figura 23: telaio centrale singolo

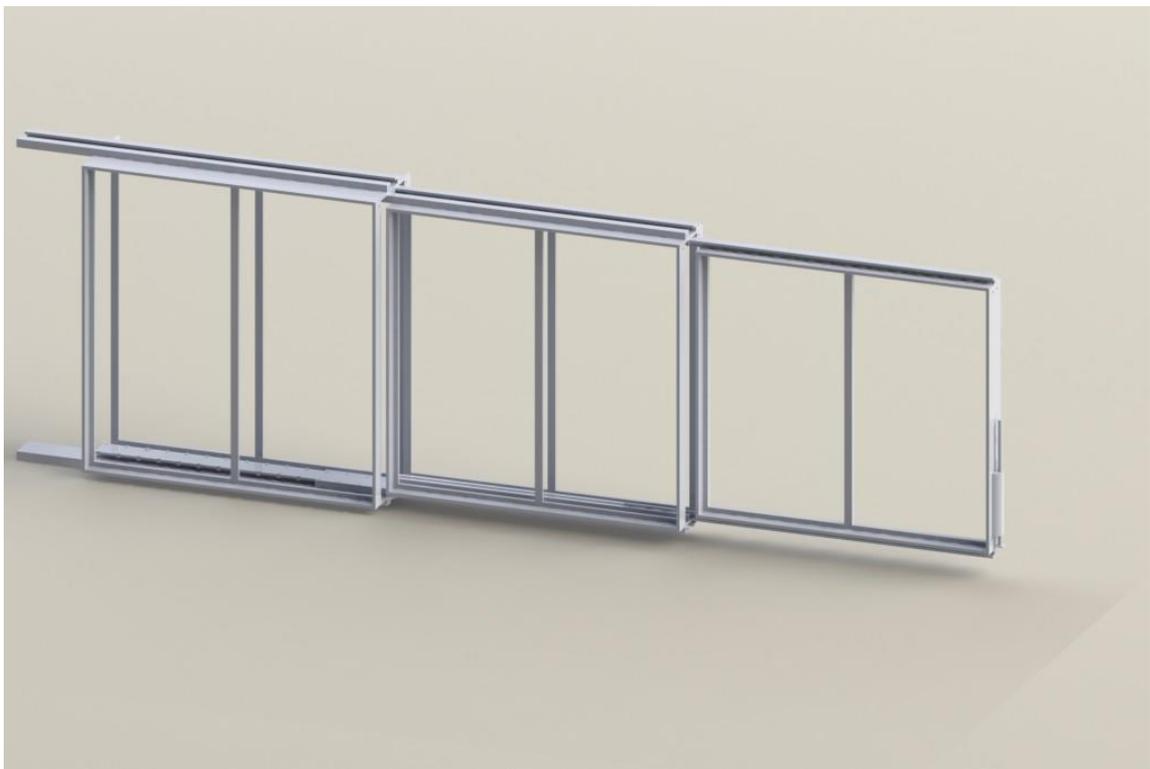


figura 24: telai aperti



figura 25: telai chiusi



Figura 26: piede d'appoggio



Figura 27: cornice oscillante

5.3 – Supporto per generatore eolico

Il generatore, per operare in condizioni ideali, dovrebbe essere mantenuto nella posizione più alta possibile. Tenuto conto di questo fatto si è pensato di realizzare i sostegni sempre in alluminio AA6061 con un profilo scatolato di 120x120cm e uno spessore di 5 mm (rif. figura 29). L'altezza massima che possiamo ottenere, rimanendo il tutto trasportabile all'interno del container è quella del lato lungo, e quindi si otterrà un supporto di altezza di 5500mm (5.5m) che dovrebbe essere sufficiente ad un funzionamento regolare in presenza di venti o brezze termiche.

Il collegamento tra il supporto e il generatore eolico avviene attraverso una flangia già predisposta sull'asta e una serie di collegamenti con bullone (rif. figura 31). Questo compromesso ci permette di ottenere un solido collegamento ma dal veloce smontaggio in caso di riposizionamento. Le viti sono standard UNI-ISO metriche M12 in acciaio inox per via della resistenza agli agenti atmosferici.

Il collegamento tra il supporto e il container avviene per attrito grazie a due fori presenti sul supporto stesso e due piastre opportunamente tagliate che si inseriscono da un lato nello spigolo del container e dall'altro premono sul supporto per mantenere il contatto (rif. figura 28,30). Le piastre sono presenti sia nello spigolo superiore che in quello inferiore del container per fornire 2 punti di ancoraggio. I fili elettrici di collegamento tra il generatore eolico e il passacavo stagno sono fatti passare all'interno del supporto per ulteriore protezione.



figura 28: particolare dello spigolo forato dove collegare il supporto



figura 29: supporto per generatore eolico

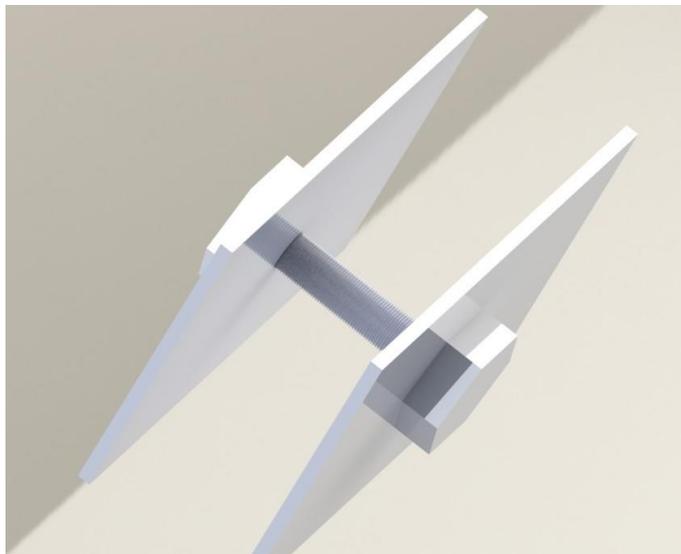


figura 30: piastrina di collegamento col container

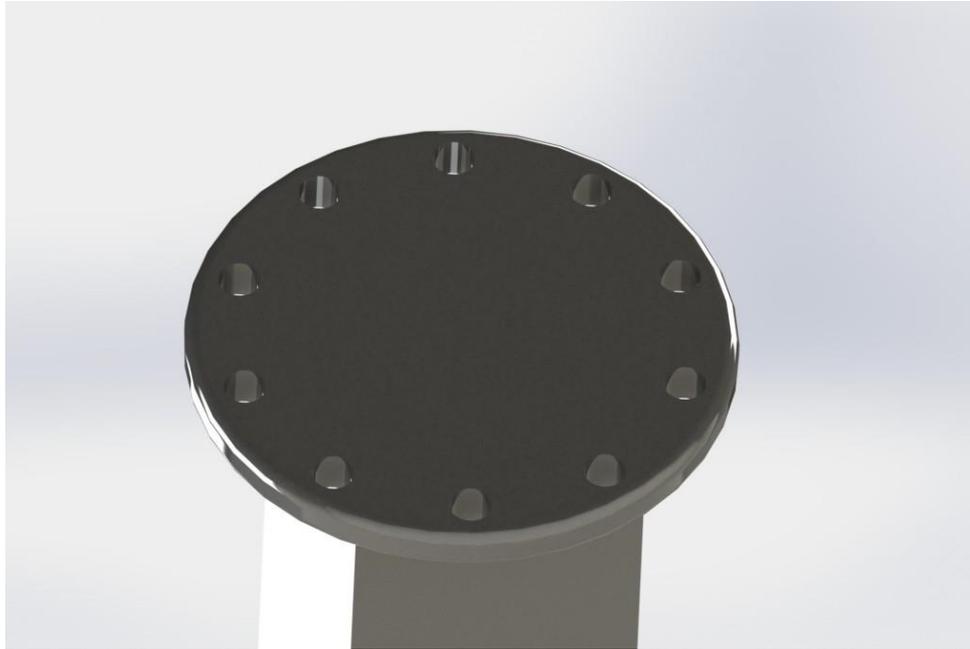


figura 31:flangia di collegamento con il generatore eolico

5.4 – Utilizzo dello spazio interno

Lo spazio interno del Container è essenzialmente quasi interamente destinato al trasporto dei due generatori eolici una volta rimosse le pale e al contenimento dei pannelli. Con una immagine illustriamo quale potrebbe essere la disposizione di batterie e inverter. Per ovvie ragioni non è stato mostrato il cable management che non viene preso in considerazione in questa modellazione 3d e lasciato ai tecnici elettronici così come il migliore posizionamento degli interruttori da cui attingere la corrente a 220V una volta uscita dall'inverter.

Una volta raggiunto il luogo di operazione l'ambiente interno risulta quasi interamente sgombro consentendo un facile accesso e ispezione di componenti e cavi. Per quanto riguarda il controllo delle temperature interne viene prevista la verniciatura del modulo con una vernice chiara che rifletta la maggior parte della radiazione solare diretta contro la superficie metallica consentendo di mantenere le temperature interne dai 18 ai 20 gradi più basse rispetto a una verniciatura tradizionale quando si opera in climi caldi. Analogamente si può sfruttare una vernice scura per incrementare parzialmente la temperatura interna quando si decidesse di operare in climi freddi o comunque in cui le

temperature esterne raggiungono i limiti inferiori di efficienza delle batterie.

Per il raffreddamento delle celle di Litio, che tendono a scaldarsi in ricarica, la Tesla adotta una tecnologia proprietaria con raffreddamento a liquido che inviando costantemente i dati al sistema di monitoraggio permette di mantenere sotto controllo lo stoccaggio dell'energia.



Figura 32: Utilizzo dello spazio interno

Breve riepilogo Tecnico

Container

Massa	2350 kg
Dimensioni	2.438x2.591x6.058 m
Volume interno di carico	33m ³
Massimo carico	28300 kg
Prezzo	2980€

Telai

Massa media telaio	240Kg
Numero telai	6
Materiale	AA 6061
Dimensioni cornice	1910x1982

Supporto generatore eolico

Massa	180 kg
Dimensioni	120x120x5700

Batterie

Dati	Versione 1
Dimensioni	130x86x18 cm
Massa	100 kg
Capacità	7kWh
Possibilità di collegamento in serie	Si, fino a 9
Massima richiesta energetica soddisfabile con serie di PowerWall	63kWh
Costo	3000\$
Garanzia	10 Anni
Temperatura di funzionamento	Da -4 a 110 °F Da -20 a 43 °C

Pannelli fotovoltaici

Produttore	Yingli Solar
Modello	Yingli 260 YL260-30b 260W
Dimensioni	1650 x 990 x 50
Range	da -40 a +85 C°
Efficienza	15.9 (ideali)
Prezzo:	320€

Generatore eolico

Produttore	Sonkyo Energy
Modello	Windspot 3,5 kW 250rpm
Diametro rotore	4.05m
Velocità nominale	1.12 m
Massa	185 kg
Produzione annuale stimata	5550-11300 kWh a 5-7m/s
Sistema passivo	A timone di coda
Prezzo	6200€

Prezzo medio stimato 17.900€

Peso stimato: 4500 Kg



Figura 33: modulo chiuso su luogo di operazione



Figura 34: modulo aperto e operativo

Conclusione

In questo elaborato è stato proposto, studiato e ottimizzato un Modulo Autonomo per la Produzione di Energia elettrica (M.A.P.E.), sviluppato per l'utilizzo in zone remote o ovunque vi sia richiesta di energia elettrica prodotta attraverso le fonti rinnovabili. I punti chiave di questa realizzazione erano sicuramente:

- Impatto zero
- Trasportabilità
- Autonomia

Si è riuscito a realizzare un prodotto che può essere portato ovunque, da ecosistemi a rischio a zone dove sono avvenute catastrofi naturali, e che riesca ad operare al massimo delle sue possibilità. Anche solo uno di questi moduli riuscirebbe ad alimentare una casa moderna in muratura come noi la conosciamo, l'equivalente di 3 container abitativi o un campo tendato di 10 o più tende, fornendo una risorsa di approvvigionamento affidabile anche là dove non sono presenti infrastrutture, tralicci della luce o non vi è la possibilità di un costante approvvigionamento di carburanti fossili. Gli utilizzi di questa realizzazione sono molteplici, come anche l'interesse delle associazioni, tra le quali potrebbero esservi Protezione Civile, ONG fino ad arrivare all'ambito militare, per una sua applicazione.

Bibliografia

- G. Negri di Montenegro, M. Bianchi, A. Peretto - Sistemi Energetici e loro componenti; Pitagora.
- Andrea Bartolazzi - Le energie rinnovabili; Hoepli.
- Putti P.M. - Le tecnologie delle fonti rinnovabili di energia; Enea.
- Fabio Andreoli - Fotovoltaico di nuova generazione; Flaccovio Dario.
- Fabio Andreoli - Impianti Mini e Micro eolici; Flaccovio Dario.
- Gaetano Conte - Manuale degli impianti elettrici; Hoepli.
- Daniele Veschi - L'alluminio e le leghe leggere; Hoepli.
- Michael Boxwell - Solar Electricity handbook; Internet Linked.
- John Keane - Pico solar electric system; Internet Linked.
- Paul Gipe - Wind Energy for the rest of us; Wind Works.

Sitografia

- <http://www.windspot.es/>
- <http://www.yinglisolar.com/en/>
- http://www.phoenixinternational.it/sites/default/files/pdf/Catalogo_Phoenix.pdf
- <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA6061t6>
- http://www.ilportaledelsole.it/?id_pagina=0013&avanti=true&cat=0025
- https://www.teslamotors.com/it_IT/powerwall?redirect=no
- <http://www.shop.ilportaledelsole.com/Generatori-eolici>
- http://www.sogee.it/doc/manuale_installazioni_fotovoltaiche.pdf
- <http://www.greenrhinoenergy.com/solar/radiation/empiricalevidence.php>
- <https://earth.nullschool.net/>