



**Solar Systems sas**

Progettazione & Costruzione Sistemi Per L' Energie Rinnovabili

# Progettazione di sistemi con energie rinnovabili per applicazioni Off-Shore



**Solar Systems sas**

Gino Fiorucci

Email [dafiorucci@tin.it](mailto:dafiorucci@tin.it) ☎ 338/9967087



## Indice

- 1) **Informazioni generali**
- 2) **Dati di progetto**
- 3) **Riferimenti per la radiazione solare**
- 4) **Programmi di calcolo**
- 5) **Ingegneria di sistema**
- 6) **Esempi d'applicazioni**
- 7) **Comparazione con applicazioni domestiche  
( 10.000 Tetti Fotovoltaici )**

### **BIBLIOGRAFIA:**

ARCO Solar , Inc. : design manual volume 1 System sizing  
CNDR :( Centre of Natural Resources Canada) Photovoltaic Project  
ATLAS : European solar radiation  
Solarex Corporation : World Design Insolation  
ATREONAUTICA MILITARE : Soleggiamento e radiazione globale in Italia  
Eni-Agip : Specifiche per generatori fotovoltaici



## 1) Informazioni generali

Il settore petrol-chimico e quello dell'estrazione , sono sicuramente gli ambienti dove l'applicazione delle fonti energetiche rinnovabili , con particolare risalto per il fotovoltaico ed eolico , hanno trovato la loro prima applicazione.

La richiesta d'energia elettrica in località remote non raggiungibili dalla rete elettrica , ha portato alla sperimentazione ( iniziale) di nuove sorgenti che successivamente hanno risposto in pieno alle esigenze dell'utenza.

Non va sottovalutato il fatto che , nel contempo , tutti hanno collaborato ha ridurre fortemente i consumi dei vari equipaggiamenti utilizzati in off-shore , consentendo così il diffondersi d'impianti sia autonomi che supportati con generatori ausiliari d'emergenza.

La scelta progettuale di integrare il fotovoltaico con altre sorgenti d'alimentazione deriva principalmente dalla ridotta disponibilità di spazi sufficienti ( installazione dei pannelli ) e non da meno , dal costo notevole dei moduli fotovoltaici.

Per rendere l'idea dello spazio necessario all' installazione di 1Kwp di pannelli fotovoltaici è sufficiente ricordare che il rendimento del fotovoltaico è di circa il 12/15 % ; quindi per la potenza sopra menzionata possono occorrere da 15 a 20 m<sup>2</sup> di superficie.

In alcuni casi si è cercato di integrare la generazione fotovoltaica con quell'eolica , lo scopo era di poter generare energia anche in caso di condizioni di "non sole".

Purtroppo quest'integrazione non sempre ha raggiunto lo scopo , in modo particolare per tutti quei siti d'installazione , dove nell'arco dell'anno il "non sole" corrisponde a condizioni di nebbia.

E' risaputo che la nebbia persiste finche non intervengono correnti d'aria che rimuovono la situazione, quindi l'integrazione eolica ( nelle situazioni di cui sopra) non sempre può fornire l'apporto richiesto.

Recentemente vanno diffondendosi , come strumenti d'ausilio (integrazione) ai pannelli fotovoltaici , i termogeneratori ( TEG).

Questi ultimi apparati sono basati sul principio delle termocoppie e funzionano alimentati dal Gas strumenti ; l'unico inconveniente è legato alla sicurezza poiché nelle installazioni off-shore si opera quasi sempre in aree classificate.

## 2) Dati di progetto

La presente memoria ,analizza le problematiche più frequenti che s'incontrano nella progettazione di un impianto fotovoltaico, pertanto viene dato per scontato la conoscenza e il modo di funzionare dei pannelli fotovoltaici.

Nella progettazione di un impianto d'alimentazione fotovoltaica i principali dati per la parte elettrica sono i seguenti :

- a) Sito d'installazione
- b) Potenza richiesta dai carichi
- c) Tipo d'impianto (autonomo/con generatore ausiliario)
- d) Temperatura del sito



Per la parte meccanica vanno considerati i seguenti dati:

- a) Spazio disponibile
- b) Orientamento della struttura
- c) Sismicità del sito

I dati sopra indicati , sono i requisiti minimi richiesti per il progetto dell'impianto fotovoltaico.

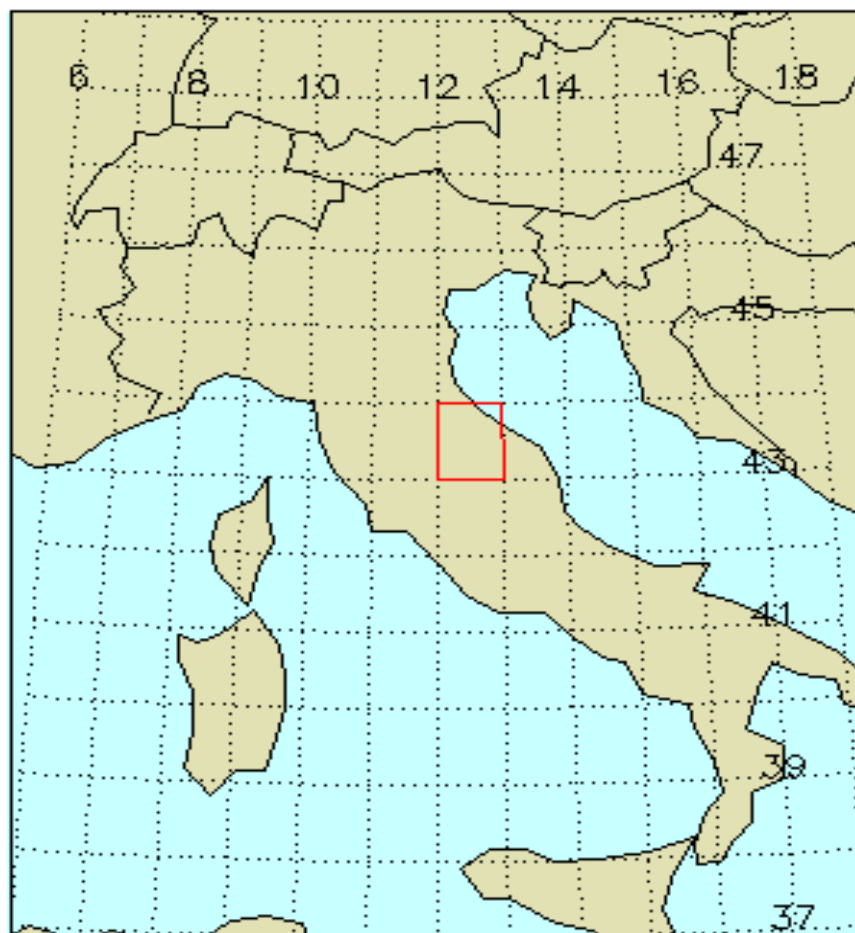
Andranno inoltre considerati eventuali ostruzioni locali , quali le ombre generate da gru o quelle della colonna della fiaccola.

In questo contesto occorrerà tenere conto del giusto compromesso tra la quantità di moduli utilizzati ,la capacità delle batterie e le ore d'intervento del generatore ausiliario.

Va ricordato che la quantità dei moduli installati non determina l'autonomia dell'impianto ma piuttosto l'efficienza (intesa in termini di tempo ) nella ricarica della batteria.

L'autonomia è determinata esclusivamente dalla capacità ( Ah) della batteria che si andrà ad installare.

A titolo d'esempio, nel nostro progetto, viene indicata un'installazione off-shore sulla costa Marchigiana localizzabile a Lat. 44 N. Long. 13 E.



Location: Lat 43 / Lon 12

FIGURA 1



## 3) Riferimenti per la radiazione solare

Il dato più importante per la determinazione della quantità di pannelli fotovoltaici (che si andranno ad installare) è quello riferito alla radiazione solare del sito in questione.

Per ricavare dati significativi è bene riferirsi a Data-Base che abbiano registrazioni delle medie mensili di radiazione solare, non inferiori ai 10 anni.

In generale ci si può avvalere delle seguenti sorgenti :

NASA : Surface meteorology and solar energy

ATLAS: European solar radiation

AERONAUTICA MILITARE : Soleggiamento e radiazione globale in ITALIA

A titolo d'esempio, vengono riportati i dati di alcune delle fonti sopra menzionate.

La fig. 2 indica la media mensile della radiazione solare nei vari mesi dell'anno nella zona di ANCONA.

Questo tipo di grafico sarà differente per ogni sito d'installazione, in quanto, in linea generale, la radiazione solare varia in accordo alla latitudine del luogo d'installazione.

I dati del sito d'installazione sono indicati in chiaro nella tabella successiva, dove oltre alla radiazione solare è indicata anche la temperatura media mensile.

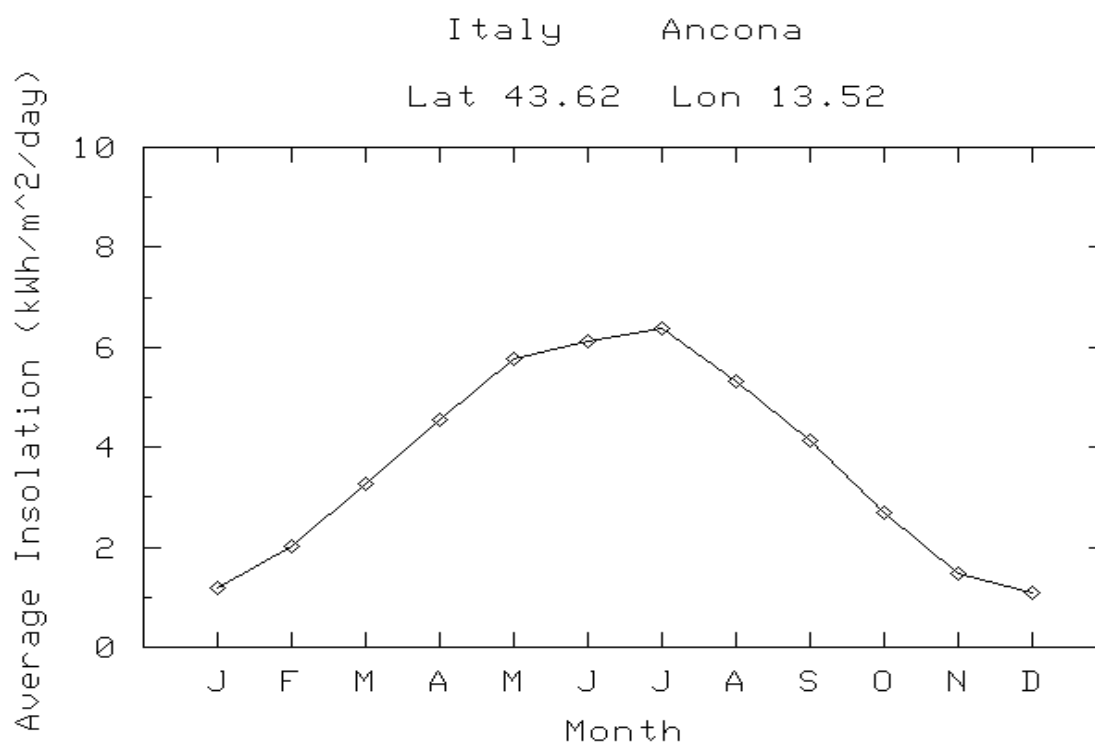


FIGURA 2



## NASA Surface meteorology and Solar Energy Data Set

### Average Daily Radiation on Horizontal Surface (kWh/m<sup>2</sup>/day)

Lat 43 Lon 12	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
10 Year Average	1.16	1.97	3.35	4.67	5.79	6.22	6.58	5.79	4.33	2.74	1.63	1.13

### Average Temperature ( ° C )

Lat 43 Lon 12	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
10 Year Average	5.3	6.2	9.8	13.3	17.3	22.4	24.6	24.7	20.3	16.6	11.6	7.9	14.2
El Nino Year (1987)	-2.52	2.93	1.66	10.4	13.2	17.8	22.3	22.5	21.8	14.1	6.47	2.27	11.0
La Nina Year (1988)	3.97	2.50	5.05	11.1	15.6	17.9	22.6	22.7	18.0	15.1	2.76	0.06	11.4

Tipicamente , la raccolta dei dati riferita alla radiazione solare viene fatta sul piano orizzontale.

E' perciò necessario avere a disposizione programmi di calcolo adeguati che sappiano tradurre queste informazioni ( radiazione solare / temperatura / angolo di tilt / azimuth ) in riferimento alle situazioni dell'applicazione.

La terminologia sopra utilizzata è quella in uso nelle più note pubblicazioni sull'argomento.

In particolare , per angolo di tilt s'intende l'inclinazione dei moduli rispetto al piano orizzontale, mentre l'azimut è la deviazione rispetto al sud in applicazione nell'emisfero nord e viceversa

In impianti dove non è richiesta nessuna correzione per la raccolta dell'energia durante l'anno, è buona cosa utilizzare come angolo di tilt quello corrispondente alla latitudine del luogo d'installazione.

Questo tipo di posizionamento è applicabile agli impianti riconducibili al programma "10.000 TETTI FOTOVOLTAICI ", dove è bene ricercare la maggiore produzione di energia nell'arco dell'anno (indipendentemente dalla stagione).

Nel caso di impianti industriali , per ridurre il numero di moduli fotovoltaici , si dovrà tenere conto di produrre più energia nella stagione invernale (ovvero cercare di appiattire la campana di figura 2), pertanto occorrerà considerare anche l'influenza della declinazione solare.

Si rammenta che i moduli fotovoltaici , a parità di condizioni ambientali, generano maggiore energia quando i raggi solari sono ortogonali alla loro superficie.

Va da se ,che volendo produrre più energia nella stagione invernale , dovremo conseguentemente rinunciare ad una parte di produzione nella stagione estiva.

D'altro canto , viste le dimensioni meccaniche delle strutture di supporto , non sono proponibili sistemi con l'aggiustamento dell'inclinazione.



## 4) Programmi di calcolo

Tra i vari programmi di calcolo presenti sul mercato vanno sicuramente privilegiati quelli legati alla esperienza personale (al di là dell'apparente banalità, per chi affronta il problema per la prima volta , la valutazione sarà possibile solo a posteriori, quando si avranno le risposte dall'impianto).

La funzione di questi programmi , è quella di manipolare i dati relativi alla radiazione solare " storica" ed introdurre opportune varianti ambientali.

Una variazione percentuale del 5-10 % della radiazione solare non cambierà l'esito del nostro lavoro se sapremo adoperare i parametri adeguati nel calcolo dei moduli.

Lo scopo fondamentale dei programmi di calcolo , è quello di fornirci il dato ( il più vicino alle condizioni reali ) relativo ai valori di radiazione solare a cui il nostro impianto sarà esposto .

In questo contesto dovremo valutare l'influenza dell'angolo di tilt e dell'orientamento dei moduli fotovoltaici.

Il valore della temperatura viene considerato in quanto per ogni grado di incremento oltre i 25°C , si ha un declassamento dei moduli nella misura indicativa di -40/-90 mV°C, rispetto al valore di targa.

Site Latitude and PV Array Orientation		Estimate
Nearest location for weather data	-	Ancona
Latitude of project location	°N	43,62
PV array tracking mode	-	Fixed
Slope of PV array	°	30,0
Azimuth of PV array	°	15,0

Month	Fraction of month used (0 - 1)	Monthly average daily radiation on horizontal surface (kWh/m <sup>2</sup> /d)	Monthly average temperature (°C)	Monthly average daily radiation in plane of PV array (kWh/m <sup>2</sup> /d)
January	1,00	1,16	5,3	1,62
February	1,00	1,97	6,2	2,58
March	1,00	3,35	9,8	3,99
April	1,00	4,67	13,3	4,99
May	1,00	5,79	17,3	5,72
June	1,00	6,22	22,0	5,93
July	1,00	6,58	24,4	6,38
August	1,00	5,79	24,3	6,03
September	1,00	4,33	20,5	5,02
October	1,00	2,74	16,0	3,63
November	1,00	1,63	11,6	2,43
December	1,00	1,13	7,9	1,69
			<b>Annual</b>	<b>Season of use</b>
Solar radiation (horizontal)		MWh/m <sup>2</sup>	1,38	1,38
Solar radiation (tilted surface)		MWh/m <sup>2</sup>	1,52	1,52
Average temperature		°C	14,9	14,9



Con il dimensionamento del campo fotovoltaico (l'insieme dei moduli che compongono il sistema ), si entra nella parte più complicata del nostro progetto.

La tabella sotto riportata , indica un esempio di dimensionamento del campo fotovoltaico posto in relazione con i dati di radiazione solare ( ricavati dal primo programma ), con la richiesta di energia dei carichi e la corrente attesa dai pannelli fotovoltaici.

## BILANCIO ENERGETICO ANNUALE

Month	Modules A	MJ/m2 B	KW/Day C	Ah/day D	Loads E	Balance F
Jan	44	8,085	2,25	125	108	17
Feb	44	10,468	2,91	161	108	53
Mar	44	10,749	2,99	166	108	58
Apr	44	11,916	3,31	184	108	76
May	44	12,524	3,48	193	108	85
Jun	44	12,708	3,53	196	108	88
Jul	44	13,464	3,74	207	108	99
Aug	44	14,263	3,96	220	108	112
Sep	44	14,041	3,90	216	108	108
Oct	44	11,257	3,13	173	108	65
Nov	44	8,341	2,32	128	108	20
Dec	44	7,509	2,09	116	108	8

**A** : Pannelli installati sull'impianto

**B** : Media mensile delle radiazioni giornaliere espresse in MJ/m2-Giorno

**C** : Media mensile delle radiazioni giornaliere espresse in 1KWh/m2

**D** : Media mensile della corrente giornaliera prodotta dal campo Fotovoltaico

**E** : Corrente richiesta dalle utenze espressa in Ah/Giorno

**F** : Media mensile giornaliera del bilancio di corrente

Per chi si avvicina per la prima volta a questo tipo di progetto , si consiglia la consultazione di pubblicazioni emesse sia da Società produttrici di moduli che da Enti che hanno lungamente sperimentato questi sistemi.



Vanno ricordate in particolare :

ARCO Solar , Inc. : design manual volume 1 System sizing

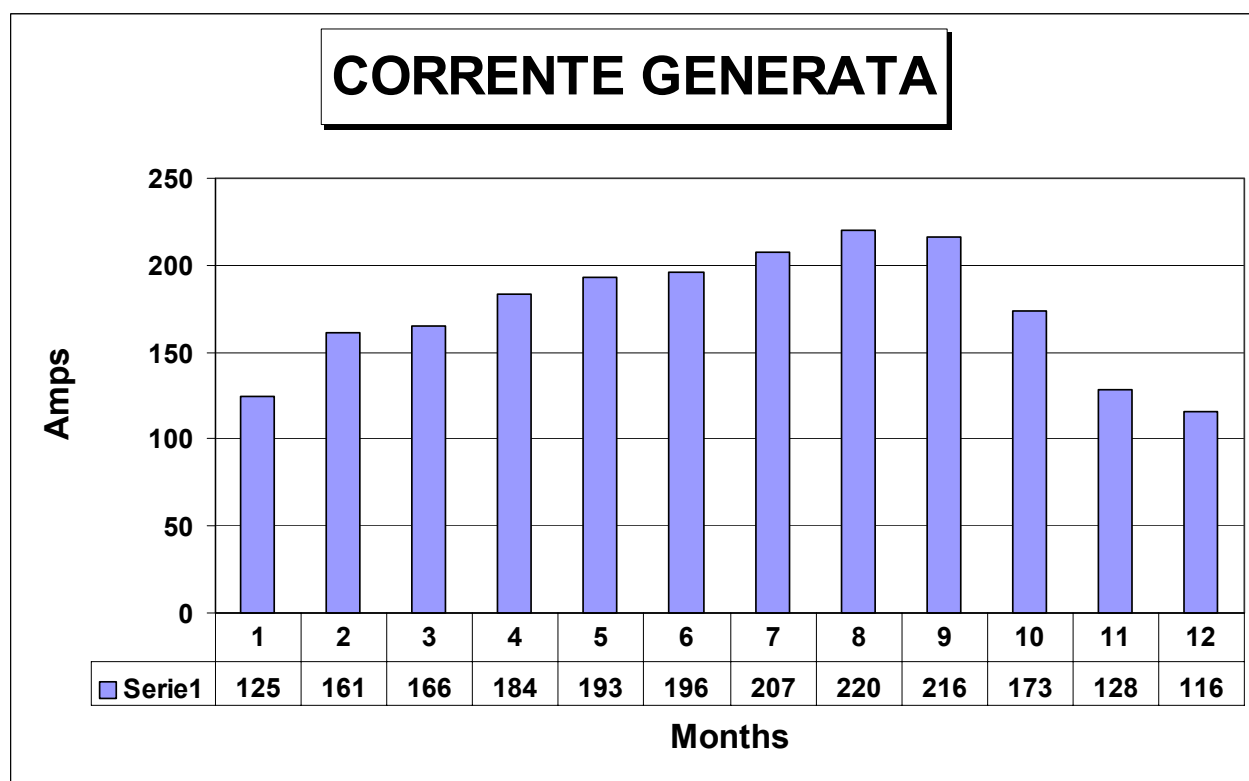
CNDR : Centre of Natural Resources Canada

ATLAS – European solar radiation

Solarex Corporation : World Design Insolation

Nel dimensionamento del campo fotovoltaico dovremo considerare i seguenti parametri e/o fattori di riduzione :

- connessioni elettriche
- lunghezza dei cavi
- sporcizia dei moduli ( sabbia/polvere/neve)
- declassamento di potenza dei moduli
- diodi di blocco
- regolatori di carica
- facilità di accesso all'impianto (manutenzione)



**FIGURA 3**

In questo contesto , solo la nostra esperienza e la buona conoscenza del sito d'installazione potranno condurci a realizzare con successo un impianto di generazione fotovoltaica Off-grid. ( sconnesso dalla rete).

Come per le batterie , dove la capacità viene espressa in Ah, anche per i pannelli fotovoltaici sarebbe opportuno ricondurre la loro produzione in Ah piuttosto che in Watt.

Quanto sopra è fermamente sostenuto da molte Società Americane (vedi Arco Solar), affermando che sia il modo più onesto di presentare i calcoli di questi sistemi.



La ragione di base risiede nel fatto che i moduli fotovoltaici sono fondamentalmente generatori di corrente , la loro potenza di picco, in fase di collaudo, viene espressa come prodotto tra  $V_m$  e  $I_m$ .

Assumendo per  $I_m$  un valore tipico di 3,2 Amps. E per  $V_m$  un valore di 17,2 Volts , si ottiene il dato di targa  $W_p = 55,04 W$ , quando radiazione è di  $1Kw m^2$ .

Supponiamo ora di collegare questo modulo (nelle stesse condizioni) ad una batteria da 12 V.; sicuramente non avremo mai una generazione di corrente pari a  $(55,04 : 12 =)4,58$  Amps.

In effetti i nostri moduli (generatori di corrente) potranno al massimo erogare la corrente di corto circuito , ma non correnti superiori alla stessa ISC.

## 5) Ingegneria di sistema

Un tipico impianto fotovoltaico per applicazioni off-shore , può considerarsi composto dalle seguenti parti principali :

- a) campo fotovoltaico
- b) quadro di regolazione e controllo
- c) batterie di backup

Essendo l'energia prodotta in off-shore , di vitale importanza per il funzionamento degli impianti ,il progetto deve rispondere ad elevate caratteristiche di affidabilità e disponibilità.

In questo contesto, va considerato che non sempre è agevole eseguire interventi di manutenzione, spesse volte le perdite di produzione possano essere molto più onerose del costo di certi apparati.

Usualmente, il campo fotovoltaico viene logicamente suddiviso in sottocampi composti ognuno da un certo numero di moduli.

Questa suddivisione è fatta per distribuire in modo equo, la potenza generata dal fotovoltaico verso la regolazione.

Ogni sottocampo, a sua volta, è formato da un numero modulare di stringhe (arrays) che vengono connesse in serie/parallelo per formare la tensione nominale del sistema.

Tutti i sottocampi sono poi connessi al quadro di regolazione ,che sarà assemblato per tanti regolatori quanti saranno i sottocampi presenti nel sistema.

Il guasto e/o avaria di uno o più regolatori non influenzerà mai il lavoro degli altri regolatori presenti nel quadro di regolazione.

Tutti i componenti del sistema di regolazione sono utilizzati in derating rispetto alle caratteristiche di targa.

Nelle condizioni di verifica e/o manutenzione sarà possibile isolare solo la parte di impianto interessata, mentre il sistema di generazione continuerà a funzionare.

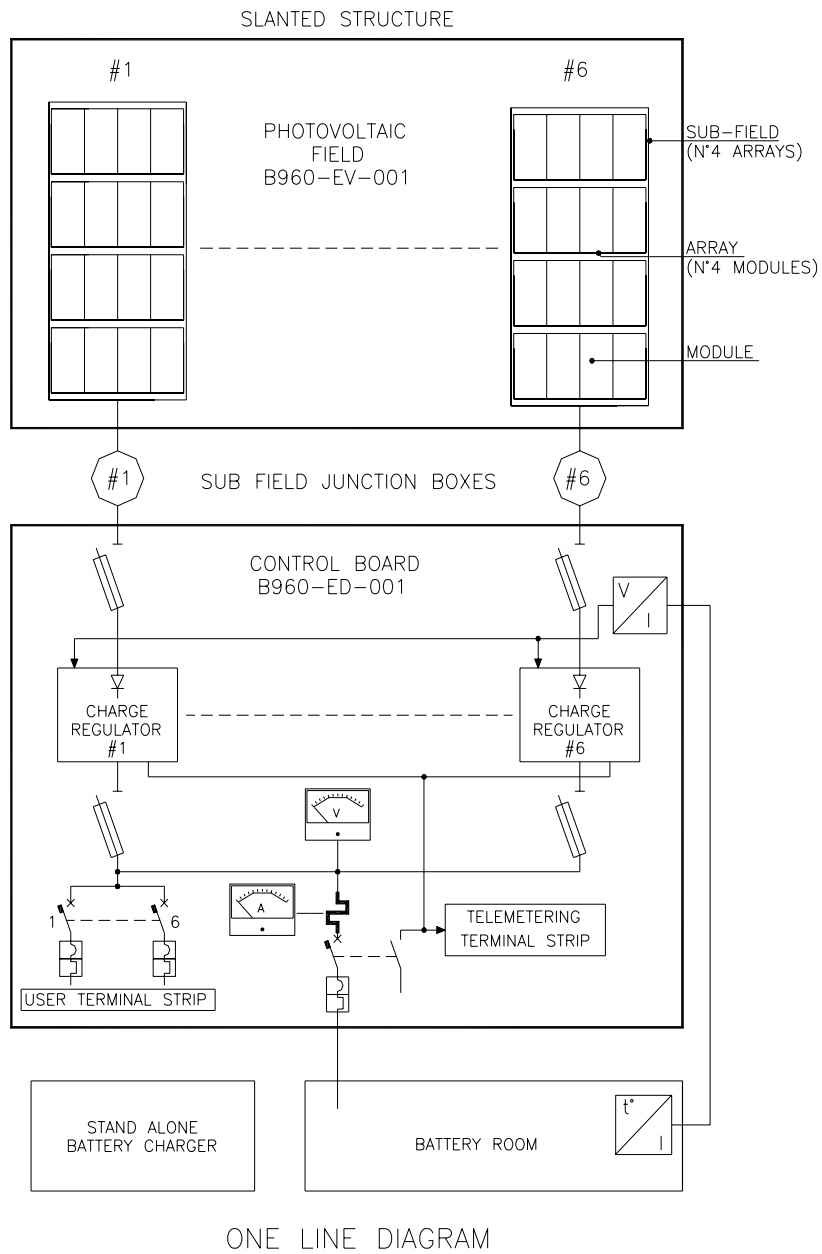
Normalmente tutte le segnalazioni di avaria , rese disponibili dal sistema di regolazione , sono inviate per via telemetrica al centro di controllo.

Questa ultima caratteristica , consente di programmare tempestivamente i vari interventi di manutenzione.

Per quanto concerne il quadro di regolazione , le segnalazioni che tipicamente vengono convogliate in telemetria , sono riferite alla tensione delle batterie , allo stato degli interruttori principali e agli allarmi di sistema.



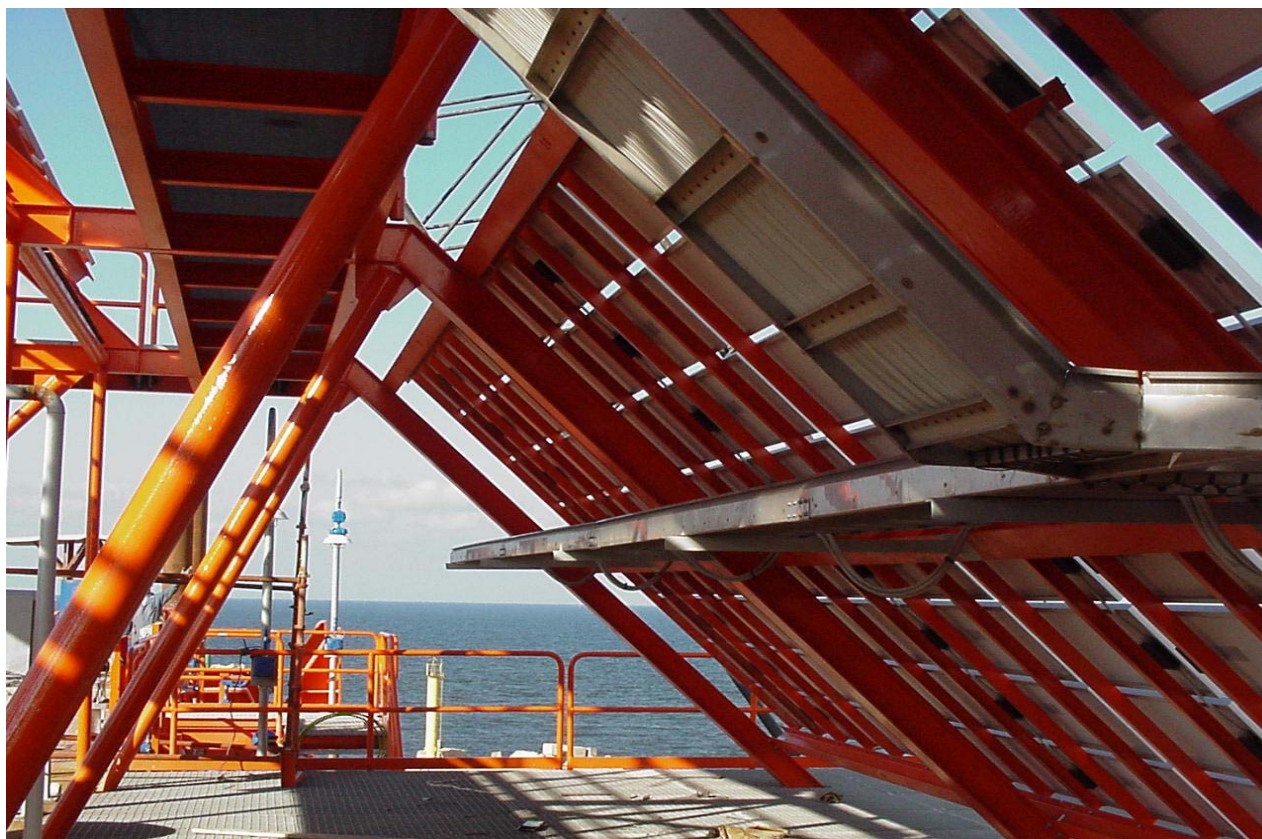
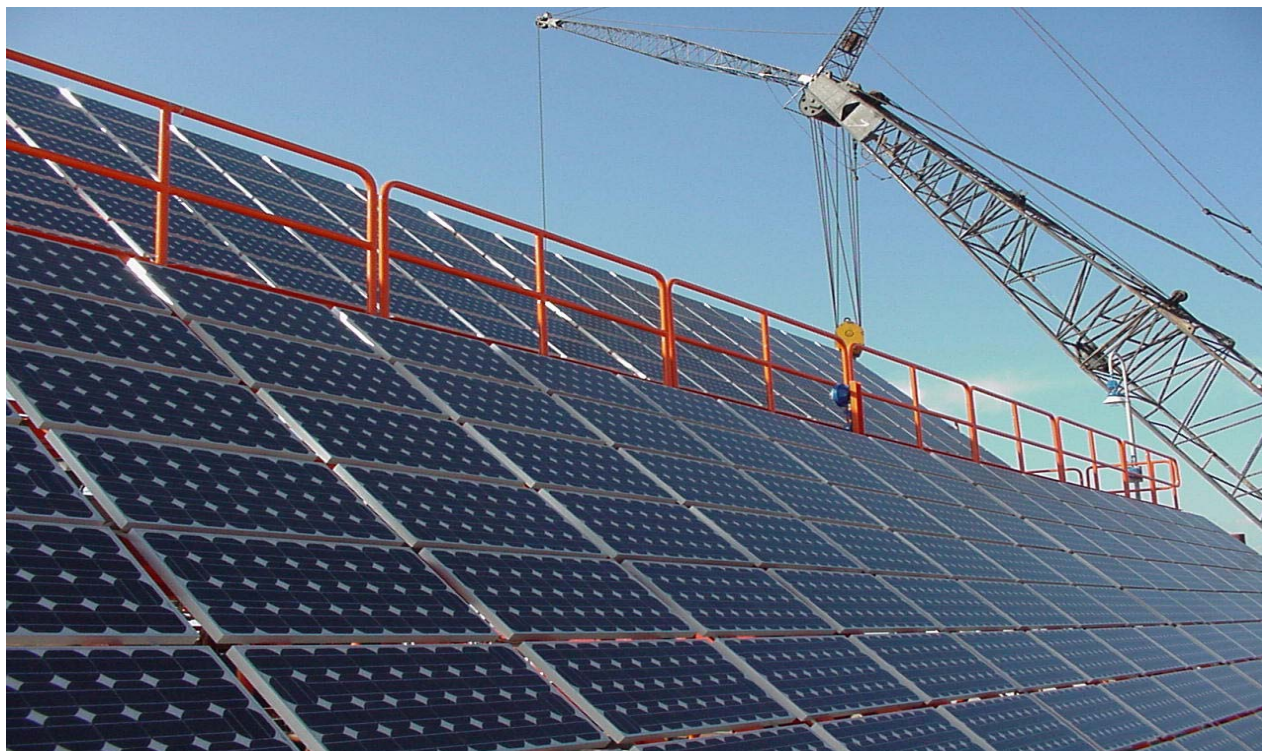
## SCHEMA UNIFILARE IMPIANTO



Senza entrare nei dettagli, lo schema sopra indicato evidenzia la filosofia di progetto precedentemente descritta.



## 6) ESEMPI DI APPLICAZIONI





## 7) Comparazione con applicazioni domestiche ( 10.000 Tetti Fotovoltaici )

Nel disegno che segue è riportato lo schema unifilare "tipico", per un impianto connesso in rete.

Rispetto agli impianti precedentemente descritti , possiamo constatare che le differenze fondamentali sono nell'assenza delle batterie di mantenimento e nell'uso dell' inverter per utilizzare l'energia prodotta del fotovoltaico.

Il funzionamento di questi tipi d'impianti può riassumersi come segue :

I moduli fotovoltaici generano energia elettrica in corrente continua ad un valore di tensione che è determinato dalla quantità di moduli collegati in serie.

In relazione alla potenza installata , ogni gruppo di moduli connessi in serie forma una stringa ( Array) con potenza nominale di circa **xx KWp.**

Collegando più stringhe in parallelo si possono raggiungere le potenze desiderate.

La stringa di moduli , oppure più stringhe connesse in parallelo sono collegate all'ingresso d'uno o più inverter , in funzione della potenza in gioco.

La corrente continua generata dai moduli , per essere utilizzata (dalle normali prese di rete) viene convertita in corrente alternata , e resa disponibile per essere utilizzata.

In ogni caso non dovrete preoccuparvi se non riuscite ad utilizzare tutta l'energia che il vostro impianto sta producendo, perché l'eccedenza sarà resa disponibile ad altri utenti.

In realtà , il vostro sistema immette in rete tutta l'energia che voi non potete utilizzare , mentre quando non produce (oppure la produzione è bassa) sarete voi stessi a richiedere energia dalla rete.

Il conguaglio tra energia prelevata ed energia ceduta alla rete verrà ( come definito nel bando Ministeriale) contabilizzata ad ogni fine anno.

È bene far sapere che quando l'Ente erogatore (più diffusamente ENEL) non fornisce energia in rete , anche voi sarete privi di alimentazione elettrica , indipendentemente dal fatto che nel momento specifico possa esserci la massima radiazione solare.

In conclusione possiamo affermare che, quando il vostro sistema fotovoltaico produce energia elettrica in eccesso a quella consumata sul posto , il SURPLUS viene trasferito in rete e conseguentemente contabilizzato.

La contabilizzazione dell'energia è fatta dall'ENTE distributore .

Le risorse tecniche attuali consentono di installare un ulteriore contatore per la contabilizzazione dell'energia immessa in rete, oppure un unico contatore bidirezionale.

Questa ultima scelta spetta esclusivamente all Ente distributore.

