



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Gestionale L-9

**PROGETTAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO
AD ALTA EFFICIENZA CON TECNOLOGIE INNOVATIVE**

**DESIGN OF A HIGH EFFICIENCY PHOTOVOLTAIC
SYSTEM WITH INNOVATIVE TECHNOLOGIES**

Relatore:

Ing. Sebastiano Tomassetti

Tesi di Laurea di:

Michela Di Sabatino

A.A. 2023 / 2024

Indice

| | |
|--|----|
| Introduzione..... | 3 |
| 1 Fonti rinnovabili: accordi internazionali sul clima | |
| 1.1 <i>Definizione e classificazione delle energie rinnovabili.....</i> | 4 |
| 1.2 <i>Contributo fonti rinnovabili in Italia e nel mondo.....</i> | 5 |
| 1.3 <i>UNFCCC.....</i> | 6 |
| 1.4 <i>Accordi internazionali sul clima.....</i> | 7 |
| 2 Energia solare: l'effetto fotovoltaico | |
| 2.1 <i>Definizione e utilizzo dell'energia solare.....</i> | 15 |
| 2.2 <i>Incidenza solare sulla Terra.....</i> | 16 |
| 2.3 <i>Come ricavare l'energia solare – l'impianto fotovoltaico.....</i> | 18 |
| 2.4 <i>Cella fotovoltaica</i> | |
| 2.4.1 <i>Funzionamento.....</i> | 20 |
| 2.4.2 <i>Composizione.....</i> | 21 |
| 2.4.3 <i>Tipologie di celle e rendimento.....</i> | 23 |
| 2.4.4 <i>Rivestimento antiriflesso.....</i> | 25 |
| 2.5 <i>Inseguitori solari.....</i> | 26 |
| 2.5.1 <i>Inseguitori solari monoassiali a un grado di libertà.....</i> | 27 |
| 2.5.2 <i>Inseguitori solari biassiali a due gradi di libertà.....</i> | 30 |
| 2.6 <i>Inseguitori per sistemi a concentrazione.....</i> | 32 |
| 2.7 <i>Inseguitori attivi e inseguitori passivi.....</i> | 32 |
| 2.7.1 <i>Classificazione inseguitori attivi.....</i> | 33 |
| 2.8 <i>Scelta del sistema d'inseguimento.....</i> | 33 |
| 2.9 <i>Legislazione riguardante i pannelli FV.....</i> | 34 |
| 2.10 <i>Layout impianto.....</i> | 35 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3 | Impianto FV in Civitella del Tronto: caso studio | |
| 3.1 | <i>Il mercato dell'energia in Abruzzo</i> | 36 |
| 3.2 | <i>Fase di prefattibilità</i> | |
| 3.2.1 | <i>Analisi del terreno</i> | 38 |
| 3.2.2 | <i>Nascita della società e documentazione</i> | 40 |
| 3.3 | <i>Acquisto del terreno</i> | 41 |
| 3.3.1 | <i>L'agrivoltaico</i> | 42 |
| 3.4 | <i>Autorizzazione unica</i> | 43 |
| 4 | Risultati finali del caso in esame | |
| 4.1 | <i>Variazione sostanziale e non sostanziale</i> | 44 |
| 4.2 | <i>Descrizione dell'impianto FV</i> | 44 |
| 4.2.1 | <i>Struttura di fissaggio</i> | 45 |
| 4.2.2 | <i>Rete elettrica e connessione all'impianto</i> | 45 |
| 4.2.3 | <i>Ciclo produttivo</i> | 48 |
| 4.2.4 | <i>Pannelli iTracker</i> | 49 |
| 4.3 | <i>Studio impatto ambientale</i> | 52 |
| 4.4 | <i>Analisi economico- finanziaria</i> | 54 |
| 5 | Conclusione | 57 |
| 6 | Bibliografia | 58 |

Introduzione

La sostenibilità e le risorse rinnovabili sono da anni al centro delle discussioni in buona parte del Mondo, per riuscire nella sfida quotidiana contro la riduzione di emissioni di CO₂. Sono stati emessi programma d'azione globale con i quali gli Stati si impegnano per la salvaguardia del pianeta. Sono stati fissati obiettivi per lo sviluppo sostenibile da raggiungere entro il 2030, senza compromettere i bisogni delle generazioni future.

Si stanno sperimentando gli impatti significativi del cambiamento climatico, quali ad esempio il mutamento delle condizioni meteorologiche, l'innalzamento del livello del mare e degli oceani dovuto allo scioglimento dei ghiacciai e altri fenomeni meteorologici ancora più estremi.

L'obiettivo chiave di lungo termine è la produzione di energia a bassa intensità di carbonio, migliorare le tecnologie per fornire servizi energetici moderni e sostenibili.

Tale elaborato prevede un'iniziale descrizione dettagliata dell'energia solare, mettendo in risalto le varie azioni intraprese negli anni per valorizzare le risorse rinnovabili, capendo il contributo dei vari Paesi e approfondendo l'accordo di Parigi.

Nella seconda parte viene descritta la progettazione di un impianto fotovoltaico di circa 9 MW di potenza situato in Civitella del Tronto (TE), illustrando le varie tecnologie utilizzate e un'analisi sul rendimento. Inizialmente il progetto nasce con una potenza di 6,5 MW e successivamente è stata apportata una variazione non sostanziale permettendo di raggiungere l'attuale potenza con una riduzione del numero di pannelli pur restando nello stesso perimetro, rendendo tale impianto più efficiente. [1]

1 Fonti rinnovabili: accordi internazionali sul clima

1.1 Definizione e classificazione delle energie rinnovabili

Dette anche fonti non convenzionali, le fonti rinnovabili rappresentano l'alternativa più ecosostenibile a tutte le fonti di energia tradizionali, o convenzionali, di cui si continua a fare ampio uso e che si basano per la maggior parte dei casi sull'utilizzo di combustibili fossili o combustibili nucleari, sicuramente in grado di generare energia elettrica a costi inferiori. Non inquinano e non si esauriscono, dal momento che hanno la capacità di rigenerarsi a fine ciclo; inoltre, il loro impiego è uno dei principali fattori che potrebbero permettere di mantenere l'aumento della temperatura media globale al di sotto di 1,5 °C.

Le principali fonti sono:

- **Energia solare:** che corrisponde all'energia rinnovabile ottenuta dal sole, utilizzabile per riscaldare o raffreddare edifici. Tale risorsa può essere anche direttamente convertita in energia elettrica attraverso pannelli fotovoltaici.
- **Energia eolica:** che è ricavabile dal vento grazie agli aereogeneratori che convertono l'energia meccanica ottenuta dalla massa di aria in moto in energia elettrica.
- **Energia geotermica:** che corrisponde alla porzione di calore della terra che si manifesta con fenomeni naturali come sorgenti termali, geyser e soffioni, racchiuso al di sotto della superficie terrestre che, attraverso apposite apparecchiature, può essere estratto e sfruttato in diverse applicazioni.
- **Energia da biomasse:** che corrisponde alla frazione biodegradabile prodotta da qualsiasi componente di origine biologica, dai microrganismi fino alle piante o agli animali con esclusione delle plastiche e delle fonti fossili.
- **Energia idroelettrica:** che è l'energia ricavabile dalle portate d'acqua movimentate dalla gravità, convertita in energia elettrica tramite l'installazione di dighe e appositi sistemi di trasformazione. [2]

1.2 Contributo fonti rinnovabili in Italia e nel mondo

L'Italia nel 2018 è stata tra le principali utilizzatrici di energia rinnovabile, posizionandosi al 3° posto in Europa per contributo ai consumi di energia da FER (Fonti Energetiche Rinnovabili) e al 4° posto considerando il contributo ai consumi di energia complessivi. A livello di singole fonti, sul totale delle energie rinnovabili:

- il 52% proviene da risorsa idroelettrica
- il 23% da solare fotovoltaico
- il 18% da fonte eolica
- il 6% da altre fonti

Un dato più aggiornato riportato da un rapporto di Terna sulla produzione energetica del 2022 mostra un consistente calo dell'energia prodotta da fonti rinnovabili. Siamo a 98,4 TWh su un totale di 316,8 TWh, una discesa del 13% rispetto al 2021. In particolare, è crollata la produzione idroelettrica ed è salita quella da carbone e fonti non rinnovabili.

La causa principale di questo crollo è dovuta al lungo periodo di siccità nei mesi estivi che ha inciso fortemente sulla produzione idroelettrica. È stato registrato anche un calo dell'eolico (-1,8%) e del geotermico (-1,6%), mentre l'energia prodotta mediante pannelli fotovoltaici, ha avuto un aumento incoraggiante (+11,8%), così come la produzione di energia termoelettrica (+6,1%).

Di contro, è aumentata la produzione di energia proveniente da fonti fossili e, in particolar modo, dal carbone. Da segnalare che l'Italia ha prodotto autonomamente l'86,4% dell'intera domanda, affidandosi per una quota del 13,6% all'energia scambiata con l'estero. [3]

Mentre nel mondo i dati sono confortanti nell'anno 2022, in quanto è stato raggiunto il record per le aggiunte di capacità elettrica rinnovabile. Nel dettaglio, l'approvvigionamento di energia rinnovabile da energia solare, eolica, idroelettrica, geotermica e oceanica è aumentata di quasi l'8%; il che significa che la quota di queste tecnologie nel totale dell'approvvigionamento energetico globale è aumentata di quasi 0,4%, raggiungendo il 5,5%.

Il REPowerEU nell'Unione europea, l'Inflation Reduction Act (IRA) negli Stati Uniti e il quattordicesimo piano quinquennale della Cina per le energie rinnovabili, forniranno ulteriore sostegno per la diffusione delle energie rinnovabili negli anni a seguire.

Le energie rinnovabili non bioenergetiche devono aumentare la loro quota di approvvigionamento totale da quasi il 5% oggi a circa il 17% entro il 2030. Per raggiungere questo obiettivo, il consumo annuo di energia rinnovabile deve aumentare a un tasso medio di circa il 13% durante il 2023-2030,

per allinearsi con lo scenario NZE, vale a dire circa il doppio rispetto alla media negli ultimi 5 anni. Nonostante le aggiunte record la crescita dell'offerta è ancora al di sotto del margine da raggiungere. Sarà necessaria una diffusione molto più rapida di tutte le tecnologie rinnovabili in tutte le regioni del mondo per mettersi sulla buona strada con lo scenario NZE.

Tra i Paesi che stanno compiendo notevoli progetti nel maggiore sfruttamento delle fonti di energia rinnovabili emergono:

- **La Cina**, che continua a guidare in termini di aggiunte di capacità di potenza elettrica rinnovabile, con 160 GW aggiunti nel 2022, quasi la metà di tutta l'implementazione globale. Il quattordicesimo piano quinquennale per le energie rinnovabili fornisce obiettivi ambiziosi per l'uso di energia rinnovabile, che dovrebbero stimolare gli investimenti nei prossimi anni.
- **L'Unione europea**, che sta accelerando la diffusione del solare fotovoltaico e dell'eolico in risposta alla crisi energetica, con un aumento di quasi il 45% rispetto al 2021. Le nuove politiche e gli obiettivi proposti nel Piano REPowerEU e nel Piano Industriale del Green Deal dovrebbero essere importanti motori degli investimenti nelle energie rinnovabili nei prossimi anni.
- **Gli Stati Uniti**, con l'annuncio di importanti nuovi finanziamenti nell'ambito dell'IRA, che dovrebbero far progredire la diffusione delle energie rinnovabili nel medio termine e aumentare gli investimenti sia nelle centrali elettriche che nella produzione di attrezzature.
- **L'India**, che resta impegnata nel suo ambizioso obiettivo di raggiungere 500 GW di capacità di energia non fossile nel 2030. Inoltre, nell'aprile 2023 ha annunciato un piano per mettere all'asta 50 GW di nuova capacità ogni anno per raggiungere questo obiettivo. [4]

1.3 UNFCCC

L'UNFCCC acronimo di (United Nations Framework Convention on Climate Change) è un trattato ambientale internazionale aperto alle firme nella conferenza delle Nazioni unite sull'ambiente e sullo sviluppo del 1992 a Rio de Janeiro. È entrato in vigore il 21 marzo 1994 e 154 sono le nazioni che hanno sottoscritto, ed entrato in vigore ufficialmente nel Marzo del 1994; successivamente è stato ratificato da 195 Paesi. La UNFCCC, intrinsecamente legata alle altre due convenzioni sulla desertificazione e la diversità biologica (Nairobi, Kenya, 1992) e sulle zone umide (Ramsar, Iran, 1971), rappresenta uno snodo fondamentale nelle negoziazioni internazionali finalizzate a combattere

i cambiamenti climatici. Essa ha avuto il merito di contribuire al riconoscimento del problema del cambiamento climatico e delle influenze negative delle attività antropogeniche sul clima. Le successive Conferenze delle Parti (COP), in particolare la terza, tenutasi a Kyoto nel 1997, hanno poi definito obiettivi espliciti di riduzione delle emissioni di gas serra, imponendo, coerentemente con i principi della Convenzione, un maggior onere di controllo delle emissioni a carico dei Paesi sviluppati. L'obiettivo dichiarato è “raggiungere la stabilizzazione delle concentrazioni dei gas serra in atmosfera a un livello sufficientemente contenuto per prevenire interferenze antropiche dannose per il sistema climatico”. Le nazioni firmatarie riconoscono uguali le responsabilità ma differenziate; di conseguenza gli Stati sono suddivisi in tre gruppi: il primo riguarda i Paesi industrializzati; il secondo i Paesi industrializzati che pagano per i costi dei Paesi in via di sviluppo, e il terzo comprende i Paesi in via di sviluppo. I Paesi del terzo gruppo non hanno subito restrizioni immediate per non ostacolare il livello di sviluppo, dato che l'inquinamento è legato alla crescita industriale, e anche per ottenere prima fondi dai Paesi sviluppati. La 17^a Conferenza delle parti, tenutasi a Durban (Sudafrica) nel novembre-dicembre 2011 e finalizzata a definire gli obiettivi del dopo-Kyoto, si è chiusa con l'intesa tra i partecipanti di adottare un accordo universale entro il 2015 e di fissare obiettivi più ambiziosi in merito alla riduzione delle emissioni di gas serra. [5]

1.4 Accordi internazionali sul clima

Nel settembre del 2015, 193 Paesi membri dell'ONU hanno adottato all'unanimità l'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile. [6]

Si tratta di un programma d'azione globale, con il quale gli Stati si impegnano per la salvaguardia del pianeta. Sono stati fissati diciassette obiettivi per lo sviluppo sostenibile, articolati a loro volta in 169 traguardi da raggiungere entro il 2030, senza compromettere i bisogni delle generazioni future.

Tra gli obiettivi da raggiungere abbiamo: sconfiggere la povertà, sconfiggere la fame, l'istruzione di qualità, parità di genere, città e comunità sostenibili, consumo e produzione responsabile.

In particolare, l'obiettivo 7 tratta come assicurare a tutti l'accesso a sistemi di energia economici, affidabili, sostenibili e moderni, ed è a carico dell'iniziativa Energia Rinnovabile per Tutti (Sustainable Energy for All) garantire l'accesso universale a questi sistemi e accrescere l'uso di risorse rinnovabili. L'obiettivo 13, invece, esprime la lotta contro il cambiamento climatico che interessa i Paesi di tutti i continenti. Le persone stanno sperimentando gli impatti significativi del cambiamento del clima, quali ad esempio il mutamento delle condizioni meteorologiche, l'innalzamento del livello del mare e degli oceani dovuto allo scioglimento dei ghiacciai e altri fenomeni meteorologici ancora più estremi. Le emissioni sono aumentate in modo esponenziale dal

2000 al 2010 e si prevede che la temperatura media della superficie terrestre aumenterà di 3°C in questo secolo.

È stato firmato anche l'Accordo di Parigi sul Clima; l'obiettivo chiave di lungo termine è la produzione di energia a bassa intensità di carbonio, migliorare le tecnologie per fornire servizi energetici moderni e sostenibili, specialmente nei Paesi meno sviluppati e negli Stati in via di sviluppo senza sbocco sul mare, conformemente ai loro rispettivi programmi di sostenibilità.

Il cambiamento climatico è argomento d'interesse comune ed impone ai Paesi di tutto il mondo di lavorare in collaborazione. I leader mondiali hanno concordato nuovi obiettivi ambiziosi nella lotta contro il cambiamento climatico; L'unione Europea e gli Stati membri si sono da tempo adoperati per sottoscrivere diversi accordi in merito alla sostenibilità ambientale e alla riduzione dell'emissione di anidride carbonica negli anni a venire. Spicca, tra i vari, l'accordo di Parigi, entrato ufficialmente in vigore il 4 novembre 2016, con l'adempimento da parte di 196 Paesi che rappresentano almeno il 55% delle emissioni globali di gas a effetto serra.

L'accordo di Parigi è un trattato internazionale giuridicamente vincolante sul cambiamento climatico. Presenta un piano d'azione per limitare il riscaldamento globale:

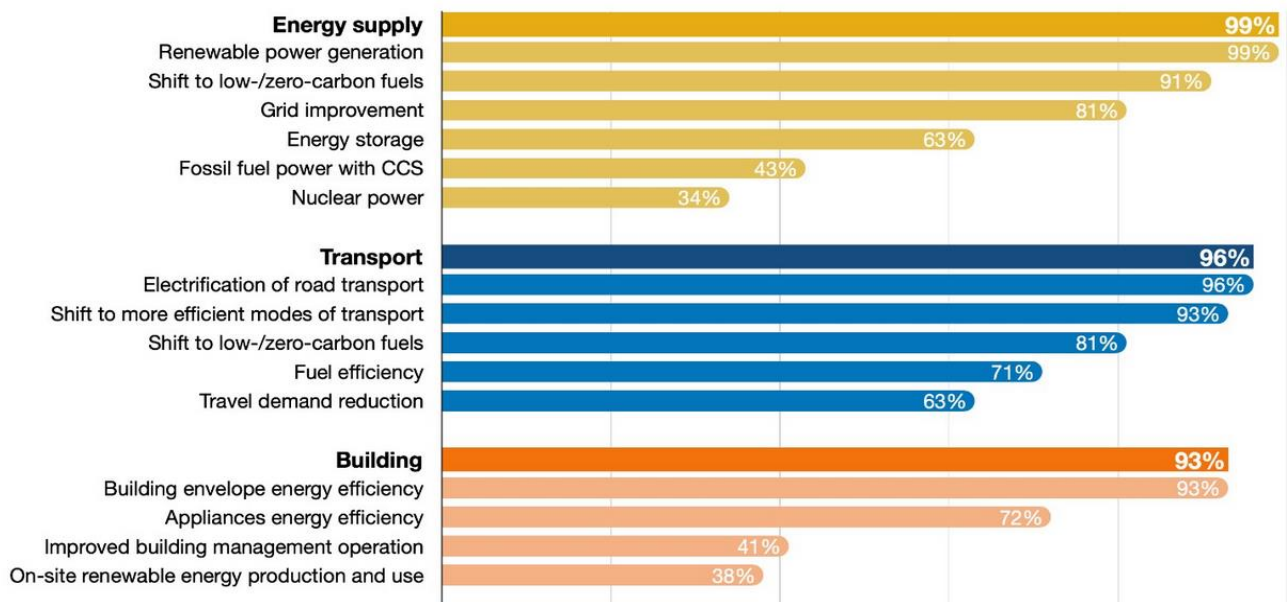
- Mantenere l'aumento della temperatura media globale ben al di sotto di 2°C in più rispetto ai livelli preindustriali e di proseguire gli sforzi per limitarlo a 1,5°C.
- Per ridurre le emissioni ogni Paese durante la conferenza di Parigi ha presentato piani d'azione nazionali globali in materia di clima, chiamati contributi determinati a livello nazionale – NDC (*Nationally Determined Contributions*)
- Ogni cinque anni i governi hanno convenuto di comunicare i rispettivi piani d'azione per essere sempre aggiornati sull'andamento generale. E ciascuno dei quali fissa obiettivi sempre più ambiziosi a ogni riunione.
- Tali risultati raggiunti nell'attuazione dei rispettivi obiettivi al fine di garantire trasparenza e controllo vengono sempre resi pubblici.
- L'impegno nella solidarietà verso i Paesi più vulnerabili per aiutarli sia a ridurre le emissioni che a diventare più resilienti per contrastare gli effetti dei cambiamenti climatici.

Come già citato nel primo punto, il non superamento della soglia di 1,5 gradi di temperatura media globale è molto importante, in quanto il Gruppo intergovernativo di esperti delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici indica tale valore come soglia di sicurezza per non incorrere in rischi di scatenare eventi più gravi, quali siccità più frequenti, ondate di calore e precipitazioni abbondanti.

Per fare ciò è necessaria un'azione, la COP27 chiede alle parti di rivedere e rafforzare gli obiettivi per il 2030 nei loro NDC per allinearsi all'obiettivo della temperatura, tenendo sempre presente le diverse circostanze nazionali. Inoltre, anche se non obbligatorio, è opportuno presentare strategie di sviluppo a basse emissioni di gas a effetto serra a lungo termine (LT-LEDS). [7]

COP è l'acronimo di **Conference of Parties**, la riunione annuale dei Paesi che hanno ratificato la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici.

Gli LT-LEDS permettono di inquadrare meglio gli sforzi verso l'obiettivo a lungo termine e tutti i Paesi aderenti hanno descritto misure di mitigazione per raggiungere il loro obiettivo. Quasi tutti i LT-LEDS hanno comunicato opzioni di mitigazione nei settori dell'approvvigionamento energetico, dei trasporti, degli edifici, dell'industria, dell'AFOLU e dei rifiuti.



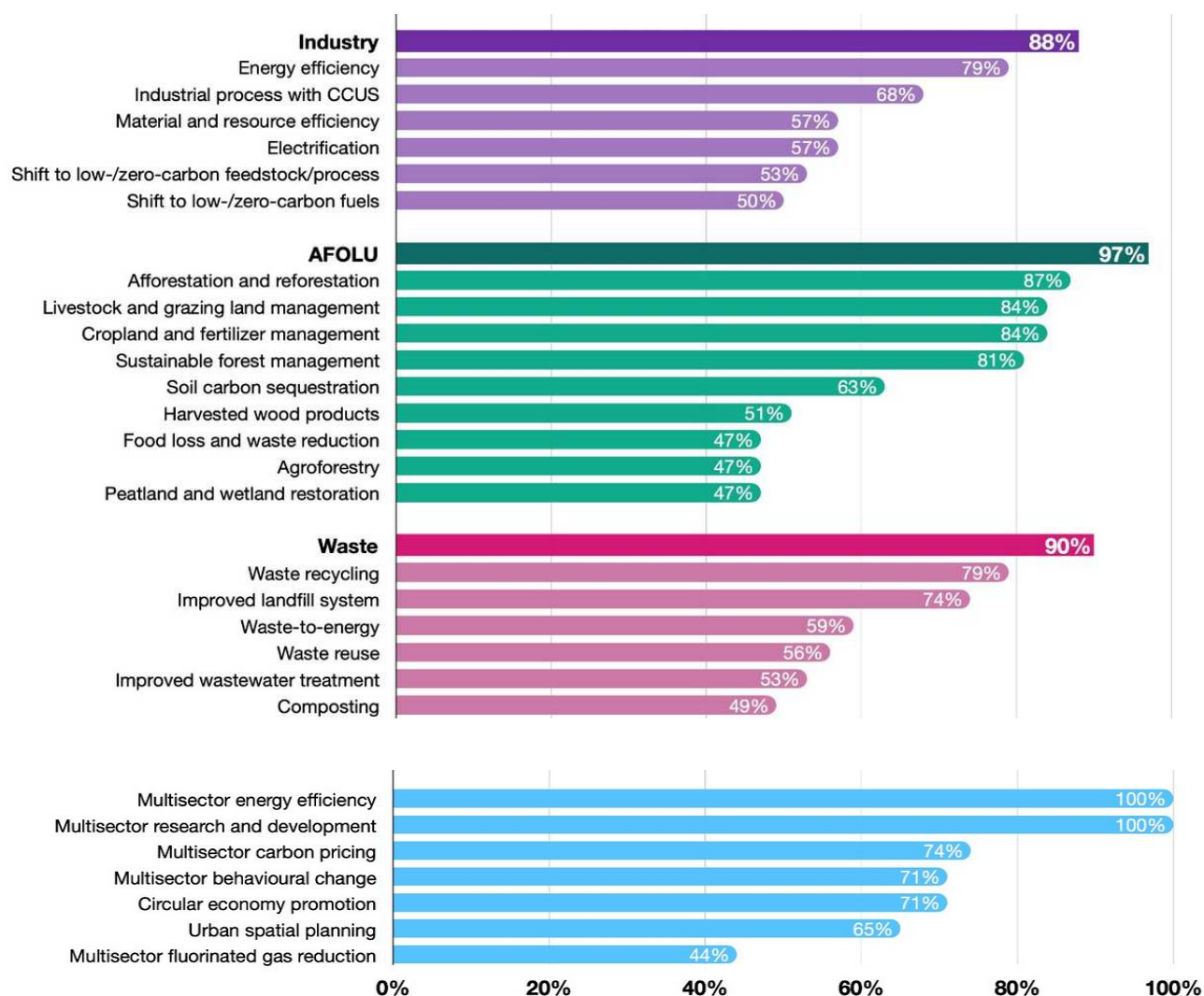


Figura 1: Opzioni di mitigazione frequentemente comunicate nelle strategie di sviluppo a basso emissioni a lungo termine [8]

In questa tabella Figura 1 si evincono i settori con opzioni di mitigazione fino al 2030, con la media del quasi 94% tra tutti i settori interessati. La descrizione di tali azioni per oltre il 2030 tende ad essere più astratta e si basano spesso su traiettorie modellate dalla sperimentazione di nuove tecnologie che sono ancora in fase di ricerca, sviluppo e dimostrazione. Alcuni LT-LED hanno evidenziato che le azioni intraprese durante l'attuale periodo di attuazione determineranno un numero considerevole di attività promosse al rinnovabile a metà del secolo.

Di seguito viene analizzata l'implementazione di alcuni punti della Figura 1 che ci permette di avere dati in percentuale sullo sviluppo e l'andamento generale degli obiettivi.

- **Energy supply**

Il 99% dei LT-LEDS ha indicato il piano per aumentare l'energia rinnovabile nei sistemi elettrici. Il 98% ha proposto la generazione di energia rinnovabile; il 91% il passaggio a combustibili a basso contenuto di carbonio; l'81% il miglioramento delle reti di trasporto pubblico; il 63% l'espansione dei punti di ricarica dei veicoli elettrici; il 43% ha fornito informazioni sullo sviluppo urbano con l'aumento delle piste ciclabili e delle zone pedonali e il 34% ha menzionato l'aumento dell'accesso all'elettricità off-grid generando energia rinnovabile e costruendo centrali elettriche su larga scala e l'uso dell'energia nucleare.

A causa dell'incertezza sullo sviluppo tecnologico, sui prezzi dell'energia e dei modelli commerciali internazionali a lungo termine molti LT-LEDS includono per ogni obiettivo anche un periodo di tempo per rivalutare tali obiettivi nel breve periodo.

La generazione di energia pulita con anni target che vanno dal 2027 al 2035, 2040 e 2050 arrivandoci in vari modi, tra cui energia rinnovabile, elettricità priva di carbonio e sistemi di alimentazione completamente decarbonizzati. Pensieri più utopici portano a considerare un target di generazione di energia pulita al 100%. Vendite a basse o zero emissioni come veicoli elettrici o veicoli di nuova energia e energia pulita. Si stima una quota di vendita del 100% negli anni 2030-2035, 2040 e 2050. L'eliminazione graduale delle vendite di veicoli a combustibili fossili entro il 2035-2050 è considerato come un'opzione di mitigazione che è rilevante per rispettare il vincolo dell'aumento non superiore dell'1.5°C come temperatura media globale; così anche come la richiesta di nuovi edifici di nuova costruzione di energia quasi zero.

- **AFOLU**

Vi sono significative incertezze nelle stime delle emissioni di origine antropica e degli assorbimenti da parte dei pozzi nel settore AFOLU (Agriculture, Forestry and Land Use), nonché nelle proiezioni future. Tuttavia, si è tentato di quantificare il contributo previsto del settore AFOLU alle riduzioni delle emissioni nel 2050, sebbene con metodi diversi.

Alla luce del crescente numero di eventi meteorologici estremi, il 32% degli LT-LED ha comunicato preoccupazioni specifiche relative ai pozzi di assorbimento del carbonio e agli stock di carbonio che diventano instabili a causa dei cambiamenti climatici o di altri effetti degradanti a lungo termine.

Queste preoccupazioni sono particolarmente importanti negli ecosistemi con capacità adattativa limitata, come monocolture, ecosistemi secchi o montani o terreni già degradati.

Per quanto riguarda il potenziale di mitigazione per l'AFOLU, l'87% degli LT-LEDS ha fatto riferimento al rimboschimento; l'84% al miglioramento della gestione delle terre coltivazioni e dei fertilizzanti e alla gestione del bestiame e dei pascoli; l'81% alla gestione sostenibile delle foreste; il 63% al sequestro del carbonio nel suolo, un'opzione è dare priorità agli usi del legno che hanno una durata più lunga e un elevato potenziale di sostituzione; il 51% alla produzione di prodotti in legno e infine il 47% alla riduzione degli sprechi e delle perdite alimentari, al potenziale dell'agroforestale e al ripristino delle torbiere e delle zone umide, incluso il 19% che ha fatto esplicito riferimento al carbonio blu.

La riduzione degli sprechi alimentari e vedendo i potenziali usi dei rifiuti organici recuperati adottando i modelli di consumo consoni è stata identificata come un'attività per ridurre le emissioni. Tuttavia, nonostante le diverse opzioni di mitigazione attualmente ampiamente praticate non si è ancora soddisfatto del tutto i parametri auspicabili per la rimozione di CO₂. A questo proposito, le Parti hanno segnalato opzioni di rimozione non convenzionale dell'anidride carbonica.

Stiamo parlando della BECCS (Bioenergia con cattura e stoccaggio del carbonio) come necessario per limitare l'aumento della temperatura, ma non immediatamente implementabile e la DACCS (Direct Air Carbon Capture and Storage) come tecnologia che potrebbe essere utilizzata in futuro in caso di riduzione significativa dei costi.

- **Economia circolare, efficienza delle risorse e gestione dei rifiuti**

Un altro metodo da adottare per ridurre le emissioni a lungo termine, in particolare nel contesto della mitigazione, è l'economia circolare. Quasi tutti gli LT-LED hanno indicato elementi specifici descritti nell'ambito del concetto di economia circolare, compreso il riciclaggio e riutilizzo dei rifiuti, l'efficienza delle risorse e dei materiali dell'industria.

Nel dettaglio, si punta a ridurre la domanda di nuove materie prime, ridurre al minimo gli sprechi d'acqua e di energia; e conservare l'ecosistema attraverso l'uso efficiente delle risorse, anche attraverso il riutilizzo, il riciclaggio e la condivisione dei prodotti.

Il passaggio dall'economia lineare a quella circolare comporta cambiamenti nei processi di produzione, a favore di prodotti progettati per essere durevoli, riparabili, rinnovabili. Si evidenzia il

concetto di bioeconomia; metodo per rigenerare in modo sostenibile un sistema naturale facendo sì che il legno venga promosso sia come materia prima che come prodotto finale. [9]

Lo sforzo politico a cui si fa più frequentemente riferimento nei LT-LEDS sono misure dell'economia circolare che includono il miglioramento del sistema e delle infrastrutture per la raccolta, la separazione e il riciclaggio dei rifiuti, l'instaurazione degli standard e degli obiettivi dell'industria per l'utilizzo di materiali riciclati, la promozione della progettazione ecocompatibile con particolare attenzione al riutilizzo, alla durabilità, alla riciclabilità, al contenuto di materiali riciclati e l'utilizzo di spazi pubblici costruiti vuoti e edifici multifunzionali e condivisi per ridurre l'area di costruzione.

L'accordo di Parigi fornisce un sostegno finanziario, tecnico e di rafforzamento delle capacità ai Paesi che ne hanno bisogno; esplicitando anche che i Paesi sviluppati dovrebbero assumere un ruolo guida nella fornitura di assistenza finanziaria a Paesi più deboli. È importante la finanza climatica per poter investire su larga scala verso la riduzione di emissioni e anche per potersi attrezzare in modo da prevenire gli effetti negativi e limitare il più possibile i danni causati da un clima che sta cambiando.

Il ruolo della tecnologia risulta fondamentale per la buona riuscita degli obiettivi posti e l'accordo stabilisce un quadro tecnologico per fornire una guida generale affinché tutto il meccanismo tecnologico sia ben funzionante. Esso sta accelerando lo sviluppo e il trasferimento di tecnologie attraverso la sua politica e l'attuazione dei suoi armamenti. Parlando di un accordo internazionale non tutti i Paesi in via di sviluppo hanno capacità sufficienti per affrontare molte delle sfide, specialmente da un punto di vista finanziario. Di conseguenza, l'accordo di Parigi si vede molto attento a porre sullo stesso livello tutti i Paesi aderenti, chiedendo ai Paesi sviluppati di rafforzare il sostegno alle azioni di rafforzamento delle capacità nei confronti dei Paesi meno dotati.

Un altro punto citato da ampliare è la trasparenza delle informazioni. I Paesi hanno istituito un quadro di trasparenza rafforzato (ETF), vale a dire che a partire dal 2024, tutti riferiranno in modo limpido le azioni intraprese e i progressi nella mitigazione dei cambiamenti climatici, sulle misure di adattamento e nel sostegno forniti o ricevuti. Le informazioni raccolte attraverso l'ETF confluiranno nel bilancio globale che valuterà i progressi collettivi verso gli obiettivi climatici a lungo termine. Sebbene l'azione sul cambiamento climatico debba essere massicciamente aumentata per raggiungere gli obiettivi dell'accordo di Parigi, dalla sua entrata in vigore fino ai giorni odierni, sono già nate soluzioni a basse emissioni di carbonio e nuovi mercati. Tutti sono convocati e svolgere tale attenuazione e un dato confortante si evince dell'adesione sempre più visibile di paesi, regioni, città e aziende che stanno stabilendo obiettivi di *carbon neutrality*, diventando competitive in tutti i settori

economici, rappresentando solo il 25% delle emissioni. Entro il 2030 si punta a fare adottare la soluzione a zero emissioni di carbonio a settori che rappresentano oltre il 70% delle emissioni globali come quello del trasporto.

Mentre molte aziende, città e regioni stanno cercando di ridurre le emissioni ma molte di loro devono affrontare barriere che limitano la loro ambizione o ne stanno rallentando i progressi. Il primo passo è quello di indentificare queste barriere e cercare di perfezionare l'approccio per poterle limitare o abbattere, in modo da poter consentire un maggiore consolidamento, standardizzazione e comparabilità. Per superare questi vincoli si è svolta una consultazione indipendente, un lavoro del gruppo di esperti ad alto livello del Segretario generale delle Nazioni Unite sulle emissioni nette zero non statali; con gli input che dovrebbero contribuire a informare lo sviluppo del Net Zero Recognition and Accountability Framework and Implementation Plan dell'UNFCCC.

2 Energia solare: l'effetto fotovoltaico

2.1 Definizione e utilizzo dell'energia solare

L'energia solare è l'energia emessa dal Sole sotto forma di radiazione elettromagnetica. È la forma primaria di energia per la vita sulla Terra e può essere sfruttata per soddisfare la domanda sia di energia termica sia di energia elettrica.

Le tecnologie di utilizzazione diretta dell'energia solare possono essere classificate in base agli usi tecnologici delle radiazioni solari:

- Solare termico: che comprende le tecnologie per ottenere calore a bassa e media temperatura per la produzione di acqua calda sanitaria, per la climatizzazione estiva e invernale degli ambienti. Il principale dispositivo è il collettore termico dove il suo scopo è quello di riscaldare un fluido termovettore, il quale muovendosi all'interno dell'impianto porta calore alle zone desiderate.
- Solare di potenza: che comprende tecnologie per la produzione di energia elettrica in modo diretto come il fotovoltaico o termoelettrico a effetto Seebeck.
- Chimica solare: utilizza l'energia solare come forza motrice per reazioni chimiche finalizzate alla produzione di combustibili, trattamenti di depurazione o altre lavorazioni industriali. [10]

Inoltre, ci sono anche usi indiretti dell'energia solare come energia idraulica, energia eolica e biomasse.

Tutti gli utilizzi diretti dell'energia solare passano per la captazione dei raggi del sole.

Il sole è una stella dove all'interno avvengono reazioni termonucleari e nel nucleo incandescente si produce una temperatura tra i 16 e 40 milioni di kelvin, e attraverso una serie di processi radiativi avviene il trasferimento del calore alla superficie terrestre e inizia l'irraggiamento verso lo spazio.

Il sole emette diversi tipi di onde elettromagnetiche caratterizzate da diverse frequenze e da vari studi è stato ricavato che la sua distribuzione sperimentalmente è simile a quella di un corpo nero, come mostrato in Figura 2.

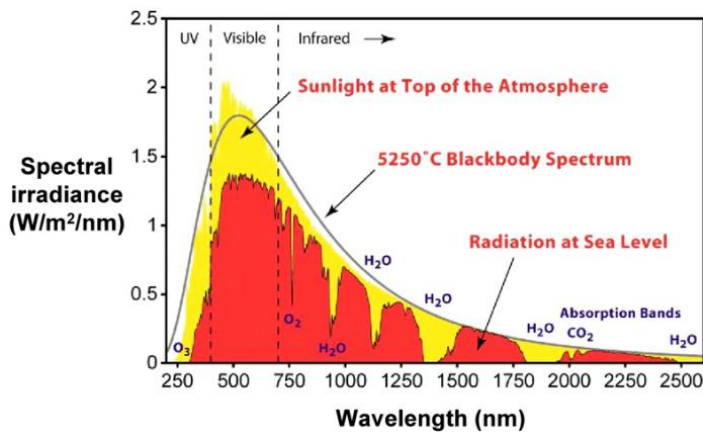


Figura 2: mappa radiazione solare [11]

L'Italia è tra gli Stati europei con la maggiore esposizione ai raggi solari e pertanto investe molto in questa energia. Alla fine dell'anno 2020 la potenza installata complessiva ammontava a 21.650 MW, per un incremento rispetto al 2019 pari al +3,8%. La produzione registrata nell'anno è pari a 24.942 GWh, in aumento rispetto al 2019 (+5,3%) principalmente per le migliori condizioni di irraggiamento.

2.2 Incidenza solare sulla Terra

La progettazione e l'installazione di impianti che utilizzano la fonte solare richiedono un'adeguata conoscenza dell'energia che può essere ricavata dal Sole. Considerando condizioni ideali, per una superficie unitaria disposta perpendicolarmente ai raggi solari e senza l'interferenza dell'atmosfera terrestre, la potenza radiante per metro quadrato sulla Terra è pari a 1.366,9 W/m².

La potenza solare netta è anche detta **irradianza**, grandezza che varia in funzione della distanza della Terra dal Sole, dell'atmosfera terrestre, delle condizioni meteorologiche e della diversa posizione del Sole durante la giornata. Esistono degli appositi strumenti, come il piranometro, piccolo apparecchio dotato di un apposito sensore che misura la potenza solare. Sono muniti di un involucro di protezione contro pioggia, neve e polvere, ma viene sempre garantito alla luce di penetrare. Inoltre, lo strumento viene collocato in un posto dove possa ricevere la luce solare diretta per l'intera giornata senza interruzioni. [12] [13]

Di seguito si illustrano i fattori da cui dipende l'energia solare.

1. La Terra percorre un'orbita eccentrica attorno al Sole e l'asse di rotazione è inclinato rispetto al piano dell'eclittica; tale inclinazione (detta anche declinazione) fa variare l'irraggiamento solare sul suolo terrestre nel corso dell'anno dando luogo alle variazioni climatiche

periodiche, più comunemente chiamate stagioni. Quando il sole è il 21 dicembre è al Perielio, i raggi irradiano il nostro emisfero boreale in quantità minore e con una breve durata del giorno e ciò provoca una minore temperatura. Al contrario, il 21 giugno durante il Solstizio d'estate il sole raggiunge la sua massima altezza ed è perfettamente perpendicolare al nostro emisfero facendo arrivare una grande quantità di energia radiante.

2. L'orientamento della superficie rispetto ai raggi solari è fondamentale. L'irradianza globale media che incide su un piano orizzontale si può dimostrare che è uguale a:

$$G_{0h}A_h = G_0A_h = G_0A_n \cos z \rightarrow G_{0h} = G_0 \cos z, \quad [10]$$

dove:

“z” è l'angolo di Zenit, ossia l'angolo che si forma tra i raggi del sole e la normale al suolo;

“G₀” è la costante solare

“G_{0h}” è la stima dell'irradianza globale media che incide sul piano orizzontale;

“A_n” è la proiezione di A_h sul piano ortogonale ai raggi del Sole.

Dall'equazione si comprende che l'orientamento migliore è quello ortogonale ai raggi solari. Per l'inclinazione invece bisogna considerare l'angolo formato dalla superficie captante, e il piano orizzontale; un valore uguale numericamente alla latitudine garantisce un buon funzionamento medio annuale. Una inclinazione alta privilegia il funzionamento nel periodo invernale, ossia con raggi solari bassi, mentre un valore più piccolo privilegia il funzionamento nel periodo estivo con raggi solari alti. [14]

3. L'atmosfera attenua il passaggio dei raggi solari, che più in particolare possono essere analizzati secondo due macro-aspetti: effetti globali e effetti spettrali.

Gli effetti globali sono la *riflessione*, che consiste nella riflessione da parte degli strati dell'atmosfera di una parte della radiazione solare emessa; l'*assorbimento*, dove una parte della radiazione viene assorbita dalle molecole che compongono l'atmosfera. Questa energia poi viene emessa a lunghezza d'onda più elevate, l'infrarosso. Infine, abbiamo la *diffrazione*, dove le molecole di acqua e di polvere nell'atmosfera danno origine a questo fenomeno, che successivamente genera la componente della radiazione solare diffusa, dove in alcune condizioni, come in caso di cielo nuvoloso, può essere prevalente rispetto alla componente diretta.

In generale, quando il raggio durante il suo percorso d'attraversamento dell'atmosfera incontra una gocciolina d'acqua o un granello di polvere si verificano i processi di diffrazione e riflessione. I pannelli piani sono in grado quasi completamente di assorbire la radiazione diffusa, mentre i concentratori devono essere orientati esattamente verso la radiazione diretta. Gli effetti spettrali invece, influenzano l'atmosfera in quanto il coefficiente di trasmissione monocromatico dell'atmosfera non è uniforme con la lunghezza d'onda, pertanto la distribuzione spettrale dei raggi sulla superficie terrestre è diversa da quella extra-atmosfera.

2.3 Come ricavare l'energia solare – l'impianto fotovoltaico

Recentemente la crescita del settore fotovoltaico ha interessato da vicino anche l'Italia. Alla fine dell'anno 2019 risultavano installati in Italia 880.090 impianti fotovoltaici, per una potenza complessiva pari a 20 865 MW. Gli impianti di piccola taglia (potenza inferiore o uguale a 20 kW) costituivano il 92% circa del totale in termini di numero e il 21% in termini di potenza.

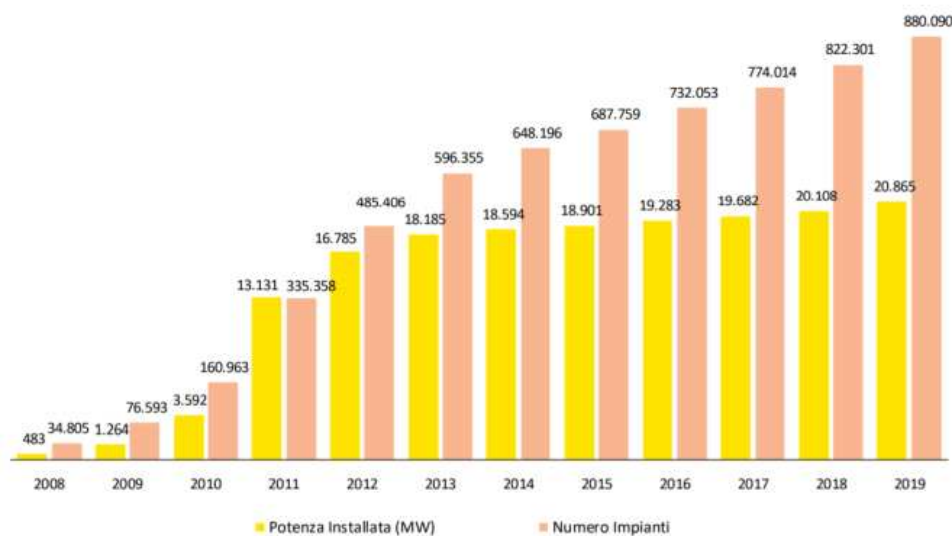


Figura 3: Evoluzione della serie storica del numero e della potenza installata degli impianti fotovoltaici in Italia nel periodo 2008- 2019 [15]

Dall'evoluzione della potenza e della numerosità degli impianti fotovoltaici in Italia negli anni che vanno dal 2008 al 2019, si può osservare che alla crescita avvenuta nel quinquennio 2008-2013, favorita dai meccanismi di incentivazione, è seguita da una fase di consolidamento caratterizzato da dinamiche di sviluppo molto più graduali.

Gli impianti installati nel corso del 2019 hanno una potenza media di 12,9 kW e rappresentano il dato più alto osservato dal 2013, mentre la taglia media cumulata degli impianti fotovoltaici nello stesso

anno conferma la tendenza decrescente, attestandosi a 23,7 kW.

Non sussistono problemi di geolocalizzazione in questa tecnologia in quanto la radiazione solare ricopre tutta la superficie; tuttavia, la Terra non viene irradiata in modo uniforme e alcune zone risultano essere più esposte. In tali zone è particolarmente conveniente la messa a punto di un impianto fotovoltaico, il quale permette di ricavare attraverso i pannelli l'energia elettrica. La natura modulare della tecnologia fotovoltaica permette la sua applicazione in una vasta gamma di potenze, dai milliwatt, ai chilowatt fino all'ordine dei megawatt nelle centrali fotovoltaiche. [15]

La tecnologia FV sfrutta l'effetto fotovoltaico, basato sulle proprietà di alcuni materiali semiconduttori in grado di convertire l'energia della radiazione in energia elettrica senza parti meccaniche o uso di combustibili.

Più nel dettaglio per capire questo effetto fotovoltaico bisogna trattare la teoria delle bande. Gli elettroni che ruotano nelle prime orbite formano una banda di energia, così come quelli che sono nelle seconde orbite e tali bande sono separate tra loro. L'ultima banda energetica ad essere occupata è chiamata banda di valenza, quella immediatamente successiva è una banda vuota detta di conduzione. In caso di materiali semiconduttori le due bande sono separate da un intervallo energetico che prende il nome di banda interdotta o gap di energia, che può essere superata dagli elettroni presenti nella banda di valenza tramite l'assorbimento di energie esterne in grado di eccitare gli elettroni e condurli con un salto fino alla banda di conduzione.

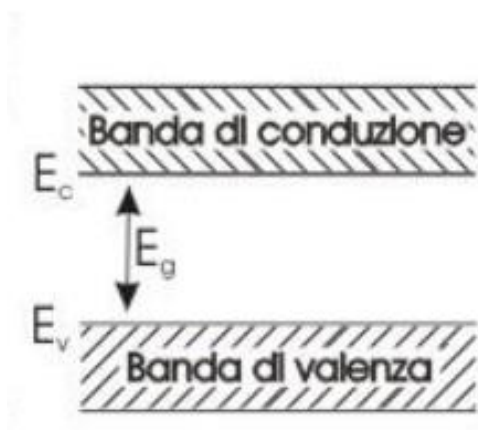


Figura 4: bande di energia [10]

Da quanto detto si può concludere che l'effetto fotovoltaico consiste nell'utilizzare i fotoni di luce solare per portare gli elettroni nella banda di conduzione; tali elettroni muovendosi in modo organizzato realizzano una corrente elettrica.

Sono stati scelti dopo vari studi proprio materiali semiconduttori in quanto si evince un maggiore abbassamento della soglia energetica tra le bande con cui è possibile ottenere, a parità di radiazione incidente, una quantità superiore di corrente.

Il materiale utilizzato per eccellenza nella creazione di un pannello è il silicio, che grazie alla sua struttura reticolare permette un forte legame elettrostatico, che può essere spezzato con una quantità di energia minima, generando così il passaggio dell'elettrone nella banda di conduzione creando elettricità con poco sforzo nella separazione degli elettroni dagli atomi. [17]

2.4 Cella fotovoltaica

2.4.1 Funzionamento

Per sfruttare l'elettricità è necessario creare un moto ordinato di elettroni generando corrente mediante un campo elettrico interno alla cella. Il campo viene generato con una pratica chiamata *drogaggio*, che richiede particolari trattamenti fisici e chimici.

Nel silicio viene introdotta una piccola quantità di impurità come il fosforo e il boro per aggiungere rispettivamente cariche negative e positive. Questo inserimento crea un semiconduttore elettrico di "tipo n" all'aggiunta del fosforo, e un semiconduttore elettrico di "tipo p", all'aggiunta del boro.

Per formare il campo elettrico basta creare un contatto p + n; in questo modo si genera il campo alla giunzione PN.

In questa giunzione si raggiunge il punto di equilibrio elettrostatico che porta ad avere una concentrazione netta di carica opposta sui lati della giunzione, d'intensità proporzionale alla concentrazione di drogante, che determina il campo elettrico.

Grazie alla giunzione l'effetto fotovoltaico determina un flusso di elettroni nel circuito esterno che parte dallo strato N, che dev'essere abbastanza sottile da lasciar passare le radiazioni solari, verso lo strato P.

Le celle fotovoltaiche sono contrassegnate dalla curva caratteristica, dalla quale è possibile determinare le prestazioni elettriche. La curva nasce dal confronto tra tensione e corrente. Denotiamo come Circuito Aperto il punto V_{oc} dove il pannello non è collegato al carico, determinando il massimo voltaggio, mentre definiamo come Circuito Chiuso il punto I_{sc} , quando si ha la corrente massima ma viene applicato un carico con resistenza nulla, come possiamo notare in Figura 5.

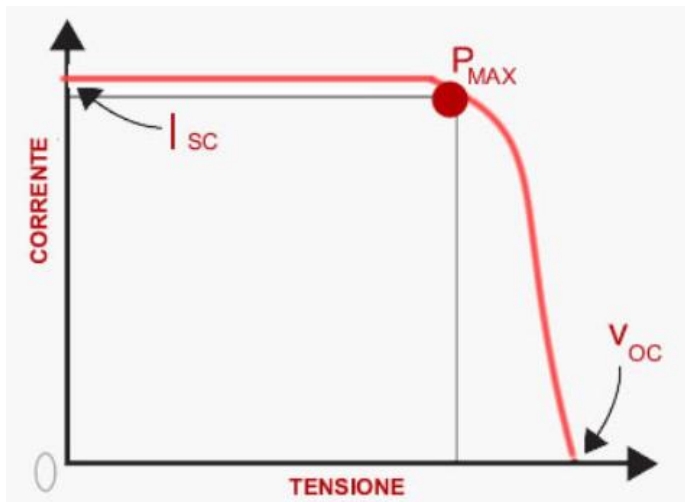


Figura 5: curva Tensione – Corrente [18]

Sempre dalla figura vediamo l'incrocio tra la retta della tensione e quella della corrente in prossimità del ginocchio della curva, questa intersezione definisce il *punto di massima potenza*.

La temperatura e la radiazione solare incidente sono parametri fondamentali per determinare le caratteristiche elettriche della cella in quanto vanno a modificare l'andamento della curva caratteristica. In particolare, al diminuire della radiazione si ha una riduzione del punto I_{sc} provocando un forte diminuzione della potenza massima erogabile dal pannello; la temperatura gioca il ruolo opposto dato che influenza il punto V_{oc} , ma in questo caso l'influenza sul valore di potenza massima risulta meno marcata. [10] [19]

2.4.2 Composizione

Il silicio metallurgico viene fuso in lingotti dal diametro di 10-15 cm e successivamente affettato in sezioni di 0.25-0.35 mm di spessore per ogni cella. Essa è costituita da vari strati che svolgono ruoli specifici nel processo di conversione dell'energia solare.

Tra gli elementi principali abbiamo:

- **Lo strato di vetro:** il primo strato che si incontra il raggio di sole è quello di vetro, che lascia passare la radiazione solare essendo trasparente ma allo stesso tempo funge da protezione non permettendo il passaggio all'inverso.

- **Strato antiriflesso:** progettato per ridurre le perdite di energia causate dalla riflessione della radiazione solare sulla superficie della cella fotovoltaica, migliorando così l'assorbimento della luce solare.
- **Griglia metallica:** fondamentale per la creazione della zona di giunzione, ed è anche responsabile della generazione di corrente elettrica quando la radiazione solare colpisce la cella essendo conduttrice.
- **Strato di silicio:** cuore della cella in quanto elemento principale per far avvenire tale trasformazione. In particolare il silicio viene drogato. Come descritto precedentemente, il drogaggio è il processo di introduzione di quantità controllate di atomi estranei o impurezze nel reticolo cristallino di silicio al fine di alterare le concentrazioni dei portatori di carica e modificare la sua conducibilità elettrica. Il drogaggio può avvenire sia con il boro che con il fosforo. Nel caso del drogaggio con il fosforo il reticolo viene arricchito di elettroni e si parla di drogaggio **tipo-n**, mentre per il drogaggio con il boro si parla di drogaggio **tipo-p**, in quanto il reticolo viene arricchito di lacune che si comportano come cariche positive.
- **Strato di contatto posteriore:** facilita il collegamento elettrico per consentire il flusso di corrente verso l'esterno della cella, trasportando l'energia prodotta verso l'inverter per la sua conversione in energia elettrica utilizzabile.
- **Strato di supporto:** fornisce il supporto strutturale alla cella fotovoltaica, garantendo la protezione degli strati interni e contribuendo alla sua durabilità nel tempo.

È molto importante che ci sia un lavoro sinergico tra i vari strati affinché possa avvenire la massimizzazione dell'efficienza della cella fotovoltaica.

Come precedentemente detto, il silicio è il materiale più diffuso per la realizzazione di queste celle fotovoltaiche; tuttavia, l'avvento dei sistemi a film sottile ha condotto all'introduzione di nuovi componenti come il diseleniuro di rame, l'indio e il tellururo di cadmio. Tante celle fotovoltaiche collegate mediante elementi metallici danno vita a circuiti in serie o in parallelo, costituendo un modulo fotovoltaico, anche noto come pannello solare. Il modulo fotovoltaico viene posizionato su delle strutture di sostegno, in modo da consentire l'orientamento e l'inclinazione corretti. In Figura 6 è riportata la rappresentazione della composizione di una cella fotovoltaico.

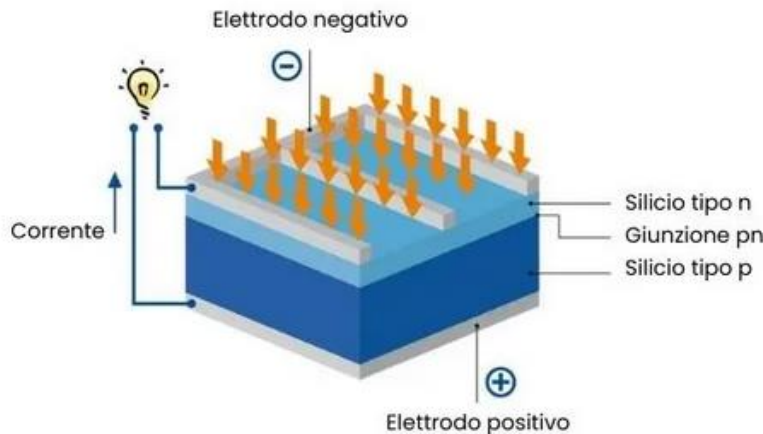


Figura 6: schermata di una cella fotovoltaica [20]

2.4.3 Tipologie di celle e rendimento

La forma principale delle celle fotovoltaiche è quella quadrata, ma esistono altri profili, quello rettangolare, ottagonale, esagonale o circolare.

Oltre alle diverse forme esistono diverse tipologie di celle fotovoltaiche, come:

- **Le celle fotovoltaiche di silicio monocristallino:** si caratterizzano dal colore blu scuro, tendente al nero e dalla forma ottagonale. È realizzata a partire da un wafer, ovvero il vettore della cella, la cui struttura è omogenea e lavorata chimicamente. Ogni cella dispone di un singolo cristallo di silicio, il che garantisce la massima conducibilità dovuto al perfetto orientamento nella stessa direzione degli atomi di silicio allo stato. Il rendimento di un pannello con questa tipologia di cella ha un range che va dal 15% al 17%; in presenza di luce perpendicolare può arrivare al 21%.
- **Le celle fotovoltaiche di silicio policristallino:** Si contraddistinguono dal colore blu e dalla forma quadrata. Sono costituite da cristalli di silicio con orientamento diverso, il wafer non ha una struttura omogenea bensì è organizzato in grani localmente ordinati. Esso si ottiene riciclando componenti elettronici scartati, ossia il cosiddetto “scraps di silicio” che viene rifuso per ottenere una composizione cristallina compatta. Tali celle solari sono dotate di un’efficienza inferiore rispetto alle celle di silicio monocristallino, ed il pannello ha un rendimento che si attesta tra il 14% e il 16%; ma riescono a sfruttare in miglior modo il rendimento durante la giornata.
- **Le celle fotovoltaiche di silicio amorfo idrogenato:** appartengono ai dispositivi di seconda generazione. Nella sua forma più semplice una cella fotovoltaica in silicio amorfo si costruisce

depositando strati di silicio su un materiale di supporto, tipicamente il vetro. Realizzati con questo materiale assicurano una performance minore, in quanto assorbono meno la componente diffusa dell'irraggiamento solare. Di contro, questa soluzione garantisce la realizzazione di celle fotovoltaiche nelle più svariate configurazioni, preserva in modo più efficace la conservazione del modulo e sono economicamente competitive. Da questa tipologia c'è la possibilità di sviluppare celle a film sottile e flessibili quindi più facili da integrare. La loro caratteristica sottile riduce l'efficienza ma si stanno sperimentando celle che superino questo limite riuscendo ad assorbire facilmente i fotoni.

- **Le celle fotovoltaiche al tellururo di cadmio:** il tellururo di cadmio rappresenta un ottimo semiconduttore per la realizzazione dei pannelli fotovoltaici, nonostante venisse inizialmente considerato come un materiale di scarto dell'estrazione dei minerali. Le celle fotovoltaiche di questa tipologia sono dotate di una maggiore capacità di assorbimento della radiazione solare e sopportano più a lungo l'esposizione a temperature elevate. Tuttavia, il tellururo di cadmio è un elemento tossico, da maneggiare con cura e con precisi accorgimenti di contenimento.
- **Le celle fotovoltaiche al seleniuro di rame, indio e gallio:** Questi materiali sono caratterizzati dal più alto coefficiente di assorbimento tra i semiconduttori adoperati per le celle solari, infatti rappresentano uno dei migliori prodotti della ricerca per l'energia solare. L'efficienza dei pannelli solari fotovoltaici realizzati con tali celle solari è superiore al 21%. Il limite principale è il costo molto più alto rispetto alla cella al silicio. Nel dettaglio la produzione dei pannelli in seleniuro di gallio è molto diversa dai metodi tradizionali di produzione di wafer di silicio, in quanto esso deve essere fabbricato mediante tecnologia epitassiale. In secondo luogo, anche l'attenuazione della cella è uno dei fattori costosi; infatti, le tradizionali celle solari a film sottile sono generalmente di colore più scuro per motivi di processo, il che significa che l'effetto termico è più grave. Inoltre, l'arseniuro di gallio è più fragile del silicio nelle proprietà fisiche, il che lo rende più facile da rompere durante la lavorazione rendendo il tasso di danni all'installazione relativamente alto.
- **Le celle fotovoltaiche in perovskite:** sono state oggetto di un'intensa attività di ricerca, considerati i bassi costi di produzione e l'elevata efficienza grazie all'utilizzo della perovskite, ovvero un minerale di biossido di titanato di calcio, che si contraddistingue per la struttura cristallina estremamente regolare. Tuttavia, per realizzare questa tipologia di celle fotovoltaiche è necessario nella lavorazione l'impiego del piombo che è una sostanza inquinante. Ergo l'utilizzo di tali celle è limitato.

Come già detto, il rendimento varia a seconda della tipologia di cella e condizioni di taglio dei cristalli. Fattori come l'angolazione del pannello rispetto ai raggi solari, la stagionalità o il tempo di assorbimento misurato in ore sono alla base per la definizione di rendimento. Ci sono anche altre componenti cruciali come la pulizia, la ventilazione e la temperatura dei luoghi di produzione.

La temperatura ambientale è espressa in °C viene acquisita attraverso una termocoppia posta all'interno di un involucro impermeabile ai raggi UV. È molto rilevante questo parametro poiché l'efficienza del pannello è inversamente proporzionale alla temperatura. [20] [21]

2.4.4 Rivestimento antiriflesso

Il silicio ha un indice di rifrazione relativamente alto e riflette più del 30% della radiazione solare. Per questo motivo viene impiegato uno strato di materiale non assorbente con un indice di rifrazione più basso.

Se tale strato è spesso, nell'ordine della lunghezza d'onda della radiazione visibile, al suo interno non si hanno effetti di interferenza. Nel caso del rivestimento antiriflesso, si parla di uno strato di dielettrico progettato per sopprimere il riflesso attraverso l'effetto delle interferenze. Quando la riflessione della luce è minima, a tale frequenza, si eliminano per interferenza. Mentre per riflessione alle altre frequenze risultano problemi a livello minore o uguale rispetto al non avere affatto il rivestimento.

Generalmente lo spessore è di 600nm, dove il flusso di fotoni è massimo per lo spettro solare. I materiali più utilizzati per celle industriali sono solitamente il TiOx e il SiNx. Quest'ultimo agisce sia da strato passivante sia da rivestimento antiriflesso. Altri tipi di materiali sono utilizzati nelle celle ad alta efficienza prodotte in laboratorio.

Le caratteristiche dei pannelli fotovoltaici sono più o meno le stesse per la maggior parte dei moduli e possiamo individuare 3 tipologie principali di sistemi:

- gli **impianti tradizionali**, la configurazione standard più economica e senza accumulo
- gli **impianti on grid**, la tipologia più venduta, compatibile con le batterie di accumulo e certificata CEI 0-21
- gli **impianti off grid**, ideali per le zone isolate e lontane dai centri abitati

Più in dettaglio: gli impianti tradizionali hanno garantito l'allacciamento alla rete elettrica nazionale, è possibile rivendere al GSE l'energia prodotta e rendere la produzione più efficiente. In quelli on grid è inoltre possibile alimentare il fabbisogno con batterie di accumulo ed è più sicuro in caso di sbalzi di corrente. L'impianto off grid presenta tutte queste caratteristiche tranne l'allacciamento alla rete elettrica nazionale.

Esistono nuove tecnologie come il **fotovoltaico a moduli cilindrici**; tali impianti semi-integrati impiegano moduli cilindrici ricoperti di film sottile a 360°, sfruttando la radiazione solare dell'intera giornata nonché la luce riflessa della superficie su cui poggiano. I moduli cilindrici funzionano in modo ottimale se montati orizzontalmente uno vicino all'altro; il sistema è leggero e, a differenza dei moduli tradizionali, non è soggetto all'effetto vela e non richiede quindi un fissaggio dei moduli con pesi zavorrati. La soluzione cogenerativa presenta tuttavia lo svantaggio di dover far lavorare le celle ad una temperatura più elevata per la produzione di calore, il che comporta una riduzione del rendimento fotovoltaico.

Un'altra applicazione interessante riguarda gli **impianti fotovoltaici galleggianti**, realizzati in acque morte quali bacini in quota o laghetti. Tali impianti prevedono l'installazione su una struttura galleggiante di derivazione navale che può essere dotata di pompe idrauliche per il raffreddamento ad acqua dei moduli e dei sistemi di inseguimento. Inoltre, possono essere presenti dei sistemi di concentrazione per incrementare la radiazione incidente sulle celle. I principali vantaggi di questa applicazione sono:

- il limitato impatto visivo, poiché gli specchi d'acqua su cui vengono realizzati tali impianti sono spesso situati in zone senza vincoli paesaggistici;
- il raffreddamento dei moduli, mediante un sottile strato d'acqua che scorrendo sulla loro superficie mantiene la temperatura degli stessi a valori tali da garantire la massima efficienza. Ciò determina un aumento della producibilità energetica annua di circa il 10%, superiore ai consumi della pompa che assicura il raffreddamento. [22]

2.5 Inseguitori solari

Gli inseguitori solari sono dei dispositivi che, attraverso opportuni movimenti meccanici, permettono di far "inseguire" lo spostamento apparente del Sole al pannello, in modo da farli orientare in maniera

favorevole rispetto ai suoi raggi. Lo scopo principale di un inseguitore è quello di massimizzare l'efficienza del dispositivo ospitato a bordo. Nel campo fotovoltaico i moduli montati a bordo di un inseguitore vengono generalmente disposti geometricamente, pratica che evita l'impiego di un inseguitore per ogni singolo modulo. Il sistema di inseguimento può essere suddiviso in due macrocategorie: sistemi ad inseguimento monoassiale e sistemi ad inseguimento biassiale, come mostrato in Figura 7.

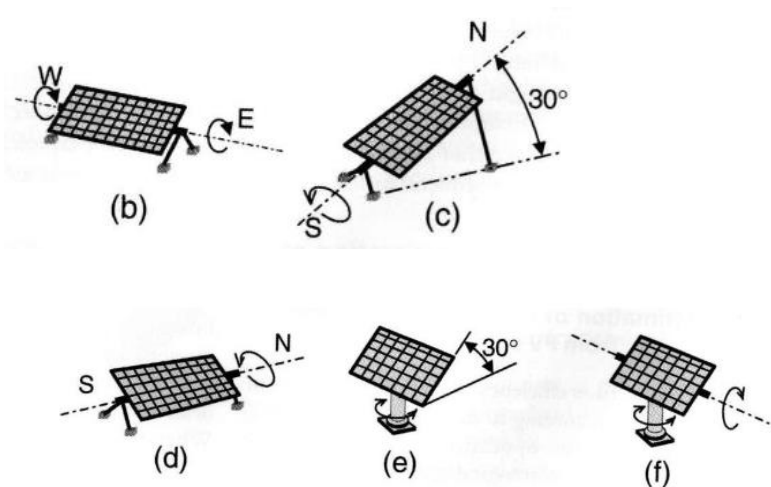


Figura 7: Movimenti degli Inseguitori Solari Monoassiali (b,c,d) e Biassiali (e,f) [23]

2.5.1 Inseguitori solari monoassiali a un grado di libertà

Gli inseguitori fotovoltaici monoassiali sono dispositivi che "inseguono" il sole ruotando attorno a un solo asse. A seconda dell'orientazione di tale asse, possiamo distinguere quattro tipi di inseguitori:

- **Inseguitori di tilt o di beccheggio:** il nome deriva dall'angolo di tilt, il quale viene aumentato o diminuito a seconda dell'inclinazione ottimale da dare al pannello rispetto al terreno in direzione sud. L'angolo di tilt non varia solo con la latitudine ma anche nel corso del tempo, poiché il sole raggiunge altezze diverse durante l'anno. Grazie a un sistema apposito che permette di abbassare o sollevare a mano i pannelli rispetto all'orizzonte, il pannello risulta sempre perfettamente inclinato e tale operazione viene fatta manualmente due volte l'anno. Sono inseguitori che ruotano attorno all'asse est-ovest e sono i più semplici da realizzare e più economici. Un esempio è riportato in Figura 8.



Figura 8: Inseguitore tilt [23]

- **Inseguitori di Rollio:** in questo inseguitore l'asse di rotazione è nord-sud, mentre l'altezza del sole rispetto all'orizzonte viene ignorata. Sono particolarmente indicati per i Paesi a bassa latitudine, in cui il percorso del sole è mediamente più ampio durante l'anno. La rotazione richiesta è più ampia del tilt, spingendosi fino a $\pm 60^\circ$. Una caratteristica avanzata di questi inseguitori è il backtracking che permette di risolvere il problema degli ombreggiamenti che le file dei moduli fotovoltaici causano all'alba e al tramonto, servono meccanismi che orientano i moduli in base ai raggi solari sono nella fascia centrale della giornata evitando l'alba e il tramonto. Un'altra peculiarità degli inseguitori con questa caratteristica è data dalla posizione perfettamente orizzontale rispetto al suolo nelle ore notturne. Dopo l'alba tale ortogonalità dei moduli viene progressivamente ridotta a mano a mano che le ombre lo permettono, mentre prima del tramonto viene eseguita una analoga procedura ma al contrario. L'incremento nella produzione di energia si aggira per questi inseguitori intorno al 15%. Inseguono il sole per tutto il suo percorso e si avvalgono di servomeccanismi che, per evitare le zone d'ombra, invertono il movimento della struttura all'alba e al tramonto in modo automatico. Un esempio è riportato in Figura 9.



Figura 9: Inseguitori di Rollio [23]

- **Inseguitori di Azimut:** questi inseguitori hanno normalmente i pannelli solari inclinati di un certo angolo rispetto all'asse di rotazione, tale asse è verticale e perpendicolare al suolo. I pannelli sono montati su una base rotante complanare al terreno, che tramite un servo meccanismo segue il movimento del sole da est a ovest senza mai variare l'inclinazione del pannello rispetto al suolo. Per utilizzare questi inseguitori nel progetto bisogna valutare bene il problema degli ombreggiamenti per evitare perdite di energia e ottimizzare l'utilizzo del terreno; sono maggiormente adatti quando si hanno a disposizione spazi relativamente ampi. L'incremento nella produzione di energia offerto da questo tipo di inseguitore è intorno al 25%. Un esempio è riportato in Figura 10.



Figura 10: Inseguitore di Azimut [23]

- **Inseguitori ad asse polare:** L'asse di rotazione è inclinato rispetto al suolo per poter essere circa parallelo all'asse nord-sud di rotazione terrestre, detto polare. Tale asse risulta simile a quello attorno al quale il sole disegna la propria traiettoria nel cielo; dunque, si riescono a tenere i pannelli solari all'incirca perpendicolari al sole durante l'arco della giornata e dando la massima efficienza (con un incremento di +30%). Un esempio è riportato in Figura 11.



Figura 11: Inseguitore ad asse polare [23]

2.5.2 Inseguitori solari biassiali a due gradi di libertà

Gli inseguitori fotovoltaici biassiali, a differenza di quelli monoassiali, hanno due gradi di libertà, di cui uno principale e uno secondario solitamente perpendicolari fra loro. Tramite l'ausilio di componenti elettroniche sofisticate è possibile puntare in tempo reale i moduli fotovoltaici verso il sole massimizzando l'efficienza. Questi sistemi possono avere un incremento della produzione di energia del 35-40% rispetto all'impianto di strutture su supporti fissi e un incremento di almeno il 5% rispetto ai sistemi ad inseguimento monoassiale. Esistono due tipi di inseguitori biassiali molto comuni, i quali si differenziano per la diversa orientazione degli assi di rotazione:

- **Azimut-elevazione:** Inseguono il sole assistiti da un computer, il quale calcola la posizione prevista nel cielo e permette di puntare qualsiasi zona. Hanno l'asse di rotazione principale verticale rispetto al terreno e quello secondario perpendicolare ad esso. Le strutture di questi sistemi di inseguimento sono molto grandi e bisogna tenerne conto durante la progettazione, soprattutto in riferimento alla stima dell'uso del suolo, agli eventuali ombreggiamenti per evitare perdite di energia. Un esempio è riportato in Figura 12.



Figura 12: Inseguitori biassiali Azimut-elevazione [24]

- **Inseguitori biassiali tilt-Rollio:** in questi inseguitori l'asse principale è parallelo al suolo e quello secondario perpendicolare all'asse primario. I posti disponibili all'estremità dell'asse primario possono essere condivisi con più gruppi di pannelli permettendo così costi di installazione più bassi. Anche per questi pannelli viene applicata la tecnica backtracking per evitare problemi degli ombreggiamenti reciproci all'alba e al tramonto. Infatti, i moduli seguono il movimento del sole ruotando lungo l'asse di Rollio solo nelle ore centrali del giorno, invertendo il movimento a ridosso dell'alba e al tramonto. Un esempio è riportato in Figura 13.



Figura 13: Inseguitore biassiale tilt-Rollio [23]

2.6 Inseguitori per sistemi a concentrazione

Gli inseguitori solari, mentre per i pannelli fotovoltaici tradizionali rappresentano un "optional", sono fondamentali per gli innovativi sistemi a concentrazione (solari o fotovoltaici) nei quali occorre che il Sole venga continuamente inseguito affinché i suoi raggi possano essere opportunamente concentrati, ad esempio da una sorta di specchio di forma parabolica o da un'apposita lente. Pertanto, tali sistemi necessitano di essere montati su un inseguitore mono o biassiale, a seconda che la concentrazione avvenga lungo una o due dimensioni. Tuttavia, gli inseguitori utilizzati per i sistemi a concentrazione devono essere molto più precisi: nei sistemi a bassa concentrazione, occorre che l'errore nell'inseguimento sia entro $\pm 2,0^\circ$ affinché si produca il 90% della potenza elettrica nominale attesa (con i pannelli fotovoltaici tradizionali, invece, è sufficiente un errore di $\pm 5^\circ$), mentre nei sistemi ad alta concentrazione occorre che sia entro $\pm 0,1^\circ$ per ottenere lo stesso risultato.

2.7 Inseguitori attivi e inseguitori passivi

Un'ulteriore classificazione degli inseguitori solari si ha in base al tipo di sistema che ne permette il movimento. In particolare, possiamo distinguere due grandi categorie: gli inseguitori attivi e quelli passivi. Gli inseguitori attivi sono messi in movimento da motori elettrici con apparati di demoltiplica per consentire movimenti molto lenti della struttura. Poiché i motori consumano energia, essi vengono utilizzati solo quando necessario, in modo non continuo. Gli inseguitori passivi, invece, sono messi in movimento da fenomeni fisici autonomi che non necessitano di energia elettrica, quali la dilatazione termica di un gas compresso riscaldato dalla radiazione solare. Esso genera una pressione idraulica in grado di muovere la struttura che sorregge i pannelli solari. Sono sistemi di orientamento non precisi, adatti per i comuni pannelli fotovoltaici ma non per i sistemi a concentrazione. Esistono anche gli inseguitori cronologici, i quali neutralizzano la rotazione della terra girando ad un passo simile e opposto a quello della sfera terrestre. Nella realtà i passi non sono esattamente uguali, la posizione del sole cambia rispetto alla Terra di 360° . Questo tipo di inseguitore solare è molto semplice d'azionare, si possono usare motori che ruotino ad un passo medio di un giro al giorno, quindi assai lenti. Se c'è spazio a sufficienza teoricamente l'inseguitore può ruotare completamente.

2.7.1 Classificazione inseguitori attivi

Gli inseguitori attivi si distinguono a loro volta in base alla tipologia del comando elettronico che ne governa il movimento: gli inseguitori analogici e quelli digitali. Negli inseguitori analogici il comando in questione è prodotto sulla base delle informazioni fornite da sensori (ad es. fotodiodi) che individuano la posizione del punto più luminoso nel cielo. Il vantaggio di questo tipo di inseguitori "adattivi" è che possono essere molto precisi nel puntamento e non richiedono un preventivo allineamento degli assi della struttura. Negli inseguitori digitali, invece, il comando giunge da un microprocessore che, tramite dei dati in esso memorizzati, conosce in ogni momento la posizione del Sole nel cielo. Questo tipo di pilotaggio "automatico" garantisce una maggiore produttività, soprattutto quando l'orientamento basato sui sensori di luce è impossibile a causa delle nuvole. Il movimento lento del sole richiede un sistema di smorzamento che risponda in modo altrettanto lento al fine di evitare un movimento oscillatorio dell'inseguitore.

Una soluzione è il solar tracker, pannello ad inseguimento che dovrebbe inoltre avere la possibilità di essere riposizionato nelle ore notturne per anticipare l'allineamento del sole, il quale è evidentemente opposto a quello del tramonto del giorno precedente, in modo da ridurre così le perdite di energia al mattino. Per fare ciò, al giorno d'oggi, sono utilizzate varie apparecchiature di rilevamento e attuatori, di natura sia elettrica (attiva) che meccanica (passiva).

2.8 Scelta del sistema d'inseguimento

La scelta del sistema di inseguimento dipende da numerosi fattori, tra cui le dimensioni e le caratteristiche sia della struttura sia del luogo di installazione, la latitudine e le condizioni meteorologiche e climatiche locali. Tipicamente, gli inseguitori *biassiali* vengono impiegati nei piccoli impianti residenziali e nei Paesi che godono di incentivi molto elevati. Invece, negli altri casi e per i grandi parchi fotovoltaici, risultano indicati gli inseguitori *monoassiali di Rollio*, per sfruttare i bassi costi, nonché la semplicità e robustezza dell'installazione, a fronte di un miglioramento comunque interessante nella produzione di energia, rilevante soprattutto di pomeriggio. Gli inseguitori *monoassiali di azimut*, invece, sono adatti per le alte latitudini, dove il sole non raggiunge altezze elevate nel cielo. In Italia un'ottima soluzione può essere rappresentata dagli inseguitori *monoassiali di tilt*. Le diverse tipologie di sistemi di inseguimento sono riepilogate in Figura 14.

| Classificazione | Tipo di inseguitore | Incremento di energia rispetto ad impianto FV fisso |
|------------------------|-------------------------------|--|
| Monoassiale | Inseguitore di tilt | <10% |
| Monoassiale | Inseguitore di rollio | 15% |
| Monoassiale | Inseguitore di azimut | 25% |
| Monoassiale | Inseguitore ad asse polare | 30% |
| Biassiale | Inseguitore azimut-elevazione | 40% |
| Biassiale | Inseguitore tilt-rollio | 40% |

Figura 14: confronto dell'incremento di resa tra i tipi di inseguitori solari [25]

2.9 Legislazione riguardante i pannelli FV

Per garantire il corretto funzionamento del pannello fotovoltaico per un tempo sufficiente da valerne l'acquisto, i produttori devono assicurare l'affidabilità del prodotto. Per questo motivo la commercializzazione dei moduli fotovoltaici è sottoposta a delle rigide prove che permettano l'acquisizione della certificazione europea. Il principale obiettivo delle normative dedite a tale certificazione europea è garantire la sicurezza dei prodotti che vengono commercializzati. In un secondo luogo, servono anche per verificare l'effettiva efficienza dei dispositivi in condizioni reali e per identificarne le potenziali criticità.

Per la certificazione dei moduli PV in silicio monocristallino e policristallino, per uso terrestre, la norma vigente è la **CEI EN 61215:2021**, redatta dalla CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) dal titolo "*Moduli fotovoltaici "FV" in silicio cristallino per applicazioni terrestri. Qualifica del progetto e omologazione del tipo*". Questa Norma stabilisce i requisiti per la qualificazione della progettazione di moduli fotovoltaici terrestri adatti al funzionamento a lungo termine all'aperto. Il documento si applica ai moduli piani in silicio cristallino e ai moduli a film sottile e non si applica ai moduli a concentrazione di luce solare. Obiettivo della sequenza di prove è determinare le caratteristiche elettriche e termiche del modulo e verificare, per quanto possibile entro ragionevoli limiti di costo e di tempo, che il modulo sia in grado di sopportare l'esposizione prolungata nelle condizioni descritte nel campo di applicazione. [26]

2.10 Layout impianto

La scelta del layout è fondamentale per massimizzare la produzione di energia e l'efficienza dell'impianto, ci sono vari fattori da tenere in considerazione prima della messa in opera di un impianto, e sono:

- **Orientamento:** i pannelli solari devono essere orientati verso sud per massimizzare l'irraggiamento solare. In Italia, l'orientamento ottimale è tra sud-est e sud-ovest.
- **Inclinazione:** l'inclinazione dei pannelli solari dipende dalla latitudine e dall'orientamento del sito. In Italia, l'inclinazione ottimale è tra 20° e 35°.
- **Ombreggiamenti:** è importante evitare che gli alberi, gli edifici o altri ostacoli facciano ombra sui pannelli solari.
- **Distanza tra le file:** la distanza tra le file di pannelli solari deve essere tale da garantire un'adeguata ventilazione e da evitare l'ombreggiamento reciproco.
- **Disposizione dei moduli:** i moduli fotovoltaici possono essere disposti in file parallele o in diagonale. [27]

3 Impianto FV in Civitella del Tronto: caso studio

Nei capitoli successivi verrà descritto il completamento della costruzione e la messa in esercizio dell'impianto FV ubicato in località Borrano nel Comune di Civitella del Tronto (TE) di potenza pari a 9,80450 MW.

Verrà illustrato il cambio di potenza di tale impianto grazie alla nuova tecnologia dei pannelli, che verrà spiegata nel dettaglio nel paragrafo, e l'analisi economico-finanziaria di esso, partendo dalla descrizione del mercato energetico in Abruzzo.

3.1 Il mercato dell'energia in Abruzzo

La Regione Abruzzo, grazie alle sue caratteristiche geografiche e climatiche, ha un grande potenziale per lo sviluppo delle fonti rinnovabili. Vanta un'elevata irradiazione solare, un buon regime di vento e un significativo patrimonio idroelettrico. Ogni metro quadrato del suolo riceve annualmente un flusso energetico di circa 1.500 kWh, che possono essere utilizzati per produrre energia termica (con pannelli solari termici) od elettrica (con moduli fotovoltaici). Il mercato delle risorse rinnovabili è in crescita, seppur con un ritmo inferiore rispetto alla media nazionale. Nel 2022, la nuova capacità d'energia da fonti rinnovabili installata è stata di circa 200 MW, con una prevalenza di fotovoltaico; esso, infatti, è la fonte più diffusa, con circa 1.3 GW di potenza installata. Seguo l'eolico con circa 800 MW, mentre l'idroelettrico rappresenta circa 400 MW. Le principali aziende operanti nel settore delle rinnovabili in Abruzzo sono Enel Green Power, Terna, Sorgenia e Falck Renewables. La crescita del mercato è favorita da recenti semplificazioni autorizzative, l'aumento dei prezzi del gas fossile e l'interesse crescente degli investitori.

Oggi non è più possibile destinare l'uso del terreno esclusivamente per la progettazione di un impianto fotovoltaico, ma nasce il così chiamato "agrovoltaico", che rappresenta un'importante opportunità per coniugare la produzione di energia con l'attività agricola. Così facendo si riesce a sfruttare il terreno per usi agricoli, che ovviamente permettono anche l'inserimento dei pannelli fotovoltaici, senza essere fonte di limite l'uno per l'altro. Tuttavia, bisogna tener conto anche delle sfide per realizzare ciò: ad esempio la rete elettrica in alcune zone dell'Abruzzo necessita di adeguamenti per poter gestire l'aumento di energia da fonti rinnovabili e la carenza di competenze specifiche nel settore delle rinnovabili può ostacolare lo sviluppo del mercato.

Nonostante i recenti miglioramenti, il processo autorizzativo per nuovi impianti può ancora risultare complesso e lungo, si stima che saranno necessari circa 5 miliardi di euro di investimenti per raggiungere gli obiettivi del PNIEC in Abruzzo. Il settore delle rinnovabili, inoltre, può creare nuovi posti di lavoro in Abruzzo, contribuendo allo sviluppo economico della regione, che ha adottato diverse misure per favorire lo sviluppo delle rinnovabili, come la "Strategia energetica regionale 2020-2030".

Pertanto, anche se le sfide da affrontare non sono mancati, il contesto è favorevole per una crescita sostenuta del mercato nei prossimi anni e l'Abruzzo ha le carte in regola per diventare un hub per le fonti rinnovabili in Italia, considerando anche che l'autoconsumo di energia da fonti rinnovabili può portare benefici economici e ambientali a famiglie e imprese.

Nel dettaglio del fotovoltaico, l'Abruzzo vanta un elevato potenziale per tale sviluppo, in quanto gode di un'elevata irradiazione solare, con un'insolazione media annua di oltre 2.000 kWh/m². Nel 2022, la capacità installata di fotovoltaico in Abruzzo ha raggiunto circa 1.3 GW, con un aumento di oltre il 10% rispetto al 2021, e continua ad essere in forte crescita, con un CAGR (tasso di crescita annuale composto) previsto del 7% fino al 2030.

I parchi fotovoltaici, oltre a non produrre ovviamente emissioni di gas serra, sono una fonte di energia affidabile che può generare elettricità anche in condizioni di scarsa irradianza e possono creare posti di lavoro e stimolare l'economia locale.

Bisogna sempre tener conto dei costi ingenti da sostenere per la realizzazione, anche se sono diminuiti negli ultimi anni.

Mediamente i parchi fotovoltaici ad oggi hanno un ciclo di vita di 20-25 anni, dopo di che i pannelli solari devono essere sostituiti; inoltre non hanno un rendimento del 100% dato che una parte dell'energia solare viene persa. Il vantaggio del pannello non è solo nella sua vita utile ma anche dopo, in quanto contiene alcuni materiali che possono essere riciclati, sebbene riciclaggio sia ancora complesso e costoso.

Le politiche governative a sostegno delle energie rinnovabili possono influenzare lo sviluppo dei parchi fotovoltaici, e il progresso tecnologico può portare a pannelli solari più efficienti e convenienti. In definitiva, la decisione di costruire un parco fotovoltaico deve essere presa caso per caso, valutando attentamente i potenziali vantaggi e svantaggi.

3.2 Fase di prefattibilità

3.2.1 Analisi del terreno

Nella fase iniziale della progettazione di un impianto è fondamentale capire dove realizzarlo, la potenza da impiegare, nonché mettere a punto i vari documenti.

Per prima cosa si va a fare un'analisi del terreno, ovvero una relazione geologica e sismica. In tale relazione vengono esposti i risultati del nostro caso studio, al fine di accertare la situazione litostratigrafica della successione litologica locale per elaborare un profilo su cui assegnare i parametri geotecnici di competenza in modo da evidenziare le caratteristiche del territorio e la presenza di eventuali falde acquifere che possono interessare direttamente o indirettamente le opere fondali dei manufatti.

L'area in oggetto si colloca a nord dell'abitato di Borrano e la lettura della carta geomorfologica relativa al P.A.I. ovvero la Carta della Pericolosità da Frana, mette in evidenza la presenza di un fenomeno franoso di tipo solido flusso con strato di attività "attivo" nella porzione sudorientale dell'area, ma non essendo oggetto di trasformazione non c'è pericolosità nell'installazione dell'impianto.

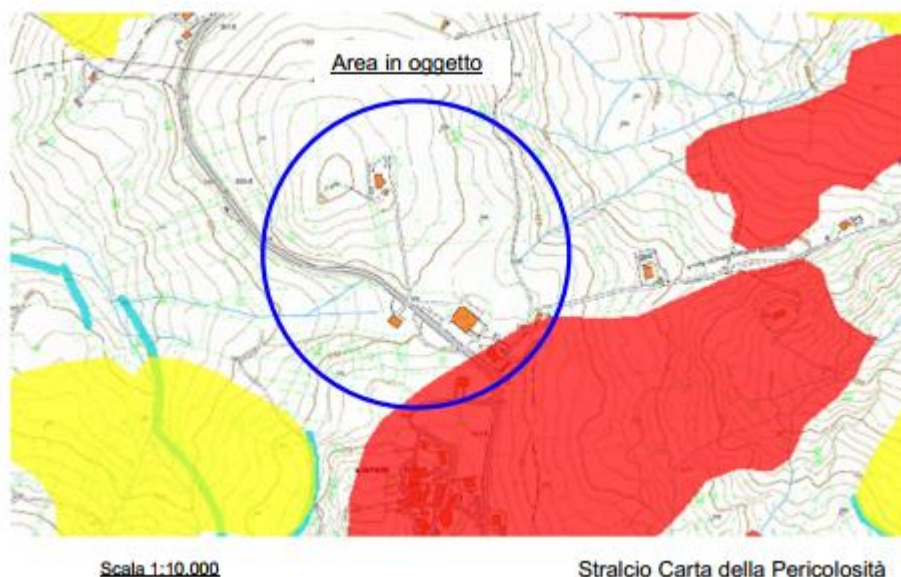


Figura 15: Stralcio Carta della Pericolosità [28]

Le zone evidenziate in giallo rappresentano una pericolosità elevata, sono aree interessate da dissesti con alta possibilità di riattivazione, mentre le aree evidenziate in rosso hanno una pericolosità molto elevata e per finire quelle bianche rappresentano il terreno libero. Come si può evincere dalla Figura

15, l'area in oggetto racchiude una piccola parte di zona rossa e tale zona non è stata impiegata nell'esercizio.

È stata anche redatta la Carta di Pericolosità Idraulica del Piano Stralcio Difesa Alluvioni della Regione Abruzzo (PSDA) e l'area non risulta interessata da pericolosità idraulica.

Per quanto riguarda la valutazione della risposta sismica locale è stata effettuata la microzonazione sismica del territorio comunale, quindi la valutazione della pericolosità sismica locale, attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo. In Figura 16, è riportato uno stralcio della carta delle microzone omogenee dove possiamo notare che la rete in oggetto appartiene alla zona 2003, quindi suscettibile di amplificazioni locali e una piccola porzione ricade nelle zone di attenzione per instabilità.

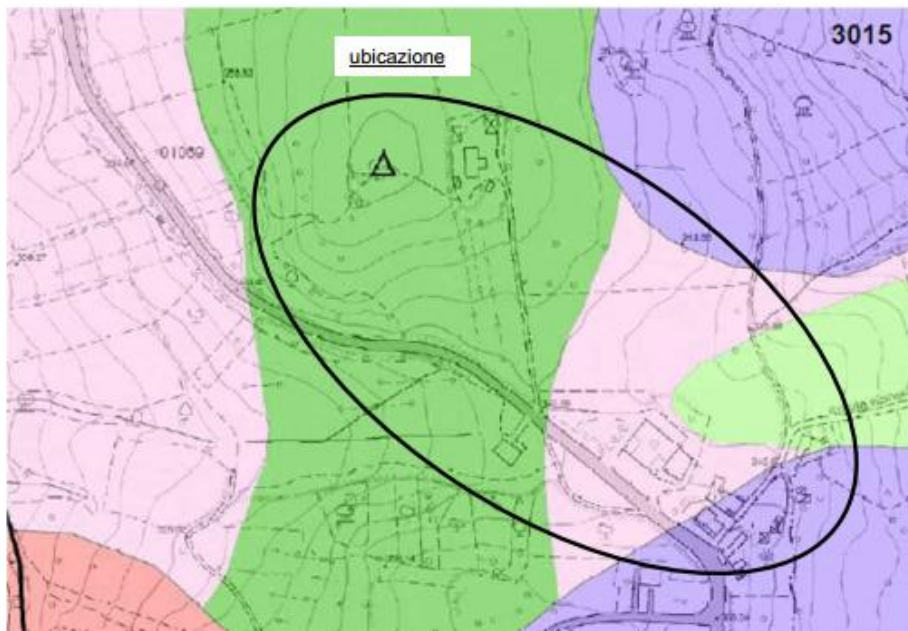




Figura 16: Stralcio della Carta delle microzone [28]

Oltre a tali informazioni è fondamentale per l'esercizio di un impianto FV avere il terreno esposto a sud e con un'inclinazione del circa 15% in modo tale da avere la maggiore esposizione possibile al sole. Questo aspetto verrà approfondito successivamente quando verrà trattato il layout dell'impianto fotovoltaico.

3.2.2 Nascita della società e documentazione

All'inizio del progetto dell'impianto del caso studio è stata creata una newco, società che tiene in pancia il progetto con il preciso scopo di cedere il diritto di superficie dell'impianto. A seconda della potenza da installare ci si allaccia al gestore Enel fino alla media tensione MT o fino a 6 MW; invece, per l'alta tensione bisogna passare al gestore Terna. Normalmente quest'ultima a differenza di Enel non ha una cabina ma dev'essere costruita per suo conto.

Dev'essere effettuata una richiesta al gestore per l'impegno della potenza stabilita e quest'ultimo risponderà chiedendo il versamento delle spese distruttore della pratica e una cauzione di valore proporzionale alla potenza richiesta. Se la richiesta è corretta il gestore concede la STMG ovvero la soluzione tecnica minima generale, come documento di prima risposta al primo corrispettivo economico.

[28] [29]

La STMG comprende:

- a) la descrizione dell'impianto di rete per la connessione corrispondente ad una delle soluzioni tecniche convenzionali stabilite dalla legge
- b) l'individuazione, tra gli impianti di rete per la connessione, delle parti che possono essere progettate e realizzate a cura del richiedente;
- c) la descrizione degli eventuali interventi sulle reti elettriche esistenti che si rendano strettamente necessari al fine del soddisfacimento della richiesta di connessione;
- d) le eventuali modalità di esercizio di carattere transitorio dell'impianto elettrico del richiedente da adottarsi per il tempo necessario alla realizzazione degli eventuali interventi di cui alla precedente lettera c);
- e) i dati necessari per la predisposizione, in funzione delle particolari caratteristiche delle aree interessate dalla connessione, della documentazione da allegare alle richieste di autorizzazione alle amministrazioni competenti elaborata a partire dalla STMG.

Deve, inoltre:

- a) in alcuni casi, essere accompagnata da una relazione che illustri le motivazioni tecniche sottostanti alla definizione di particolari condizioni e modalità di esercizio della connessione e dell'impianto del richiedente;
 - b) essere accompagnata da un documento che indichi i tempi di realizzazione degli interventi, al netto dei tempi necessari all'ottenimento delle relative autorizzazioni;
 - c) essere corredata dai costi medi corrispondenti alla soluzione tecnica convenzionale degli interventi
 - d) essere corredata dai costi medi corrispondenti alla soluzione tecnica convenzionale degli interventi
- Successivamente a questo documento, viene elargito sempre da Enel la STMG soluzione tecnica minima definitiva, che permette di avere il consenso per la connessione della potenza da immettere.

[30]

3.3 Acquisito del terreno

Il terreno su cui ubicare l'impianto può essere già di proprietà oppure può essere acquisito il diritto di superficie. In caso di acquisto del diritto di superficie viene stabilito un prezzo salvo il buon fine e il costo si aggira intorno a 3000/4000 euro/anno per ettaro. La durata del contratto fino al 2010 era di

20-25 anni, poi è divenuto di 35 grazie alle nuove tecnologie e alla durata più lunga della vita di un impianto FV.

La scelta del terreno, dopo essere ritenuta idonea dalle varie analisi geologiche, è importante anche tenere in mente la collocazione delle varie componenti del campo, per cercare di avere una disposizione la più lineare e comoda possibile. Ad esempio, è necessario considerare la distanza dalla cabina centrale su cui effettuare l'allaccio per l'immissione dell'energia prodotta. Questo aspetto è significativo in quanto è possibile ridurre, con una giusta collocazione, i costi di cablaggio ed eventualmente anche rischi di eventuali espropri.

Negli ultimi anni, inoltre, non è più consentita la destinazione del terreno per la sola progettazione del fotovoltaico, bensì con il contemporaneo uso agricolo di tale zona, il così detto agrivoltaico.

3.3.1 L'agrivoltaico

L'agrivoltaico è un sistema costituito da un impianto fotovoltaico posizionato su un terreno che viene utilizzato allo stesso tempo per attività agricole o per l'allevamento. Non si tratta solo di una condivisione di spazi, ma di una soluzione integrata in grado di generare benefici per entrambi i settori. Questa copresenza di agricoltura e pannelli solari garantisce un uso efficiente e inclusivo del suolo, promuovendo al contempo il recupero di terreni abbandonati. Questo doppio uso del suolo non intacca in alcun modo quest'ultimo. Dati alla mano di esperti non destano alcun tipo di preoccupazione: anzi l'agrivoltaico è in grado di migliorare la produttività di molte colture e di terreni inutilizzati o poco adoperati; oltre a garantire vantaggi per il mondo agricolo, vi sono vantaggi anche per la zootecnia.

I pannelli, infatti, creando un ombreggiamento del suolo sottostante consentono di risparmiare acqua di irrigazione fino al 20% e proteggono le colture dai picchi di calore e dallo stress termico. La presenza in alcuni impianti solari di sensori ad alta tecnologia può servire anche per migliorare l'attività agricola: per esempio, monitorando le sostanze nutrienti presenti nel terreno si può dosare meglio la quantità d'acqua o di fertilizzanti necessari, accrescendo così la competitività delle aziende agricole.

Tutto questo permette di tutelare la biodiversità degli ecosistemi e di proteggere gli insetti impollinatori, rivalorizzando il territorio e promuovendo lo sviluppo sociale per l'intera comunità.

Tra i tanti vantaggi, infine, genera lavoro nel settore agricolo e può costituire una fonte integrativa di reddito per gli agricoltori che mettono a disposizione i propri terreni.

L'agrivoltaico non è del tutto una novità, perché già da diversi anni sono allo studio i possibili benefici derivanti dalla conciliazione tra agricoltura e produzione di energia sostenibile. In particolare, si è iniziato a parlarne già nel 1982, con gli studi di Adolf Goetzberger, fondatore del Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE.

Il primo impianto agrivoltaico in Italia, nonché uno dei primi in Europa, con una potenza complessiva di 1 è stato realizzato in Puglia. Il numero di questi impianti è progressivamente cresciuto di anno in anno, fino al punto che oggi si ritiene siano una delle chiavi fondamentali per il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione. Nel 2021 in Italia erano installati circa 1 milione di nuovi impianti fotovoltaici (tra ambito agricolo, residenziale, industriale e terziario) e la superficie occupata da impianti a terra era di 152,1 chilometri quadrati, pari ad appena lo 0,05% del territorio nazionale. [31]

3.4 Autorizzazione Unica

Il titolo abilitativo viene rilasciato dalla Regione tramite l'AU (autorizzazione unica) e per ottenerla bisogna fare istanza di richiesta a diversi enti, circa undici. Prima di ciò dev'esserci la pubblicazione sul BURA e sui giornali, per dare massima pubblicità all'impianto da realizzare. Successivamente vengono inviati i giornali e il BURA a vari enti, quali: Comune di Civitella del Tronto, Provincia di Teramo Servizi Pianificazione e Gestione Risorse Energetiche e Atmosferiche, Regione Abruzzo Direzione Parchi-Territorio Ambiente ed Energia Servizio Gestione Rifiuti, Servizio Regionale Genio Civile, Corpo Forestale-Comando Provinciale, Regione Abruzzo Servizio Opere Marittime, Regione Abruzzo Servizio Attività Estrattive.

I vari enti possono rilasciare pareri positivi o negativi chiedendo anche integrazioni alla committenza e in copresenza gli enti si riuniscono in Regione presso l'ufficio preposto per acquisire tutti i pareri necessari e sufficienti affinché la dirigente regionale alle politiche energetiche possa rilasciare l'AU finale.

Nel documento vengono riportati i vari articoli per la costruzione ed esercizio dell'impianto.

L'autorizzazione ambientale può essere richiesta a vari livelli dalla VIA che è la più alta, alla VA che è la minima, a seconda della potenza dell'impianto. Per potenze piccole si è obbligati alla VA.

Nel nostro caso studio è stata fatta richiesta alla VIA.

4 Risultati finali del caso in esame

4.1 *Variazione sostanziale e non sostanziale*

All'autorizzazione unica possono essere apposte delle variazioni sostanziali e non sostanziali. Nel caso in esame la società ha stipulato un accordo di opzione con chi intende acquisire un Diritto di Opzione irrevocabile ed in esclusiva sul progetto per il subentro nello stesso, ed è stata fatta richiesta di una *variazione non sostanziale* in merito all'aumento di potenza a 9.804,50 kW, attraverso l'utilizzo di pannelli da 575Wp (17.052 moduli), riducendone così il numero previsti nel progetto precedentemente autorizzato (29.545 moduli), senza avere un aumento del perimetro prima occupato. Utilizzando questo nuovo pannello, il quale ha un'area di 2,72 m², si ha una massa radiante di 46.381 m².

Il non ampliamento dell'area di installazione dei pannelli fa sì che la variazione sia del tipo non sostanziale.

Preso atto da parte della Regione di tale variazione tramite degli allegati all'istanza, comprendente gli elaborati tecnici di: "Layout autorizzato con Autorizzazione Unica", "layout di variante" e "schemi unifilari generale e delle cabine aggiornati", è stato rilasciato un ulteriore documento di accettazione della regolarità tecnico-amministrativa della procedura seguita.

Inoltre, sono previste variazioni sui trasformatori e cabina per adeguarli alla nuova tecnologia e all'aumento di potenza prevista, che sarà illustrato durante la descrizione dell'impianto.

[28]

4.2 *Descrizione dell'impianto FV*

L'impianto FV occupa la porzione di terreno decliviante a Sud - Est con angolo di sfasamento medio rispetto al Sud pari a circa 10°, con perfetta esposizione. Il terreno utilizzato per l'installazione è ad uso agricolo, la disposizione dei moduli è stata ipotizzata per file singole, seguendo linee iso-altimetriche, in modo da rendere non necessario nessuna particolare preparazione o mutamento dello stato attuale dei terreni. [28]

4.2.1 Struttura di fissaggio

Il fissaggio dei moduli fotovoltaici avviene mediante sottostruttura in materiale metallico resistente agli agenti atmosferici, fissato a terra mediante pali di fondazione infissi. Sopra di essa verrà collocata la struttura di sostegno e fissaggio dei moduli realizzata a gabbia. La scelta delle singole file di moduli fa in modo di consentire il passaggio di installatori e manutentori fra un gruppo di moduli e l'altro la manutenzione dell'impianto chiede, inoltre, consente di minimizzare l'impatto sul terreno della sottostruttura. Sono stati anche previsti corridoi di maggiore larghezza in modo da consentire il passaggio di mezzi agricoli. [28]

4.2.2 Rete elettrica e connessione all'impianto

La potenza complessiva dell'impianto progettato risultava inizialmente pari a 6,5 MW, ma grazie alla variazione non sostanziale si è arrivati a 9,8 MW. Con la nuova soluzione, suddivisa in tre aree, si prevede due aree ad inseguimento (per una potenza installata di 6.713,70 kW) con sistema monoassiale Est-Ovest ed un'area con impianto fisso (per una potenza di 3.091,20 kW) con vele da tre pannelli orizzontali. Non varia invece la parte di impianto compresa tra inverter e connessione alla rete MT, composta da interruttori generali di bassa tensione, uno per inverter, 3 trasformatori in parallelo da 2500 kVA l'uno, Interruttori MT di protezione trasformatori, dispositivi di interfaccia in MT secondo DK 5760, celle di misura e dispositivo generale, secondo DK 5600.

Tale impianto prevede allaccio alla rete ENEL distribuzione e Terna, essendo presenti una linea di media ed una di alta tensione all'interno del terreno. Sono installati e distribuiti nell'area occupata dall'impianto quadri di campo in corrente continua per il sezionamento dell'impianto medesimo.

Nella soluzione precedente autorizzata, la parte di impianto in MT prevedeva un interruttore generale a valle del trasformatore da 8 MVA, con protezione generale ed interfaccia, questa soluzione viene modificata come segue; a valle del trasformatore è previsto:

- una unità con interruttore generale di macchina;
- una unità TV;
- una unità con scaricatori di tensione 20 KV;
- una unità per protezione trasformatore di sottostazione;
- una unità di interfaccia impianto;

- una unità per partenza linea verso il campo FV.

All'interno del campo fotovoltaico saranno installate 3 cabine di conversione, una per ogni zona. Per ogni cabina di conversione è prevista:

- arrivo linea MT e partenza;
- protezione trasformatore;
- trasformatore da 3150 KVA, 20 KV/600 V;
- quadro per alimentazione inverter.

Il tutto viene alimentato dall'unità predisposta in sottostazione, con linea in cavidotto interrato $3 \times 1 \times 185 \text{ m}^2$. il trasformatore installato in sottostazione, il quale alimenta il campo fotovoltaico è di potenza pari a 8 MW di tipo in olio, con raffreddamento ONAN. Per consentire l'aumento della potenza dell'impianto senza andare a sostituire il trasformatore esistente, verranno installati dei ventilatori forzati. Con questa soluzione il trasformatore diventerà di tipo ONAF (raffreddamento per circolazione naturale dell'olio e dell'aria forzata), in modo da essere coerente con l'aumento della potenza prevista.

Per quanto riguarda i convertitori DC/AC, in precedenza erano di tipo centralizzato; in variazione si prevedono inverter distribuiti di potenza pari a 150 kW, modello SMA, con tensione massima in CC di 1500, alimentazione in alternata di 600 V. Questi inverter saranno installati all'esterno delle cabine di conversione, su strutture costruite per proteggere le apparecchiature dalle intemperie.

Per la corrente continua, le connessioni sono effettuate tramite cavi solari del tipo FG21M21, con sezione pari a 6 mmq, dimensionati tenendo conto della portata necessaria e dei limiti di caduta di tensione al di sotto dell'1%.

Tra i quadri stringa e l'inverter, saranno utilizzati cavi in alluminio flessibile del tipo AFG16M16, posti all'interno di cavidotti interrati, di sezione e lunghezze adeguatamente dimensionati. Per ogni cabina è prevista una rete di terra esterna, realizzata con conduttore in rame nudo con sezione $1 \times 95 \text{ mmq}$, mentre per la linea di terra tra le singole cabine e la "Cabina O" verrà utilizzata una corda rivestita connessa alle barre equipotenziali. [28]

Le sottostrutture metalliche saranno collegate a terra tramite una corda in alluminio nuda connessa alla bandella equipotenziale di ogni singola cabina.

In Figura 17 viene riportata un'idea di layout ottimizzata per l'impianto in analisi:

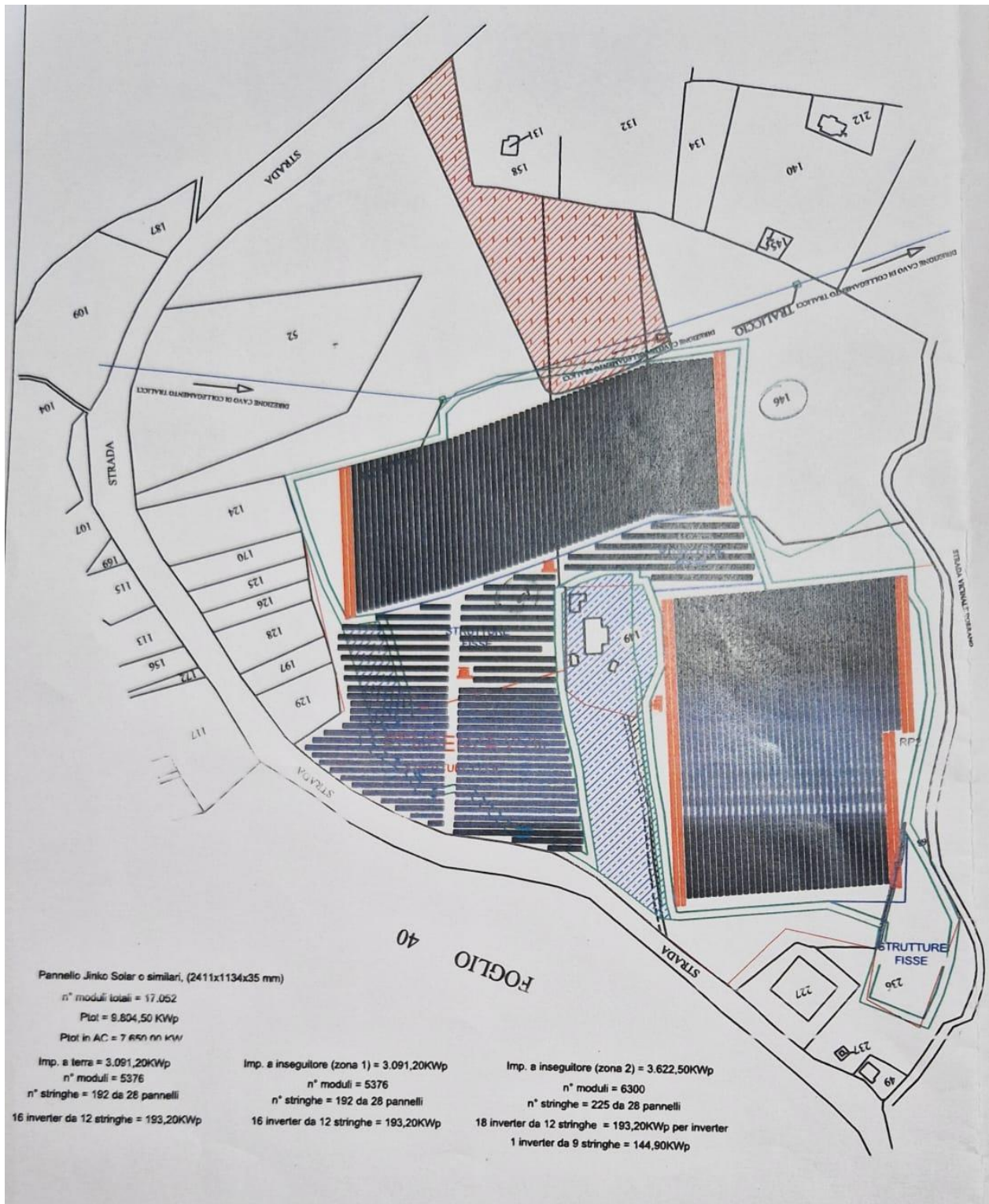


Figura 17: Layout impianto [27]

Il parco è esposto a Sud, i pannelli presentano un'inclinazione opportuna a seconda delle irregolarità del terreno e dell'inclinazione del medesimo, così come la distanza tra le file per mantenere costante l'angolo d'ombra.

4.2.3 Ciclo produttivo

Trattandosi di un impianto fisso l'attività produttiva risulta molto semplice. Il funzionamento si basa sul principio fotovoltaico, per cui il semiconduttore produce energia elettrica in corrente continua. La potenza prodotta in corrente continua viene convertita in alternata dagli inverter. In tutto il processo produttivo, quindi, non c'è l'impiego del personale o di organi in movimento, per cui le uniche mansioni che si rendono necessarie, sono quelle relative al controllo e manutenzione dell'impianto, che di fatto si riduce per la grande maggioranza dei casi alla pulizia dei moduli costituenti l'impianto. Dalla norma UNI 10349, si rileva che il valore di radiazione solare media annua sul piano orizzontale per la provincia di Teramo risulta essere di 1487 kWh/m; sono stati eseguiti i calcoli di producibilità dell'impianto secondo la medesima norma, con opportuni coefficienti di correzione per moduli inclinati di 30° rispetto a sud. Le perdite complessive del sistema sono così stimabili:

- perdite per effetto della temperatura: 6%;
- perdite per dissimmetria nelle prestazioni: 2%;
- perdite per ombreggiamento: 3%;
- perdite per riflessione: 2%;
- perdite nei circuiti a corrente continua: 3%;
- perdite per conduzione in corrente alternata: 2%;
- perdite di conversione nel l'inverter: 6%;

La produzione annua prevista per questo impianto è di circa 8.300,5 MWh.

Trattandosi di un impianto di produzione di energia elettrica, il consumo dell'energia è limitato agli ausiliari di funzionamento ed alle utilità di impianto. A loro volta gli ausiliari sono limitati ai circuiti di inverter e quadro di interfaccia e si possono stimare in circa l'1% della produzione. Le utilità di impianto sono invece le utenze necessarie per manutenzione e funzionamento regolare dell'impianto; tra queste l'illuminazione o le pompe per l'utilizzo di acqua piovana, appositamente raccolta con un sistema di autoclavi, per pulire i moduli. I consumi per le utilità di impianto si possono stimare in circa lo 0,5% della produzione totale.

Il consumo totale annuo di energia elettrica è dunque stimabile in circa 120.000 kWh. [28]

4.2.4 Pannelli iTracker

Caratteristiche meccaniche

Il pannello tracker utilizzato nell'impianto è un inseguitore solare orizzontale monoassiale, monofila, progettato per ospitare un modulo fotovoltaico in configurazione portrait oppure in configurazione lanscape.

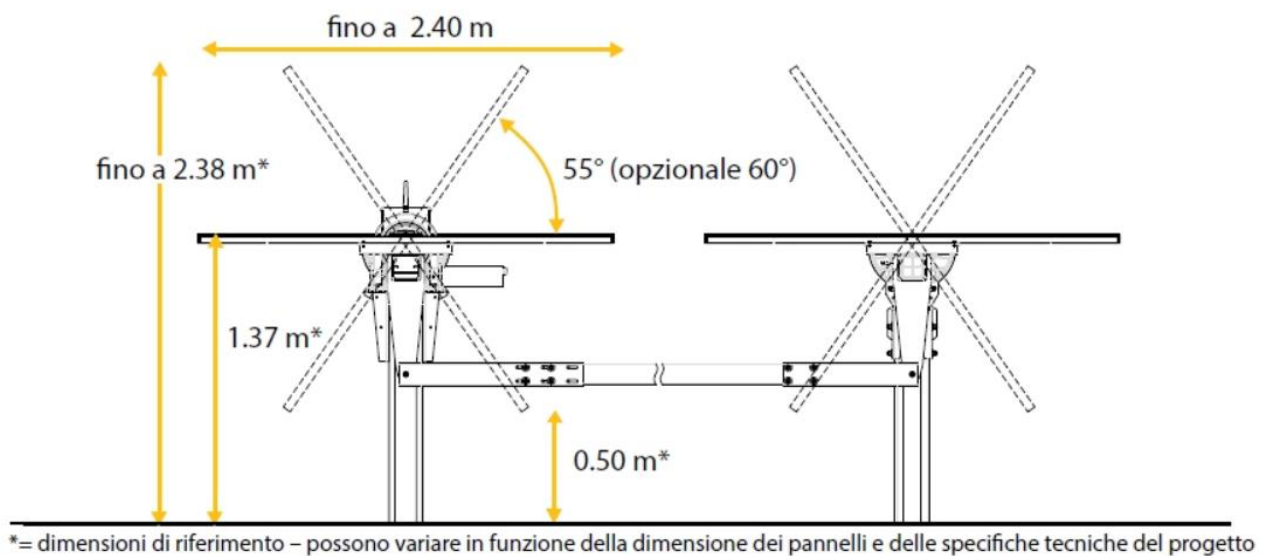


Figura 18: Ingombri dell'iTrackerWL [32]

L'innovazione risiede nel cuscinetto che permette una rotazione attorno ad un asse virtuale che corrisponde al centro di massa dei componenti rotanti. Questo sistema bilanciato implica una serie di vantaggi: permette di evitare errori di inseguimento all'estremità degli inseguitori più lunghi dovuti all'eccentricità; riduce al minimo il consumo di energia per la rotazione; e garantisce un elevato fattore di smorzamento intrinseco al cuscinetto che riduce le vibrazioni torsionali e il rischio di galloping. In Figura 19 vengono riportate le specifiche tecniche del Tracker.

SPECIFICHE TECNICHE PRINCIPALI

| | |
|-----------------------------------|---|
| Tipologia di tracker: | Inseguitore solare orizzontale monoassiale indipendente; Possibile qualsiasi azimuth (idealmente 0°); |
| Algoritmo di tracking: | Formule astronomiche accurate; precisione di tracking = 1.0°. Backtracking 3D individuale, adattabilità al profilo del terreno |
| Range di rotazione: | Standard ±55°; opzione ±60° disponibile. |
| Ground cover ratio: | Liberamente configurabile dal cliente (tra 34% e 50%) |
| Moduli compatibili: | Moduli con frame; Tutte le principali marche |
| Montaggio del modulo: | 1 modulo portrait; 2 moduli landscape |
| Movimentazione: | 1 motore indipendente per tracker |
| Potenza di picco per tracker | 45 kWp (considerando moduli da 500 Wp) |
| N° di Moduli per tracker: | Fino a 90 moduli a 72 celle (1500 V) |
| Voltaggio campo fotovoltaico: | 1000 V o 1500 V |
| Alimentazione elettrica: | Autoalimentato con apposito pannellino fotovoltaico e con batterie Li-FePO ₄ |
| Comunicazione: | Rete radio wireless Soltigua (optional: comunicazione seriale RS485 dedicata) |
| Monitoraggio: | Controllo locale tramite SCADA; Controllo remoto disponibile |
| Tipo di fondazioni: | Standard: palo infisso; compatibile anche con: fondazioni fuori terra (blocchi di cemento); viti a terra |
| Resistenza al vento (Eurocodici): | Operativa: fino a 80 km/h in qualsiasi posizione; Posizione di sicurezza: fino a 200+ km/h in posizione di sicurezza. |
| Resistenza alla neve: | Fino a 1.500 N/m ² ; in base della versione di tracker |
| Tempo di chiusura del tracker: | ≤ 6 min; 3.5 min in media |
| Tolleranze d'installazione: | Nord Sud: ±40 mm; Est-Ovest: ±40 mm palo standard; ±28 mm palo motore; Verticale: ±45 mm; Inclinazione: ±1°; Twist: ±7,5° |
| Pendenza del terreno: | Max. 15% di pendenza in direzione longitudinale (Nord- Sud); disponibile opzione max. 20% di pendenza; Qualsiasi pendenza in direzione trasversale (Est-Ovest) [max. 70% pendenza locale per consentire la rotazione]; Deviazione dal piano teorico del terreno ±100 mm |
| Installazione: | Progettato per un assemblaggio rapido e semplice; nessuna saldatura o foratura richiesta in loco |
| Materiali: | HDG, Z e ZM acciaio da costruzione; Cuscinetti esenti da manutenzione; Manutenzione triennale per il motore |
| Certificazioni/Conformità: | CE 2006/42/UE; Eurocodici EN1991-1-1/3/4; LV 2014/35/UE; EMC 2014/30/UE ; ISO 9001-2015 e ISO 14001-2015; IEC 62817:2017 |
| Garanzia: | Struttura: 10 anni; Motore, batterie ed elettronica: 5 anni; Corrosione: 30 anni in categoria C2; Disponibile estensione di garanzia |
| Messa a terra: | La struttura rotante è messa a terra tramite il palo motorizzato; le cornici dei moduli FV sono connesse alla struttura rotante con n.1 star washer per ogni modulo. |

Figura 19: Specifiche tecniche iTracker [32]

Caratteristiche strutturali

La struttura di supporto è realizzata in acciaio e i componenti strutturali ovvero trave, pali e bracci sono zincati accanto secondo la norma ISO 1461 o secondo la norma ISO 3575. I bracci di supporto dei pannelli possono anche essere realizzati in Magnelis, un rivestimento in Zinco-Alluminio-Magnesio applicato sempre tramite bagno a caldo. Per tutti i moduli la lunghezza dei bracci supporto considera una distanza tra i fori di montaggio di 400 mm e una distanza tra moduli e adiacenti maggiore o uguale di 10 mm. La garanzia standard dei componenti strutturali è trent'anni in base alla categoria di corrosione.

Architettura wireless

Il sistema di controllo wireless dell'iTracker consente ai clienti di evitare le attività di cablaggio in loco sia per l'alimentazione che per la comunicazione, mantenendo un sistema reattivo ed affidabile. L'alimentazione del motore è fornita da un piccolo modulo installato sul tracker che alimenta una batteria di ioni di litio di lunga durata. La comunicazione gestita da un'infrastruttura sub-GHz che rappresenta numerosi vantaggi rispetto alle soluzioni basate su Wi-Fi:

- lungo raggio d'azione (oltre 200 m di comunicazione diretta);
- basso consumo elettrico;
- basso consumo energetico;
- meno rumore e miglior campo nelle aree con interferenze dovute alla riflessione del segnale.

Il sistema di controllo include tutte le funzioni intelligenti standard tra cui un preciso algoritmo di inseguimento e puntamento del sole; la funzione di back-tracking personalizzata in grado di adattarsi a terreni irregolari; un inclinometro incorporato per una misurazione precisa dell'angolo di un inseguimento; un caricabatterie con algoritmo ottimizzato e diagnostica dei parametri del tracker; avviamento rapido e il monitoraggio locale tramite l'app per smartphone Android che comunica con l'NFC del quadro bordo macchina.

Il sistema di controllo centrale gestisce in automatico il ciclo di inseguimento incluse le procedure di sicurezza e i comandi manuali leggendo:

- ricevitori GPS;
- sensore di temperatura ambiente;
- sensore di velocità del vento;
- sensore di direzione del vento;
- sensore altezza neve.

Il controller industriale, situato nel Tracker Control Panel (TCP), gestisce i tracker i quali sono generalmente divisi in sottocampi. Il controller comunica via radio con il Tracker Panels (TP) attraverso un Root Panel (RP) dedicato per ogni sottocampo e collegato all'antenna principale che a sua volta comunica con i tracker che costituiscono i nodi del sottocampo. Il RP può essere alimentato sia direttamente dal TCP che è dotato di un proprio modulo fotovoltaico e di una batteria back-up in caso di troppa distanza dal TCP. In Figura 20 sono riportati i range di temperatura ammessi per ogni componente:

| Pannello | Temperatura | Umidità |
|-----------------------------|-------------|-------------------------|
| Tracker Panel (TP) | -20..+50°C | Max 90%, senza condensa |
| Root Panel (RP) | | |
| Tracker Control Panel (TCP) | 0..+40°C | |

Figura 20: Range di temperatura operativi ammessi [32]

4.3 Studio impatto ambientale

Inquinamento dell'aria, dell'acqua e del suolo

La produzione di energia da fotovoltaico è del tutto assente da qualsiasi tipo di emissione in atmosfera. Il ciclo produttivo e non causa alcun inquinamento delle acque superficiali e sotterranee, poiché, l'unica acqua utilizzata sarà quella piovana destinata della pulizia dei moduli. Nel sito in esame non sono stati riscontrati presenze di falde né segnalate vicinanza con acqua destinate al consumo umano. Per quanto riguarda il suolo, attualmente destinato ad uso agricolo, verrà occupato e utilizzato solo per il tempo limitato alla durata di vita dell'impianto, senza comportare modificazioni e/o perdite definitive della risorsa. L'area di intervento, inoltre, essendo inserita in un contesto agricolo, si colloca a notevole distanza dai centri urbani e pertanto l'impatto visivo dello stesso è del tutto trascurabile.

Rumore

Gli unici componenti rumorosi sono inverter e trasformatori che producono livelli di rumore paragonabili a quelli di una normale cabina MT-BT d'utente, per cui l'impatto acustico dell'impianto è assolutamente trascurabile.

Rifiuti

Le sole attività che producono rifiuti sono l'installazione e lo smaltimento dell'impianto stesso. In particolare, durante l'installazione verranno prodotti i rifiuti da imballaggi, presumibilmente cartone e plastica che verranno successivamente smaltiti secondo le procedure stabilite dal D.lgs 152/06; mentre a fine ciclo vitale i pannelli saranno smaltiti secondo le procedure stabilite dalla normativa vigente al momento. La generazione di energia elettrica durante la vita dell'impianto non prevede la produzione di alcun tipo di rifiuto e di sostanze nocive. Uno degli indicatori generalmente utilizzato per valutare la condizione ambientale di un territorio e la qualità dell'aria, che può essere alterato dall'emissione di inquinanti di tipo primario (immessi direttamente in atmosfera nella loro forma finale) o secondario (prodotto per reazione). Nel caso del progetto in esame l'impatto sull'area è nullo.

Vibrazione, luce, calore e radiazioni

Il ciclo produttivo non produce né radiazioni né vibrazioni, ma possono esserci ripercussioni sulla luminosità dell'area riflettendo parte della radiazione solare e contribuendo al riscaldamento dell'aria. Tuttavia, le normali condizioni verranno comunque ripristinate al momento della dismissione dell'impianto.

Se da un lato l'opera non ha nessun impatto sui fattori meteorologici, dall'altro, la produttività dell'impianto è condizionata da questi e in particolare dalle condizioni di irraggiamento. La posizione del sito, lontana dalla costa è pertanto più riparata rispetto a possibili grandinate estive, ed essendo lontana dai monti e meno soggetta a nevicata, è in una posizione ideale per massimizzare la resa dell'impianto.

Smaltimento

Il suolo occupato verrà reso disponibile al momento della dismissione dell'impianto, che avverrà tra i 20 e i 40 anni, con ripristino e restituzione alla sua originaria destinazione d'uso. Sarà sufficiente smontare pannelli, sottostrutture, e le altre installazioni fisse utili al ciclo produttivo. L'intervento maggiore consisterà nella rimozione delle opere di fondazione alla base dei moduli, probabilmente tramite scavatori. La scarsa esposizione al sole del terreno sottoposto ai pannelli darà luogo alla formazione di un suolo che vede la crescita di pochissima essenza erbacea, che verranno tagliate manualmente dai custodi dell'impianto; questo consentirà nel tempo di conservare le caratteristiche organolettiche del terreno. Tuttavia, dopo lo smaltimento dell'impianto il terreno verrà sottoposto a un trattamento di tipo organico per riattivare la produttività e ripristinare le condizioni iniziali.

La realizzazione dell'impianto non avrà effetti negativi rilevanti, bensì in modo indiretto contribuirà a ridurre la dipendenza dei combustibili fossili limitando le emissioni di CO₂ in atmosfera. [28]

4.4 Analisi economico – finanziaria

Il bilancio d'esercizio è l'insieme dei documenti contabili che un'impresa deve redigere periodicamente, ai sensi di legge, allo scopo di perseguire il principio di verità ed accertare in modo chiaro, veritiero e corretto la propria situazione patrimoniale e finanziaria, al termine del periodo amministrativo di riferimento, nonché il risultato economico dell'esercizio stesso.

Ci sono indici di bilancio che permettono di ricavare dal bilancio riclassificato un giudizio sul profilo economico-finanziario dell'impresa; nel nostro caso dell'impianto. Possono essere classificati in 3 diverse categorie:

- Indici di redditività;
- Indici di liquidità
- Indici di struttura finanziaria.

Nel dettaglio, gli indici calcolati sono:

- 1) **ROE (Return on Equity):** misura la redditività del capitale proprio, ossia quanto utile viene generato per ogni euro investito dagli azionisti.
ROE = Utile netto / Patrimonio netto. Valore positivo: indica che l'azienda sta generando un buon ritorno sul capitale investito. Valore negativo: indica che l'azienda sta perdendo denaro per ogni euro investito.
- 2) **ROI (Return on Investment):** misura la redditività di un investimento, ossia quanto utile viene generato per ogni euro investito.
ROI = Utile netto / Investimento. Valore positivo: indica che l'investimento sta generando un ritorno positivo. Valore negativo: indica che l'investimento sta generando una perdita.
- 3) **ROS (Return on Sales):** misura la redditività delle vendite, ossia quanto utile viene generato per ogni euro di fatturato.
ROS = Utile operativo / Ricavi netti. Valore positivo: indica che l'azienda sta generando un buon margine di profitto sulle vendite. Valore negativo: indica che l'azienda sta perdendo denaro su ogni euro di vendita.
- 4) **Indice di Rotazione degli Impieghi:** misura la velocità con cui l'azienda converte le sue attività in liquidità.
Diversi indici di rotazione misurano la velocità di conversione di diverse attività, come il magazzino, i crediti commerciali e le immobilizzazioni.
Valore alto: indica che l'azienda sta gestendo le sue attività in modo efficiente. Valore basso: indica che l'azienda potrebbe avere difficoltà a generare liquidità.

- 5) **Leverage:** misura l'utilizzo del debito da parte dell'azienda per finanziare le sue attività. Diversi indici di leverage misurano l'ammontare del debito rispetto al capitale proprio, all'EBITDA o al patrimonio netto. Valore alto: indica che l'azienda sta utilizzando un'alta leva finanziaria, il che può aumentare il rischio finanziario. Valore basso: indica che l'azienda sta utilizzando una bassa leva finanziaria, il che può ridurre il rischio finanziario.

Come possiamo notare in Figura 21, sono stati riportati i calcoli degli indici precedentemente elencati dell'impianto in esame; tutti gli indici hanno nel corso degli anni una previsione in crescita, mentre l'indice di indebitamento è decrescente; ciò porta ad affermare la convenienza della creazione di tale sito anche da un punto di vista economico oltre che ambientale.

| Descrizione | Sigla | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 |
|--|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Tasso di rendimento del Capitale Proprio | ROE | 17,600 | 30,149 | 31,807 | 34,443 | 38,072 |
| Tasso di rendimento del Capitale Investito | ROI | 0,123 | 0,137 | 0,150 | 0,161 | 0,175 |
| Tasso di rendimento Lordo delle Vendite | ROS | 0,739 | 0,744 | 0,749 | 0,757 | 0,766 |
| Indice di Rotazione degli Impieghi | Ind. R. | 0,167 | 0,184 | 0,200 | 0,213 | 0,229 |
| Indice di Indebitamento | Leverage | 492,312 | 451,694 | 422,672 | 409,495 | 397,636 |

Figura 21: Analisi per indici [27]

Un altro parametro fondamentale da considerare è il punto di pareggio o break even point, rappresentato nella Figura 22 sottostante. Nelle ascisse viene riportato in migliaia la produzione di MW, mentre nelle ordinate in milioni c'è l'importo di vendita. Il punto di pareggio corrisponde all'uguaglianza tra costi e ricavi ed è dato dal punto di intersezione tra la retta dei costi e quella dei ricavi, è importante in quanto in quel punto non viene generato alcun profitto o perdita. È un indicatore rilevante del successo di un'attività, sia nella fase di start-up, che nella gestione continuativa. Superato il punto di pareggio si avrà un profitto, al di sotto dove si incomberebbe in una perdita. [27] [33] [34] [35]

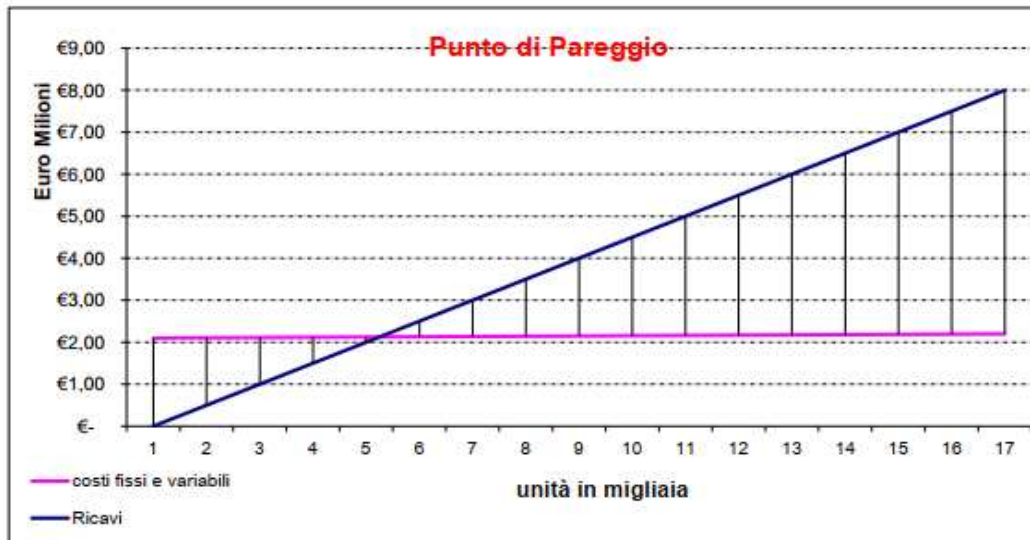


Figura 22: Punto di pareggio [27]

5 Conclusione

La transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio richiede un impegno globale per adottare e sviluppare fonti di energia pulita. Attraverso la diversificazione dell'approvvigionamento energetico, la riduzione delle emissioni di gas serra, la creazione di posti di lavoro e lo sviluppo economico sostenibile, l'utilizzo delle energie rinnovabili offre una soluzione concreta per preservare il nostro pianeta. Il cambio del gestore dell'energia elettrica verso uno che supporta le energie rinnovabili può essere un passo importante per raggiungere. La trattazione iniziale sui vari provvedimenti per combattere le emissioni e in particolare citare l'importanza dell'energia solare, sono stati necessari per comprendere meglio il potenziale dei campi fotovoltaici, cuore di questo elaborato. Il sito in Civitella del Tronto è un esempio di come si possano ridurre le emissioni di CO₂ riuscendo a sfruttare una risorsa rinnovabile al costo di un impatto ambientale quasi trascurabile, grazie soprattutto alle nuove tecnologie sempre più innovative, che si vedono protagoniste in questo impianto fotovoltaico tramite i pannelli. Soltanto attraverso uno sforzo collettivo possiamo affrontare efficacemente i problemi climatici e costruire un futuro migliore per le generazioni a venire. [36]

6 Bibliografia

- [1] Tratto da Unric: <https://unric.org/it/obiettivo-7-assicurare-a-tutti-laccesso-a-sistemi-di-energia-economici-affidabili-sostenibili-e-moderni/>
- [2] Tratto da VIVI energia: <https://www.vivienergia.it/casa/vivipedia/consigli-di-risparmio/energie-rinnovabili-cosa-sono-e-come-funzionano>
- [3] Tratto da Enel Green Power: <https://www.dday.it/redazione/44973/energia-fonti-rinnovabili-italia-2022>
- [4] Tratto da IEA 50: <https://www.iea.org/energy-system/renewables#tracking>
- [5] Tratto da Affari europei: <https://www.affarieuropei.gov.it/it/comunicazione/euroacronimi/cop-1/>
- [6] Tratto da EDA: <https://www.eda.admin.ch/agenda2030/it/home/agenda-2030/globaler-kompass-fuer-nachhaltige-Entwicklung.html>
- Tratto da ENEA: <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=Fonti+energetiche+rinnovabili+-+ENEA+-+Dipartimento+Unit%C3%A0+per+l%27efficienza+energetica>
- [7] Tratto da UNFCCC: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
- [8] Tratto da Unfcc: <https://unfccc.int/It-leds-synthesis-report#Mitigation-measures>
- [9] Tratto da UNFCCC: <https://unfccc.int/It-leds-synthesis-report>
- [10] Slide fonti energetiche
- [11] https://www.unirc.it/documentazione/materiale_didattico/599_2012_327_14541.pdf
- [12] Tratto da Sorgenia: <https://www.sorgenia.it/guida-energia/energia-solare>
- [13] Tratto da soluzione solare: <https://soluzionesolare.it/guide/piranometro/>

[14] Tratto da CISM: https://www.cism.it/media/filer_public/88/ae/88ae4b78-75af-4f9d-bb77-6471db915e83/captazione_energia_solare.pdf

[15] <https://biblus.acca.it/rapporto-gse-del-solare-fotovoltaico-2019/>

[16] https://www.researchgate.net/figure/Figura-12-Rappresentazione-delle-bande-di-conducibilita-e-di-valenza-e-del-loro-gap_fig1_309399147

[17] Tratto da Unipd: https://thesis.unipd.it/retrieve/242c54b1-d1c1-4922-94cc-067923d3c525/I_Sistemi_Fotovoltaici.pdf

Tratto da Thesis: <https://thesis.unipd.it/handle/20.500.12608/52384>

Tratto da it.dsnsolar.com: <https://it.dsnsolar.com/info/advantages-and-disadvantages-of-gaas-solar-cel-54235653.html>

Tratto da Enel X: <https://corporate.enelx.com/it/question-and-answers/how-does-a-photovoltaic-system-work>

[18] <https://www.strumentazioneelettronica.it/tecnologie/analog-test/caratteristiche-delle-celle-solari-20100318423/>

[19] Tratto da idrovolante: <https://www.idrovolante.org/post/drogaggio-silicio/>

[20] Tratto da Otovo: <https://www.otovo.it/blog/celle-fotovoltaiche/>

[21] Tratto da Elmecsolar: <https://www.elmecsolar.com/tipologia-pannelli-fotovoltaici-quantitativi-tipi-di-pannelli-fotovoltaici-esistono/>

[22] Tratto da T-Green: <https://www.tgreen.it/caratteristiche-pannelli-fotovoltaici#caratteristiche>

Tratto da Technical Application: [Technical Application Papers No.10 - Photovoltaic plants \(abb.com\)](http://www.abb.com/Technical_Application_Papers_No.10_-_Photovoltaic_plants)

[23] Tratto da stepignotti:

http://www.stepignotti.com/prodotti/pannelli_fotovoltaici/tutto_fotovoltaico/tipi_impianto/inseguitori_solari.asp

<file:///C:/Users/Asus/Downloads/MITEPUAREL019A0.pdf>

[24] Tratto da ICS: <file:///C:/Users/Asus/Downloads/MITEPUAREL019A0.pdf>
https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/21035/1/2011_07_Gattico.pdf

[25] Tratto da Consulente energia: <http://www.consulente-energia.com/fotovoltaico-vari-tipi-tipologie-modelli-inseguitori-solari.html>

Tratto da thesis and dissertation padua archive: <https://thesis.unipd.it/handle/20.500.12608/52384>

[26] Tratto da Magazine qualità: <https://mycatalogo.ceinorme.it/cei/item/0000018229?sso=y>

[27] Tratto dal Business Plan dell'impianto

[28] Tratto da Regione Abruzzo: <https://www.regione.abruzzo.it/content/completamento-di-costruzione-e-esercizio-di-un-impianto-fotovoltaico-di-potenza-pari-980450>

[29] Tratto da Regione Abruzzo:
<https://www.regione.abruzzo.it/xAraen/docs/documentiInfo/GuidaSolareTermico.pdf>

[30] Tratto da bollettino di legislazione tecnica: <https://legislazionetecnica.it/node/1480363>

[31] Tratto da Enel green power:
<https://www.enelgreenpower.com/it/media/news/2023/03/agrivoltaico-italia>

[32] Tratto da Soltigua: <https://www.soltigua.com/itracker-wl/?lang=it>

[33] Tratto da Registro imprese: <https://www.registroimprese.it/bilancio-d-esercizio>

[34] Tratto da farenumeri: <https://farenumeri.it/indici-di-bilancio-formule/>

[35] Tratto da Headvisor srl: <https://www.headvisor.it/break-even-point-bep>

[36] Tratto da Ambiente e non solo: <https://ambientenonsolo.com/limportanza-delle-energie-rinnovabili-per-contrastare-i-problemi-climatici/>