

2. Energia solare



Esercitazione: LA PROGETTAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Progettazione di un impianto fotovoltaico



Progettazione di un impianto fotovoltaico

Le fasi da seguire per la corretta progettazione di un impianto fotovoltaico sono:

- 1_ SOPRALLUOGO IN CORRISPONDENZA DELL'AREA INTERESSATA:
COMPILAZIONE DI SCHEDE DI SOPRALLUOGO
- 2_ CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ENERGIA ELETTRICA DELL'UTENZA
- 3_ ANALISI DELLA DISPONIBILITA' DELLA FONTE SOLARE IN RELAZIONE AL SITO
- 4_ DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO
 - Scelta del tipo di pannello e posizionamento dei moduli
 - Progettazione dello schema elettrico dell'impianto
- 5_ ANALISI DEI COSTI E PRESTAZIONI DELL'IMPIANTO
- 6_ ANALISI FINANZIARIA
- 7_ BILANCIO AMBIENTALE

1_Scelta del sito e compilazione delle schede di sopralluogo

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Scheda di sopralluogo per la verifica della fattibilità dell'impianto

La scheda di sopralluogo è necessaria per verificare la fattibilità dell'impianto in corrispondenza del sito prescelto. Le informazioni minime che deve contenere sono:

INFORMAZIONI GENERALI

- **Dati Cliente** (nome, cognome, indirizzo, Comune, numero di telefono, indirizzo mail, tipologia cliente, ...)
- **Data di sopralluogo e tecnici presenti**

CARATTERISTICHE DELL'IMMOBILE

- **Data di costruzione e di eventuale ristrutturazione della copertura**
- **Tipo di copertura** (materiale, tipo di installazione, inclinazione delle falde, orientamento della falda (Azimut), presenza di vincoli architettonici-paesaggistici, accessibilità,....)
- **Superficie** di tetto utile disponibile (m²)

CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO ELETTRICO PRESENTE (società distributrice, società di vendita dell'energia elettrica, potenza impegnata (kW),...)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA (inquadramento ortofotografico del sito e immagini relative al sopralluogo, come ad esempio la copertura, luoghi per eventuale installazione inverter, ecc)

PLANIMETRIE DI COPERTURA E SEZIONI (per determinare inclinazione della falda)

2_Calcolo del fabbisogno di energia elettrica per l'utenza

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Calcolo del fabbisogno di energia elettrica

La dimensione di un impianto fotovoltaico si calcola sulla base dell'energia consumata dall'utenza (kWh) in un anno solare:

LETTURA DEI CONSUMI DA CONTATORE



ANALISI DELLE BOLLETTE



Progettazione di un impianto fotovoltaico

Calcolo del fabbisogno di energia elettrica

- Il valore dell'energia si calcola facendo la media dei consumi degli ultimi **3 anni**
 - Per nuove utenze si utilizza un consumo presunto
- Una famiglia media consuma 3.000 – 4.000 kWh all'anno → necessità di un impianto di circa 2.500 Wp

Si può ipotizzare di progettare un impianto FV di dimensioni tali da coprire tutta la superficie a disposizione in copertura senza tener conto dei consumi effettivi

3_Analisi della disponibilità della fonte solare in relazione al sito

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Disponibilità della fonte solare

Note Latitudine della località → irraggiamento medio sul piano orizzontale

Nota l'inclinazione del pannello → irraggiamento medio sul piano dei moduli (UNI 10349)

RADIAZIONE SOLARE ANNUALE SUL PIANO ORIZZONTALE - UNI 10349					
LOCALITA'	RADIAZIONE SOLARE MEDIA ANNUALE (kWh/mq)	LOCALITA'	RADIAZIONE SOLARE MEDIA ANNUALE (kWh/mq)	LOCALITA'	RADIAZIONE SOLARE MEDIA ANNUALE (kWh/mq)
AGRIGENTO	1923	GENOVA	1425	PAVIA	1316
ALESSANDRIA	1276	GORIZIA	1326	POTENZA	1545
ANCONA	1471	GROSSETO	1570	RAVENNA	1411
AOSTA	1274	IMPERIA	1544	REGGIO CALABRIA	1751
ASCOLI PICENO	1471	ISERNIA	1464	REGGIO EMILIA	1427
L'AQUILA	1301	CROTONE	1679	RAGUSA	1033
AREZZO	1329	LECCO	1271	RIETI	1366
ASTI	1300	LODI	1311	ROMA	1612
AVELLINO	1559	LECCE	1639	RIMINI	1455
BARI	1734	LIVORNO	1511	ROVIGO	1415
BERGAMO	1276	LATINA	1673	SALERNO	1419
BELLUNO	1272	LUCCA	1415	SIENA	1400
BENEVENTO	1510	MACERATA	1499	SONDRIO	1442
DOLOGNA	1420	MESSINA	1730	LA SPEZIA	1452
BRINDISI	1668	MILANO	1307	SIRACUSA	1870
BRESCIA	1371	MANTOVA	1316	SASSARI	1669
BOLZANO	1329	MODENA	1405	SAVONA	1384
CAGLIARI	1635	MASSA-CARRARA	1436	TARANTO	1601
CAMPOBASSO	1597	MATERA	1584	TERAMO	1487
CASERTA	1678	NAPOLI	1645	TRENTO	1423
CHIETI	1561	NOVARA	1327	TORINO	1339
CALTANISSETTA	1831	NUORO	1655	TRAPANI	1867
CUNEO	1210	ORISTANO	1654	TERNI	1409
COMO	1252	PALERMO	1784	TRIESTE	1325
CREMONA	1347	PIACENZA	1400	TREVISO	1385
COSENZA	1852	PADOVA	1266	UDINE	1272
CATANIA	1829	PESCARA	1535	VARESE	1287
CATANZARO	1663	PERUGIA	1463	VERBANIA	1326
ENNA	1850	PISA	1499	VERCELLI	1327
FERRARA	1360	PORDENONE	1291	VENEZIA	1473
FOGGIA	1630	PRATO	1350	VICENZA	1315
FIRENZE	1476	PARMA	1470	VERONA	1267
FORLI'	1489	PISTOIA	1308	VITERBO	1468
FROSINONE	1545	PESARO-URBINO	1411		

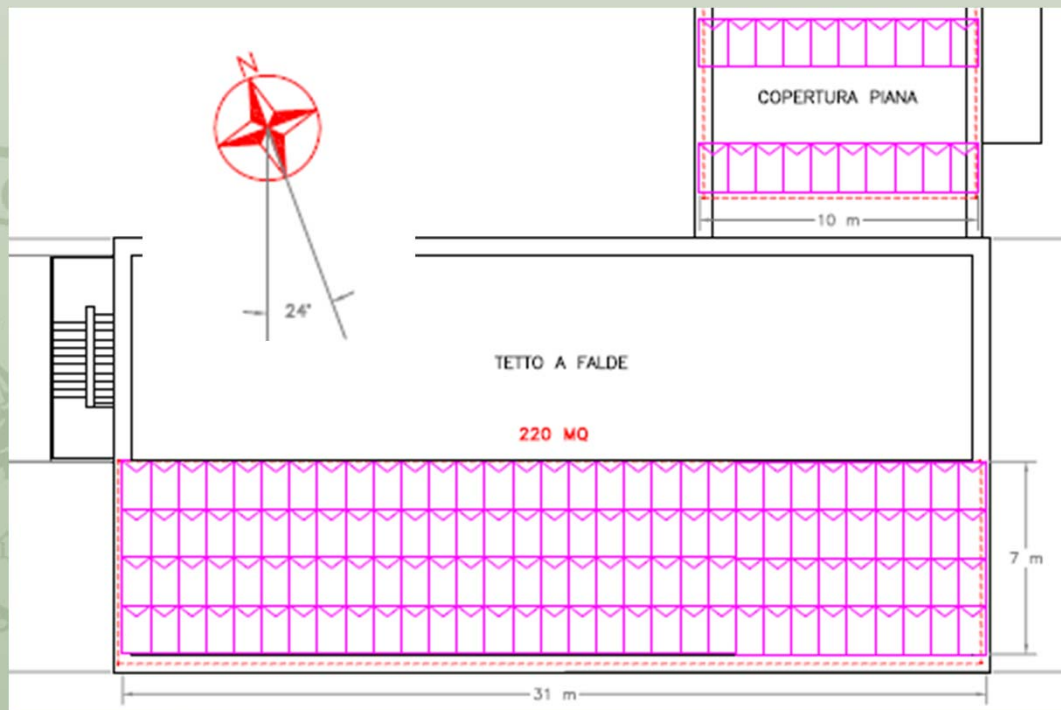
Progettazione di un impianto fotovoltaico

Disponibilità della fonte solare

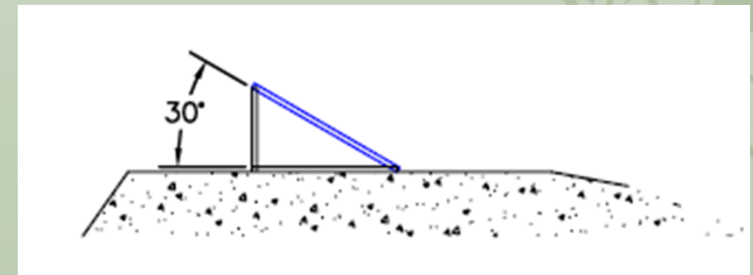
Si deve tener conto di due angoli:

1. AZIMUT

Orientamento falda rispetto a SUD



2. INCLINAZIONE PANNELLO RISPETTO L'ORIZZONTALE



Inclinazione ottimale: è pari alla LATITUDINE (35°-45°)

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Disponibilità della fonte solare (ENEA – agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile)

Calcoli eseguibili in linea:

1. [Radiazione globale giornaliera media mensile \(Rggmm\), al suolo, su superficie orizzontale](#)

Aprire [questa pagina](#) per maggiori dettagli.

2. [Radiazione globale giornaliera media mensile \(Rggmm\), al suolo, su superficie inclinata](#)

La procedura si attiene a quanto prescritto dalla Norma UNI 8477/1 recante istruzioni per il "Calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia. Valutazione dell'energia raggiante ricevuta", ma utilizza le mappe di *Rggmm* su piano orizzontale calcolate dall'ENEA; consente – tra l'altro – di valutare anche l'effetto dovuto alla presenza di ostacoli che in determinate ore del giorno possono schermare i raggi del sole [[altri dettagli](#)].

3. [Radiazione globale giornaliera media mensile \(Rggmm\), al suolo, su superficie normale](#)

Il calcolo è riferito ad una superficie captante che ruota continuamente in modo da mantenersi sempre perpendicolarmente ai raggi del sole. Aprire [questa pagina](#) per maggiori dettagli.

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Disponibilità della fonte solare (ENEA – agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile)

Posizione della località:

Latitudine (esempio: 42°02'36"):

Longitudine (esempio: 12°18'28"):

Trova le coordinate con [Google Maps](#)

Angoli che definiscono la posizione della superficie ricevente:

Azimut (esempio: -10°00'00"):

Inclinazione rispetto al piano orizzontale (esempio: 30°00'00"):

Modello per il calcolo della frazione della radiazione diffusa rispetto alla globale:

ENEA-SOLTERM

UNI 8477

Iqbal

Coefficiente di riflessione del suolo (0÷1; esempio: 0.25):

Unità di misura per la R.g.g.m.m.:

Effettuare il calcolo per:

Risultato:

Mese	Ostacolo	Rggmm su sup.incl.	
Gennaio	assente	2833.1	Wh/m2
Febbraio	assente	3440.2	Wh/m2
Marzo	assente	4431.9	Wh/m2
Aprile	assente	5042.3	Wh/m2
Maggio	assente	5722.6	Wh/m2
Giugno	assente	5980.0	Wh/m2
Luglio	assente	6095.0	Wh/m2
Agosto	assente	5593.2	Wh/m2
Settembre	assente	4718.4	Wh/m2
Ottobre	assente	3753.1	Wh/m2
Novembre	assente	2876.2	Wh/m2
Dicembre	assente	2284.3	Wh/m2

Radiazione globale annua sulla superficie inclinata: 1607801 Wh/m2
(anno convenzionale di 365.25 giorni)

4_Dimensionamento dell'impianto



Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Scelta del tipo di pannello

MONOCRISTALLINO

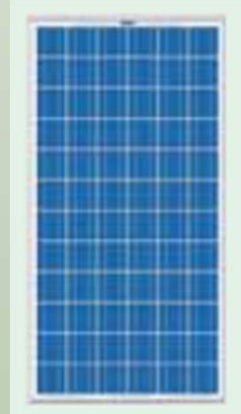
Rendimento: 15-16%



Più efficienti ma anche più costosi, adatti per impianti parzialmente integrati su coperture esistenti

POLICRISTALLINO

Rendimento: 12-13%



Meno efficienti e più economici, adatti per impianti parzialmente integrati su coperture esistenti

AMORFO

Rendimento: 8%



Versatilità di forme; leggeri e adatti per capannoni industriali e centri commerciali, rifacimento tetto e sostituzione di coperture in amianto; meno sensibili all'inclinazione, buona resistenza alle alte T ma potenze d picco inferiori a parità di superficie

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Scelta del tipo di pannello

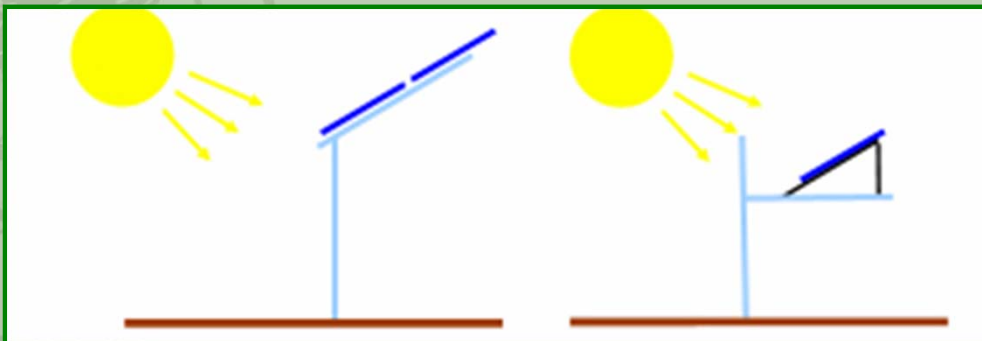
MONOCRISTALLINO



POLICRISTALLINO



IMPIANTO PARZIALMENTE INTEGRATO



Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Scelta del tipo di pannello

AMORFO



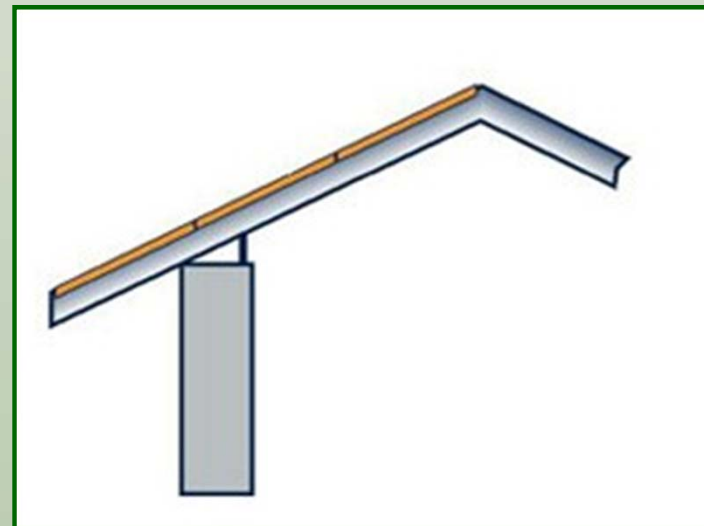
Possibile realizzazione di impianti a scomparsa che si integrano completamente nell'architettura dell'edificio, adatto per coperture costituite da lastre in Riverclack e Rivergrip; il sistema aderisce al manto di copertura senza perforazioni di fissaggio. Assenza di problemi di tenuta e sovraccarico. Buona tolleranza all'effetto luce-ombra causato dalla vicinanza di alberi o edifici per effetto di diodi di by-pass tra una cella e l'altra.

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Scelta del tipo di pannello

AMORFO

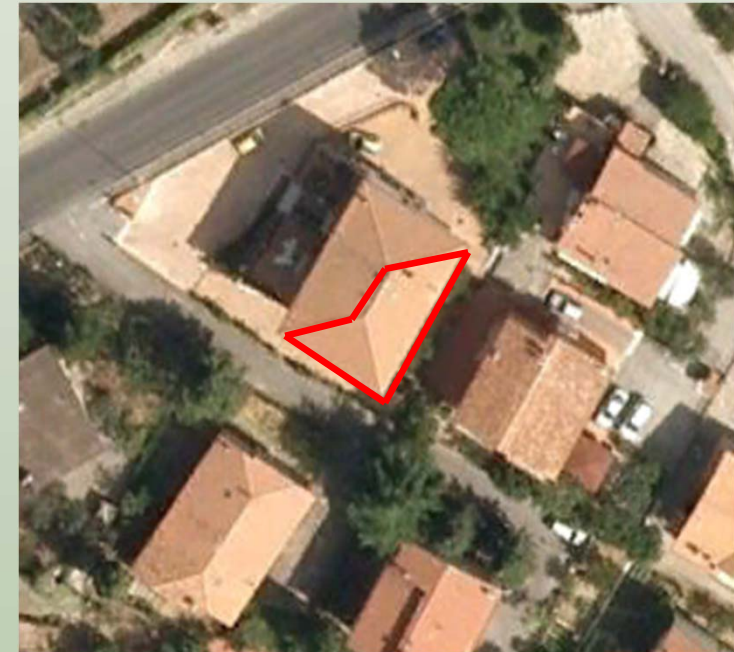


IMPIANTO TOTALMENTE INTEGRATO

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Disposizione dei pannelli in copertura



È possibile anche tentare di disporre i moduli sfruttando diverse superfici e orientandoli in maniera diversa valutando la soluzione economicamente più vantaggiosa

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

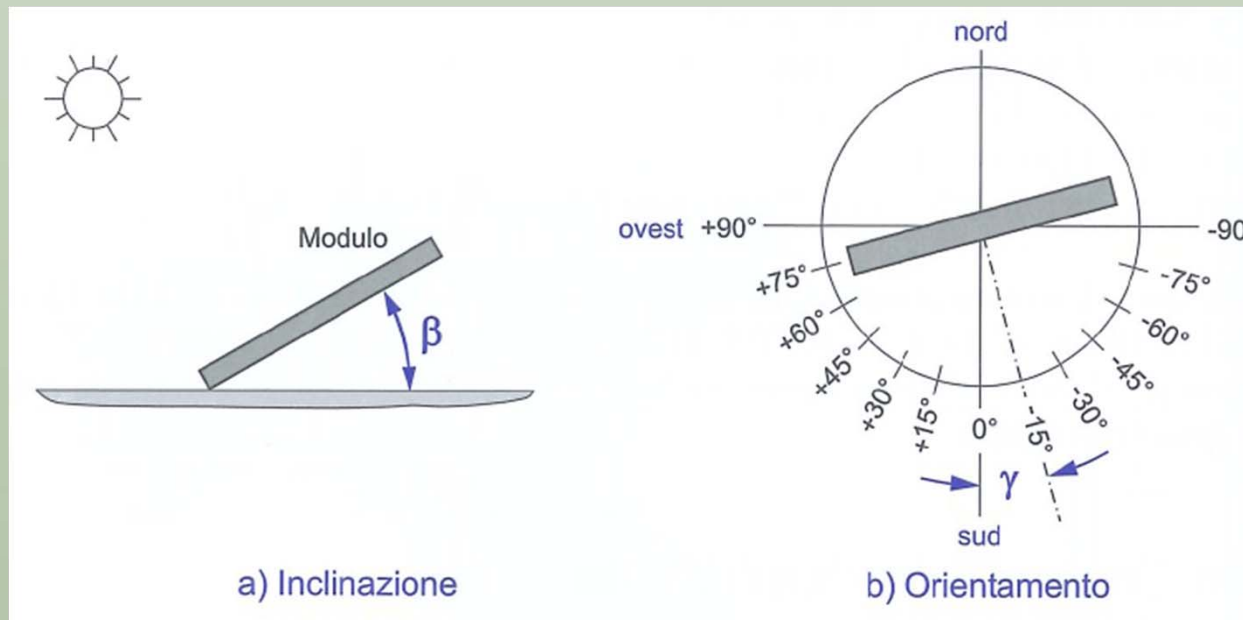
- Disposizione dei pannelli in copertura - Azimut

ORIENTAMENTO ◦ AZIMUT :

L'orientamento γ è l'angolo di deviazione rispetto alla direzione ideale SUD → con il segno – quelli verso EST e con il segno + quelli verso OVEST

INCLINAZIONE:

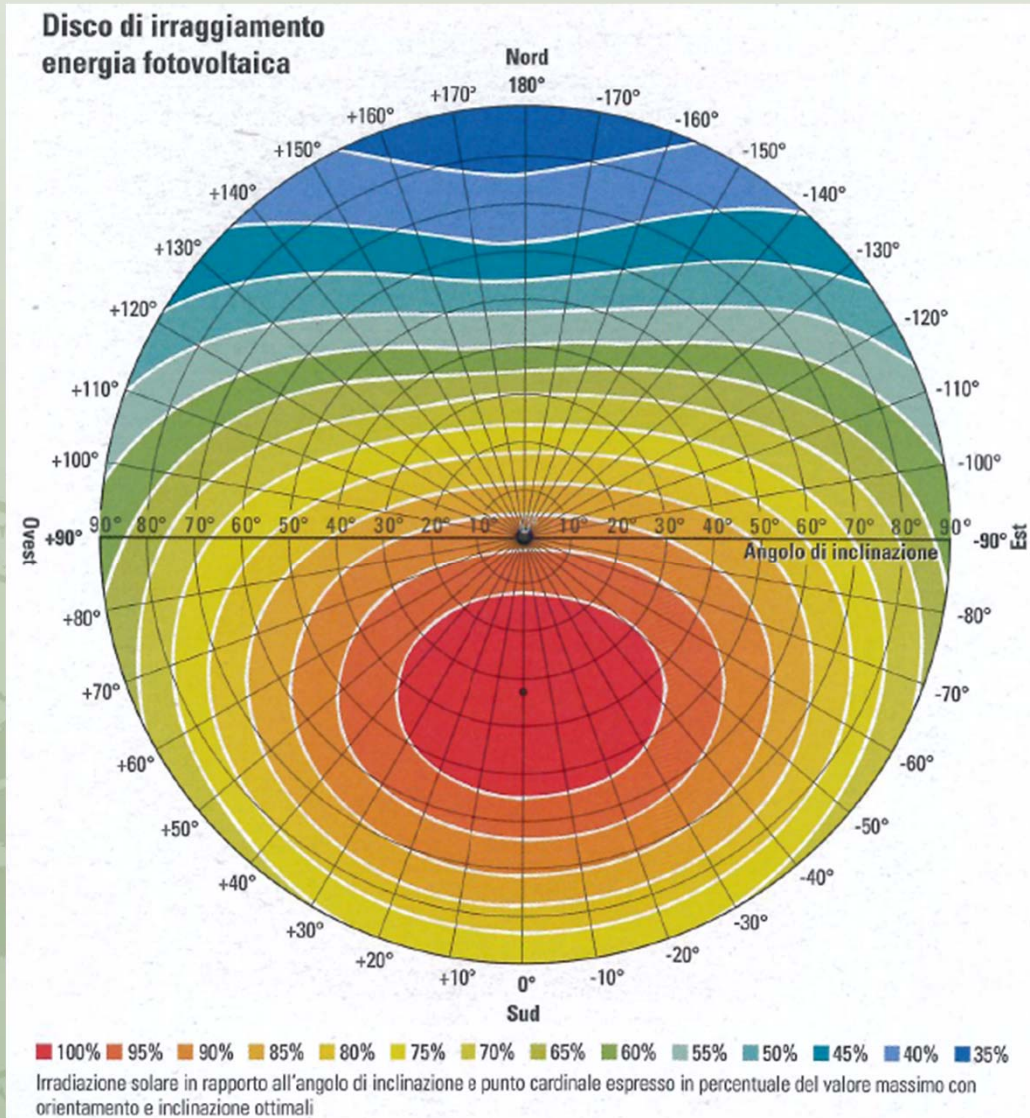
angolo β che il modulo forma con l'orizzontale → i moduli vengono inclinati per aumentare la radiazione diretta sul modulo



Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Posizionamento e inclinazione dei moduli



La combinazione dell'inclinazione e dell'orientamento determina l'**ESPOSIZIONE** del modulo



Il progettista cerca la migliore esposizione per massimizzare la radiazione solare ricevuta

L'effetto dell'inclinazione cambia con la latitudine → aumentando la latitudine si riduce l'altezza del sole sull'orizzontale

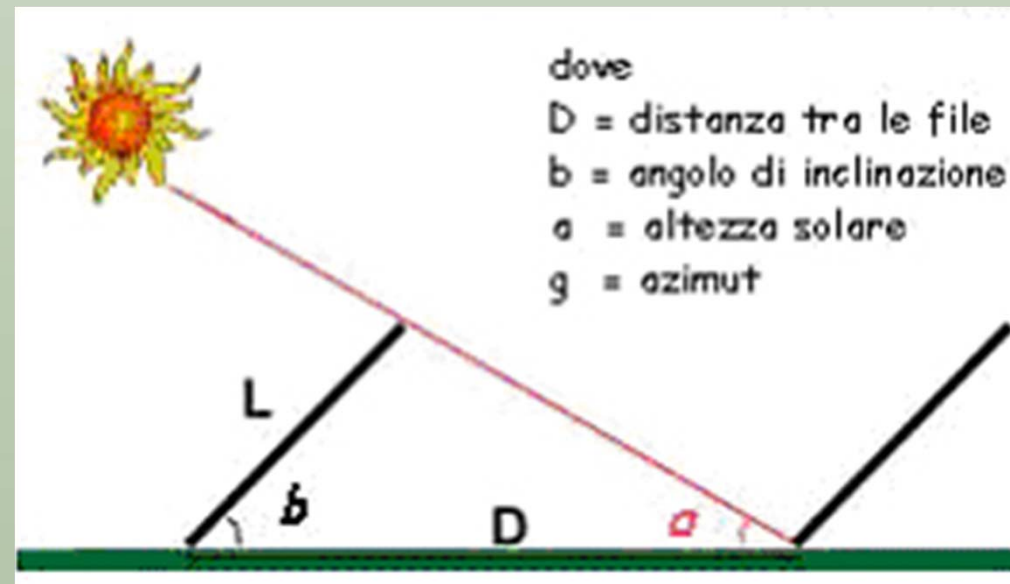
Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Posizionamento dei moduli

Se i pannelli sono disposti su copertura piana i moduli devono essere avere una distanza l'uno dall'altro tale da evitare ombreggiamenti;

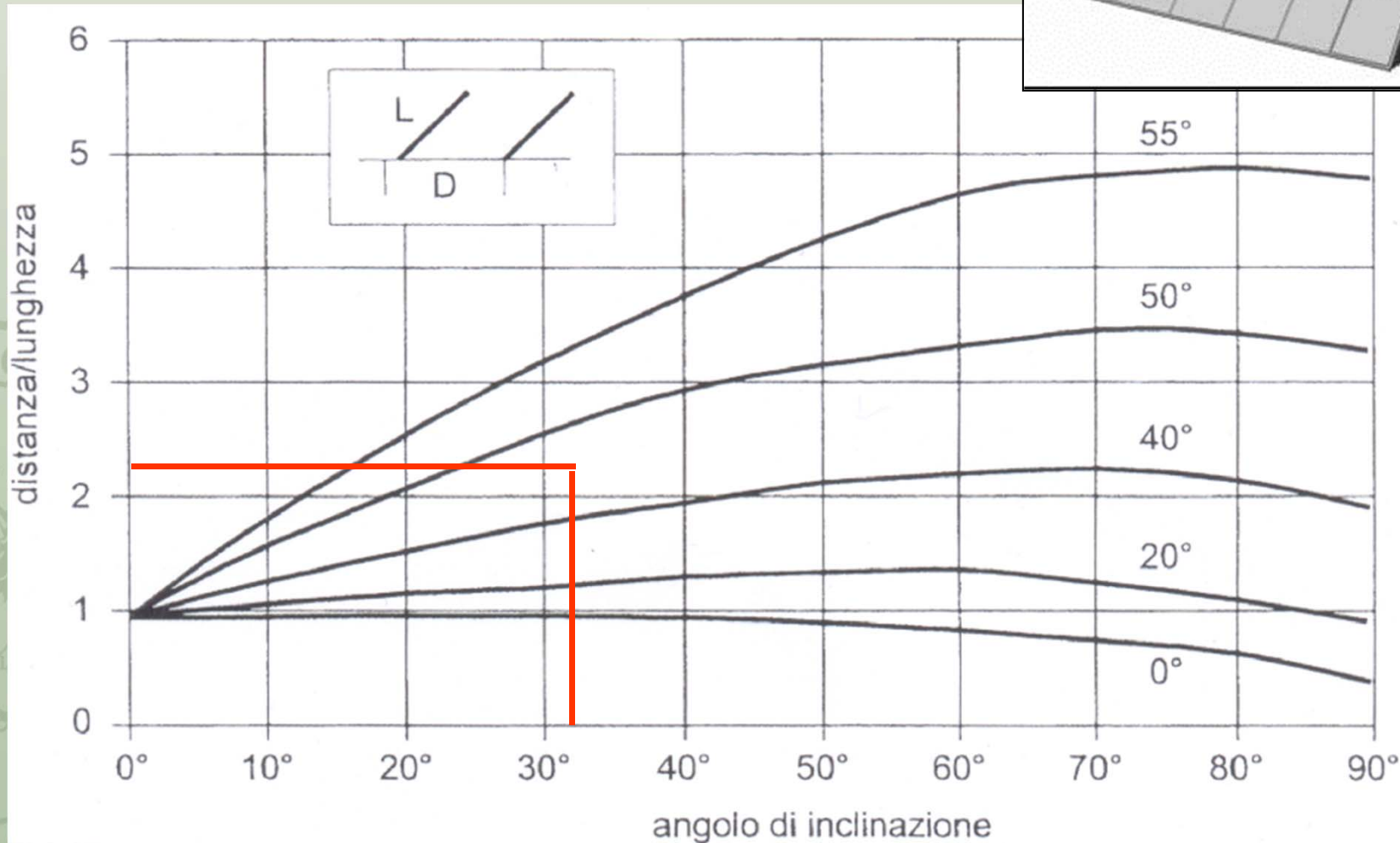
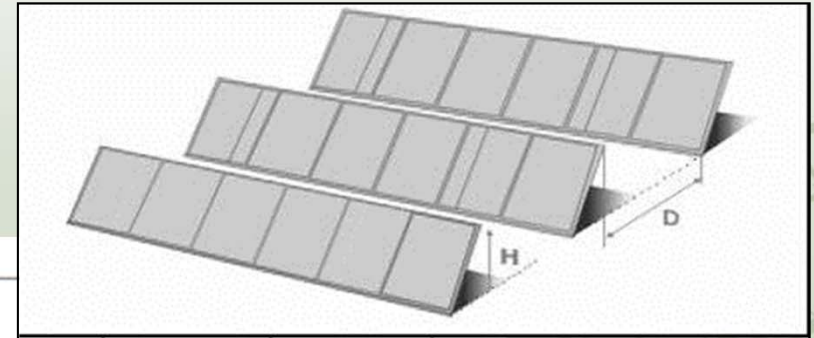
Se ho tetto a falda i pannelli saranno posti seguendo l'inclinazione della copertura e potranno essere disposti in file parallele consecutive senza lasciare alcuna distanza tra una fila e l'altra per ottimizzare la superficie sfruttabile



Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Ombre portanti

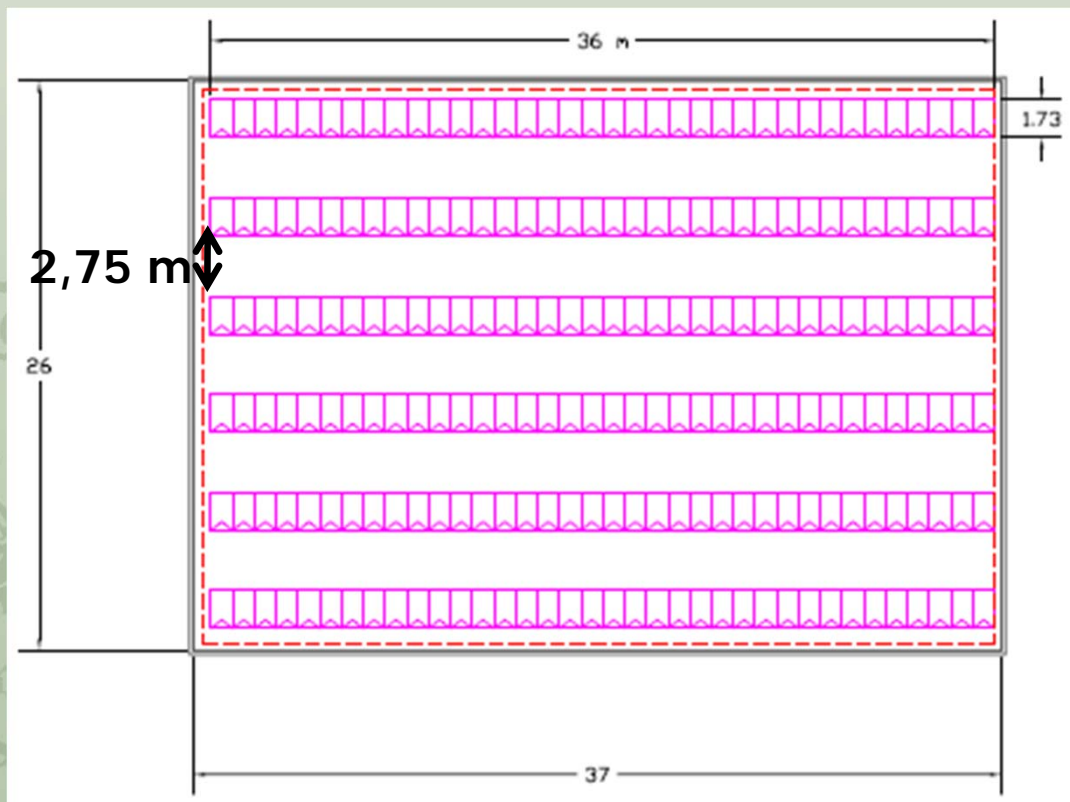


Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Posizionamento dei moduli

Esempi di posizionamento dei pannelli in copertura



Inclinazione = 33°

Dimensione pannelli = 1 x 2 m

Interdistanza tra i pannelli = 2,75 m

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Superficie utile lorda

- per avere quindi un kW di picco con silicio monocristallino sono sufficienti **8 mq**
- mentre per le altre tipologie si arriva anche ad aver bisogno di **10 mq -12 mq**

- Noti i metri quadri di pannelli necessari si deve stabilire la superficie lorda utile SLU

SLU = superficie moduli + spazio necessario per evitare ombreggiamento

Coperture di edifici

- **Se le falde del tetto sono inclinate uguali a quelle utili (es. 30°) la superficie moduli = superficie lorda utile**
- **Diversamente (copertura piana, clinali diversamente esposti) è necessario impiegare formule o abachi per determinarne la reciproca distanza**

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Schema elettrico dell'impianto

- 1) Scelta della potenza dell'impianto e dei moduli
- 2) Scelta della tensione
- 3) Schema dell'impianto
- 4) Scelta e installazione dell'inverter
- 5) Cavi
- 6) Dispositivi di protezione, manovra e sezionamento
- 7) Quadri

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Schema elettrico dell'impianto

1) Scelta della potenza dell'impianto e dei moduli

La potenza dell'impianto determina il numero di moduli necessari a parità di potenza del modulo

Dipende dalla:

- destinazione dell'impianto (scambio sul posto, autoconsumo, vendita)
- risorse economiche (il costo al kW si riduce aumentando la potenza e va da 3500 a 7000 €/kW + IVA)
- spazio disponibile per l'installazione dei moduli

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Schema elettrico dell'impianto

2) Scelta della tensione

La scelta della tensione dell'impianto individua il numero di moduli che compongono la singola **stringa** → il numero di stringhe totali deve conseguire la potenza prefissata

La tensione di stringa deve essere coordinata con la scelta dell'inverter:

Tensione elevata → minore numero di stringhe → minori perdite sui circuiti in CC

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Schema elettrico dell'impianto

3) Schema dell'impianto

Si può prevedere:

- Impianto mono-inverter
- Impianto con inverter di stringa
 - Impianto multi-inverter
 - Moduli AC (poco diffusi)

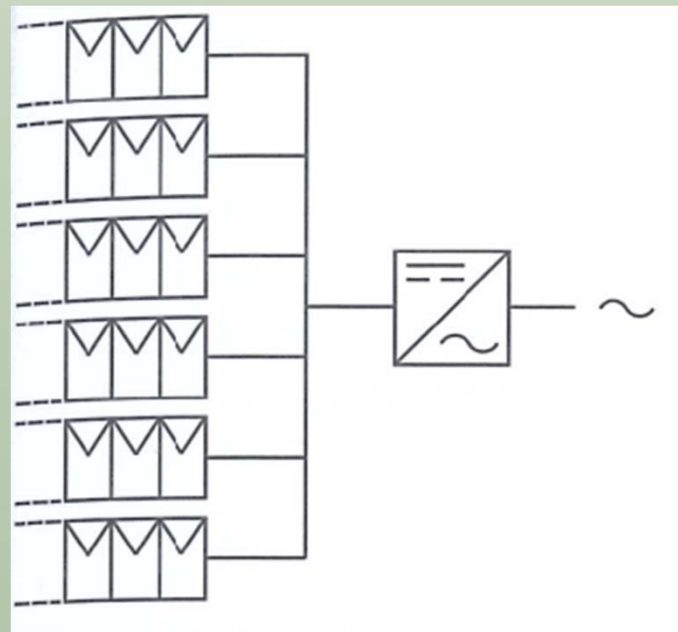
Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Schema elettrico dell'impianto

3) Schema dell'impianto

Impianto mono-inverter: un unico inverter per l'intero impianto; si può realizzare solo se i moduli sono dello stesso tipo ed hanno tutti lo stesso orientamento e inclinazione. In questo caso, però, l'avaria dell'unico inverter comporta la fermata dell'intero generatore



Progettazione di un impianto fotovoltaico

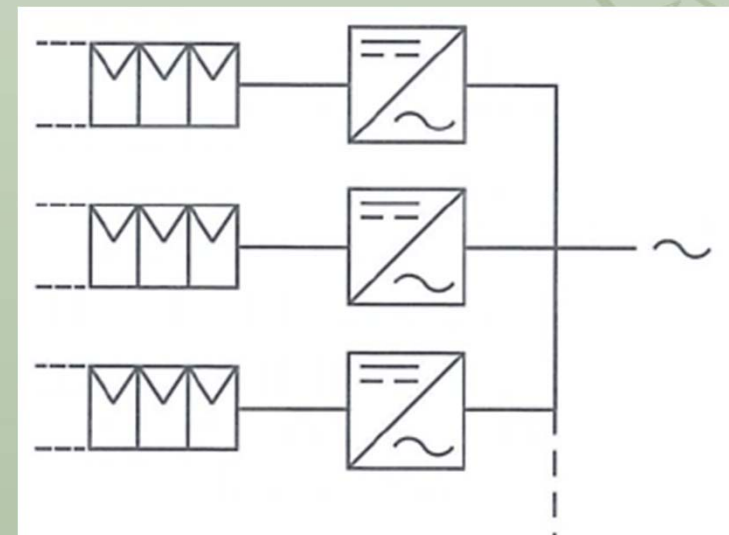
Dimensionamento dell'impianto

- Schema elettrico dell'impianto

3) Schema dell'impianto

Impianto con inverter di stringa: Ogni stringa che compone l'impianto è connessa al proprio inverter e funziona secondo il proprio punto di massima potenza → così si riducono le perdite dovute ad ombreggiamento e diversa esposizione

In stringhe diverse possono essere usati moduli con caratteristiche e prestazioni differenti tra loro → Aumento di rendimento e affidabilità del sistema



Progettazione di un impianto fotovoltaico

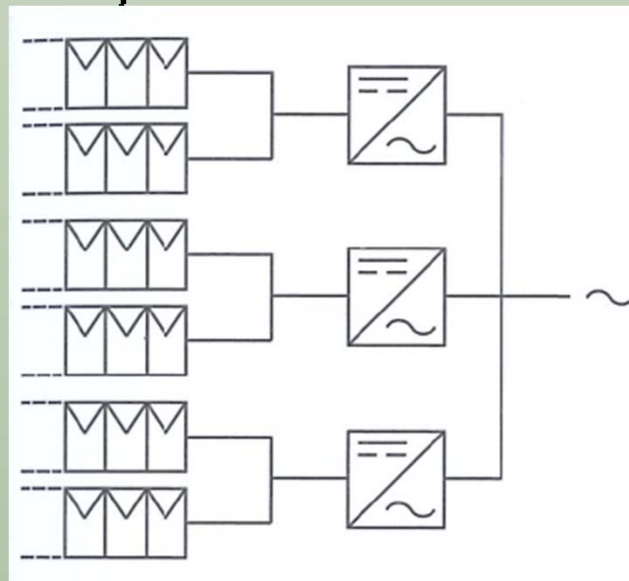
Dimensionamento dell'impianto

- Schema elettrico dell'impianto

3) Schema dell'impianto

Impianto multi-inverter: il campo è suddiviso in più parti (sottocampi), ognuno servito dal proprio inverter di stringa → ho un numero minore di inverter rispetto al caso di inverter di stringa e ho minori costi di impianto e manutenzione

L'avaria di un inverter comporta la perdita di produzione del relativo sottocampo e non di tutto l'impianto



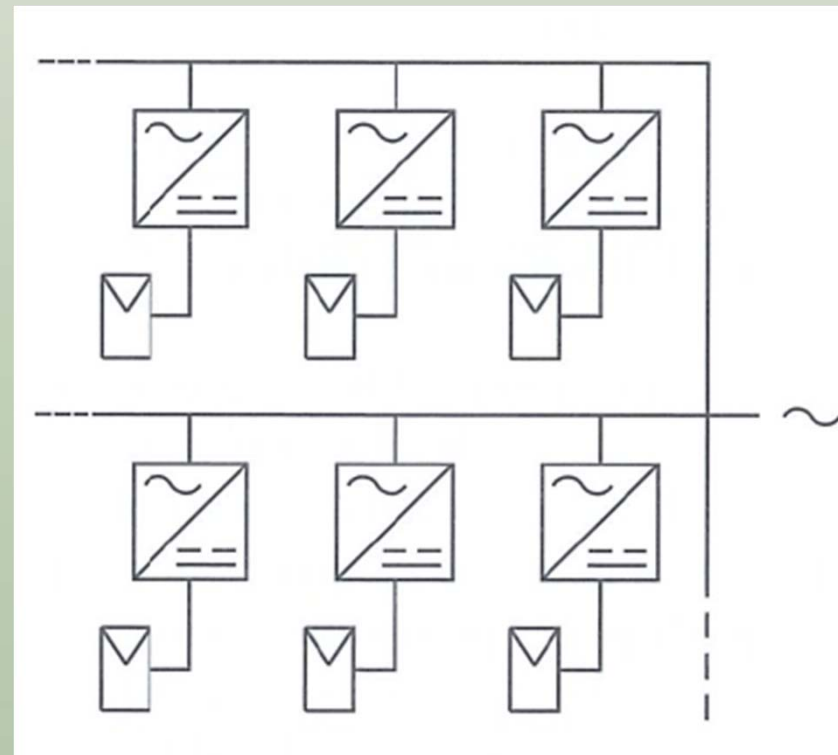
Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Schema elettrico dell'impianto

3) Schema dell'impianto

Moduli AC: si ha un inverter per ogni modulo



Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Schema elettrico dell'impianto

4) Scelta dell'inverter

La connessione degli impianti PV alla rete pubblica BT può essere:

- Monofase per potenze ≤ 6 kW;
- Trifase per potenze > 6 kW.

Gli inverter in commercio hanno potenze disponibili fino a:

- Circa 10 kW, monofase;
- Centinaia di kW, trifase.

Negli impianti fino a **2-3 kW** i moduli si suddividono in una o due stringhe che alimentano un inverter monofase. Per impianti **fino a 6 kW** si prevede, in genere, un unico inverter monofase a cui sono collegate le due o tre stringhe che costituiscono il campo PV.

Per impianti di potenza **superiore a 6 kW** (allacciamento trifase alla rete BT o MT) si può scegliere lo schema multi-inverter o mono-inverter.

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Schema elettrico dell'impianto

4) Scelta dell'inverter

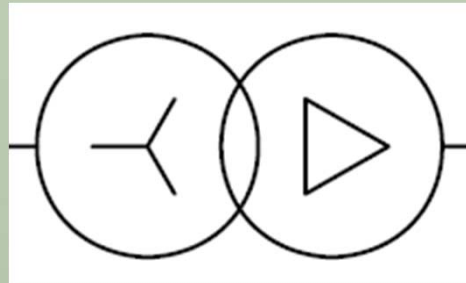
Gli inverter TRIFASI possono essere:

Con TRASFORMATORE

Hanno rendimenti inferiori. Per legge se l'impianto supera globalmente i 20 kW di potenza gli inverter devono essere dotati di trasformatore interno oppure si andrà ad inserirne uno **esterno** e in questo caso gli inverter possono anche essere TL.

Senza TRASFORMATORE (TL)

Hanno rendimenti maggiori ma presentano in genere una tensione di uscita inferiore a quella di rete (400V) poiché viene meno l'elevazione della tensione da parte del trasformatore.



Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Schema elettrico dell'impianto

4) Scelta dell'inverter

Gli inverter TRIFASI possono essere:

Con TRASFORMATORE

Hanno rendimenti inferiori. Per legge se l'impianto supera globalmente i 20 kW di potenza gli inverter devono essere dotati di trasformatore interno oppure andrò ad inserirne uno esterno e in questo caso gli inverter possono anche essere TL.



Quando l'impianto PV è associato ad un impianto utilizzatore in MT, tramite una cabina di trasformazione utente, questa separazione dalla rete pubblica è garantita dal trasformatore MT/BT (20 kV → 400V). Se l'inverter ha già il proprio trasformatore interno di separazione verso la rete non è necessario.

N.B: per moduli amorfi (film sottile) non posso usare inverter TL.

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Schema elettrico dell'impianto

4) Scelta dell'inverter

Potenza e luogo di installazione dell'INVERTER:

Il rendimento di un inverter non è costante ma varia con la potenza a cui lavora, che a sua volta dipende dalle condizioni ambientali e dall'irraggiamento solare. Al centro – sud Italia, dove si ha maggiore irraggiamento, l'inverter viene sovradimensionato (del 5-10%) poiché la potenza in ingresso è mediamente maggiore che al nord.

Gli inverter vanno installati, per quanto possibile, in ambienti con basse temperature, poiché il loro rendimento diminuisce a mano a mano che aumenta la temperatura. Inoltre l'ambiente deve essere ventilato adeguatamente per smaltire il calore dissipato dall'inverter; per grossi inverter si prevede un sistema a ventilazione forzata.

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Schema elettrico dell'impianto

4) Scelta dell'inverter

Tensioni in ingresso all'INVERTER:

- La massima tensione a vuoto del generatore PV, corrispondente alla minima T ipotizzabile, non deve superare la massima tensione in ingresso tollerata dall'inverter. Un'eccessiva tensione del generatore, infatti, può comportare un danno irreparabile all'inverter.
- La min tensione U_{mpp} del generatore PV, valutata alla massima temperatura di esercizio dei moduli (70°C) non deve essere inferiore alla minima tensione di funzionamento dell'MPPT dell'inverter.
- La max tensione U_{mpp} del generatore PV, valutata alla minima temperatura di installazione dei moduli (-10°C) non deve superare la massima tensione di funzionamento dell'MPPT dell'inverter.

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Schema elettrico dell'impianto

5) Cavi

Le condutture elettriche devono essere in grado di resistere a severe condizioni ambientali (elevate T, pioggia, radiazione solare,..).

- ✓ I cavi in CC devono avere una tensione nominale adeguata a quella del sistema elettrico; in corrente continua la tensione del sistema elettrico non deve superare 1,5 volte la tensione nominale dei cavi. In particolare i cavi di stringa o solari collegano tra loro i moduli e la stringa al primo quadro, questi devono resistere a T di circa 70°C.
- ✓ I cavi in CA sono installati a valle dell'inverter fino al punto di connessione dell'impianto fotovoltaico con l'impianto utilizzatore; sono cavi non solari e poiché sono lontani dai moduli si trovano a T ambiente (30-40°C).

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Schema elettrico dell'impianto

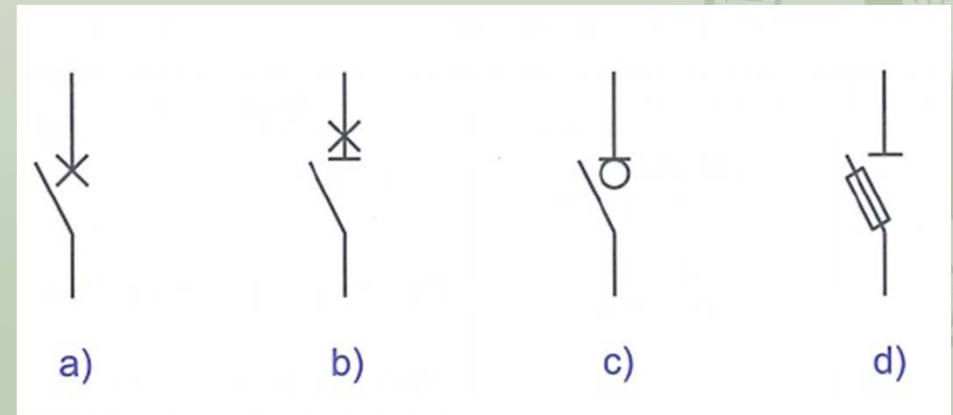
6) Dispositivi di protezione, manovre o sezionamento

I dispositivi di interfaccia si devono aprire in mancanza di tensione e sono costituiti da:

Interruttori automatici (a,b)

Interruttore di manovra sezionatore(c)

Contatore combinato con fusibili (d)



Il dispositivo di interfaccia deve essere unico per l'intero impianto PV anche in presenza di più inverter e può essere comandato da più protezioni di interfaccia, ciascuna dedicata ad un inverter.

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Schema elettrico dell'impianto

6) Dispositivi di protezione, manovre o sezionamento

Ogni circuito deve poter essere sezionabile in corrispondenza della sua alimentazione; l'inverter deve poter essere sezionato sia sul lato in c.c. sia su quello in c.a. in modo da permetterne la manutenzione escludendo entrambe le sorgenti di manutenzione.

Lato c.a.: a valle dell'inverter si prevede un dispositivo di sezionamento generale (interruttore automatico)

Lato c.c.: a monte dell'inverter deve essere installato un sistema di sezionamento azionabile sottocarico (interruttore di manovra-sezionatore)

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Schema elettrico dell'impianto

6) Dispositivi di protezione, manovre o sezionamento

Si prevede un'interfaccia di protezione esterna se:

1. Se ho più di 3 inverter
2. Se almeno uno di questi è da più di 6kW
3. Se l'impianto ha una potenza > 20kW

V _o >	
V>	PI
V<	
f>	
f<	

L'interfaccia controlla se la rete è funzionante e se non ci sono anomalie ($f \neq 50$ Hz, $V \neq 220$ V). Gli inverter hanno già un dispositivo di questo tipo interno ma se l'impianto supera i 20 kW di potenza viene inserito anche all'esterno.

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Schema elettrico dell'impianto

7) Quadri

I quadri elettrici sono componenti dell'impianto ai quali si applicano le norme EN 60439; sono installati nel campo fotovoltaico ed esposti alle intemperie devono avere grado di protezione almeno IP 54 e resistere agli ultravioletti.

Si distingue tra:

Quadri di Campo in c.c.

Quadri di parallelo o di consegna

Possono essere:

Fino a 600VDC (da esterno o da interno)

Fino a 20 kWp

Fino a 1000VDC (da esterno o da intero)

Fino a 50 kWp

5_Analisi dei costi e prestazioni dell'impianto



Progettazione di un impianto fotovoltaico



Analisi dei costi

1. MODULI: 2000-2400 €/kWp (moduli policristallini); 2600 €/kWp (moduli amorfi)
 2. INVERTER: 400-800 €/kWp (almeno 1 ogni 100 kW)
 3. INSTALLAZIONE: 400 €/kWp
 4. STRUTTURE DI SUPPORTO (staffaggio): 300 €/kWp
 5. QUADRI: 200 €/kWp
 6. COLLEGAMENTI ELETTRICI: ~ 150-200 €/kWp
 7. PRATICHE e PROGETTO: ~ 300 €/kWp (Potenza < 20 kWp)
~ 250 €/kWp (Potenza > 20 kWp)
 8. ONERI PER LA SICUREZZA: ~ 50-100 €/kWp
- Possibilità di fare una ASSICURAZIONE FURTO – INCENDIO a X anni (circa 20 €/kWp)
- Possibilità di chiedere un FINANZIAMENTO pari ad una certa percentuale del costo dell'impianto per una certa durata (es. 15 anni pari all'80% del costo dell'impianto)

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Analisi dei costi

Da catalogo listino fotovoltaico:

SUNERG POLY 72 Cells 		Modello	Wp	Dimensione mm	Peso kg	Prezzo €
		Model	Wp	Dimension mm	Weight kg	Price €
		Modèle	Wc	Dimensions mm	Poids kg	Prix €
		XP 72/156-280 I/C	280	*	23,8	1056,00
		XP 72/156-275 I/C	275	*	23,8	1036,00
		XP 72/156-270 I/C	270	*	23,8	1018,00

**SUNNY
MINI
CENTRAL**



SMC 6000 TL
+ DISPLAY (output 98%) versione italiana certificata +ESS
(98% output) Italian version / Version française certified +ESS

6000	4.570,00
------	----------



SMC 7000 TL
+ DISPLAY (output 98%) versione italiana certificata +ESS
(98% output) Italian version / Version française certified +ESS

7000	4.740,00
------	----------



SMC 8000 TL
+ DISPLAY (output 98%) versione italiana certificata +ESS
(98% output) Italian version / Version française certified +ESS

8000	4.900,00
------	----------

SMC 9000 TL
+ DISPLAY (output 98%) OUTPUT versione italiana certificata +ESS
(98% output) Italian version / Version française certified +ESS

9300	5.410,00
------	----------

SMC 10000 TL
+ DISPLAY (output 98%) versione italiana certificata +ESS
(98% output) Italian version / Version française certified +ESS

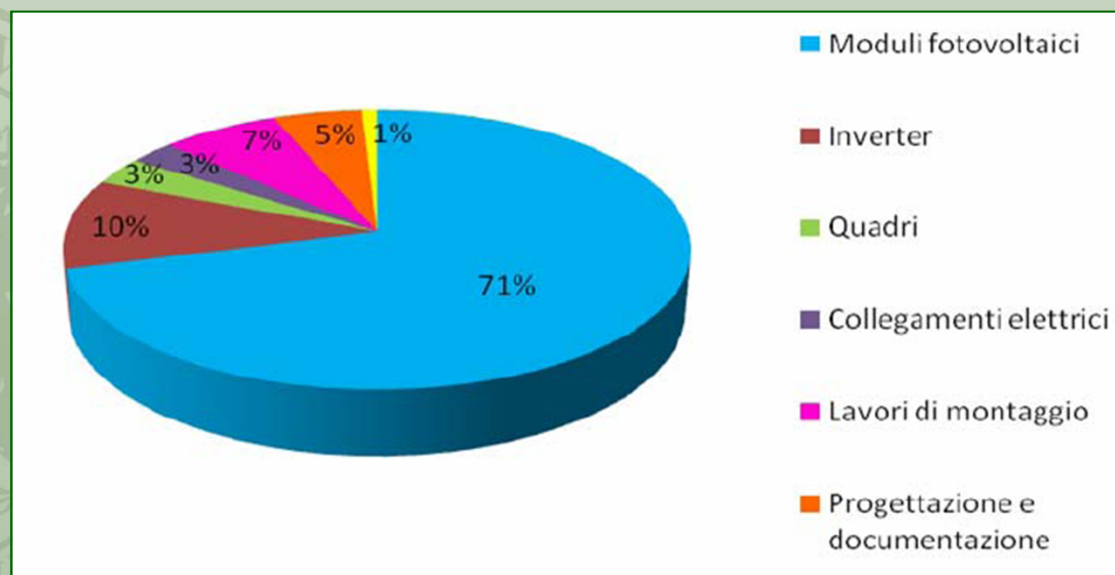
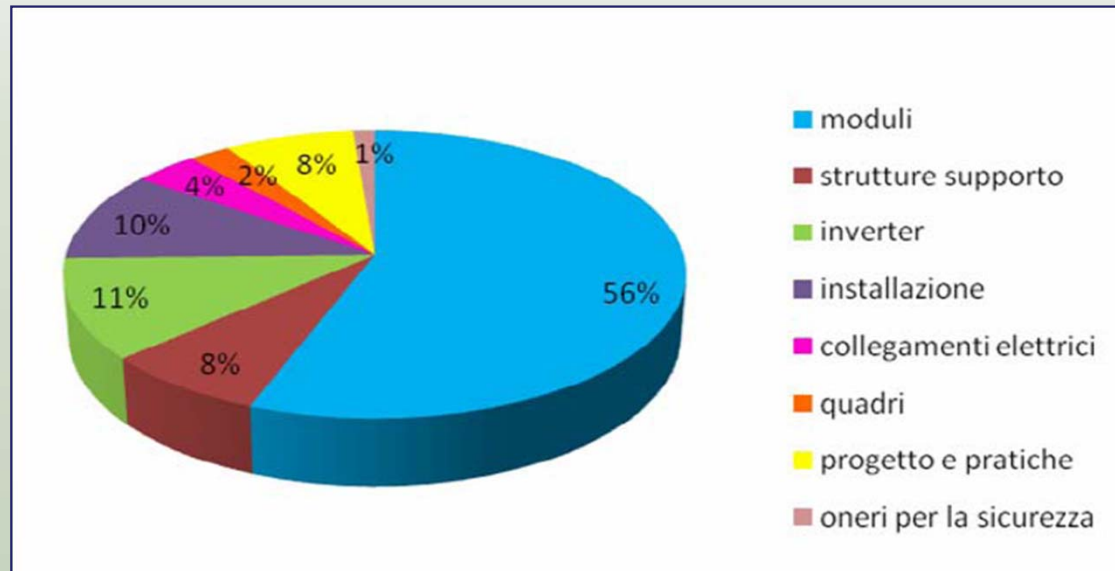
10350	5.750,00
-------	----------

SMC 11000 TL
+ DISPLAY (output 98%) OUTPUT versione italiana certificata +ESS
(98% output) Italian version / Version française certified +ESS

11400	6.090,00
-------	----------

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Analisi dei costi



6_Analisi finanziaria



Progettazione di un impianto fotovoltaico

Analisi finanziaria

-Flusso di cassa (*Cash-flow* di un investimento): analisi per un prefissato periodo di riferimento (vita utile o tecnica di un investimento), dei flussi di denaro in uscita e in ingresso associati alla realizzazione di un investimento.

-Valore attuale netto (VAN): somma algebrica delle entrate e delle uscite attualizzate.

Limiti: è un indice assoluto e a parità di redditività privilegia gli investimenti di maggiori dimensioni

-Pay-Back Period: numero di anni necessario per compensare l'investimento attraverso flussi positivi (per cui $\sum F_k = 0$). È la prima scadenza in cui si verifica un'inversione di segno dei flussi di cassa.

Limiti: non tiene conto della redditività dell'investimento nell'arco della vita utile e non considera la variabilità del valore del denaro nel tempo.

Progettazione di un impianto fotovoltaico

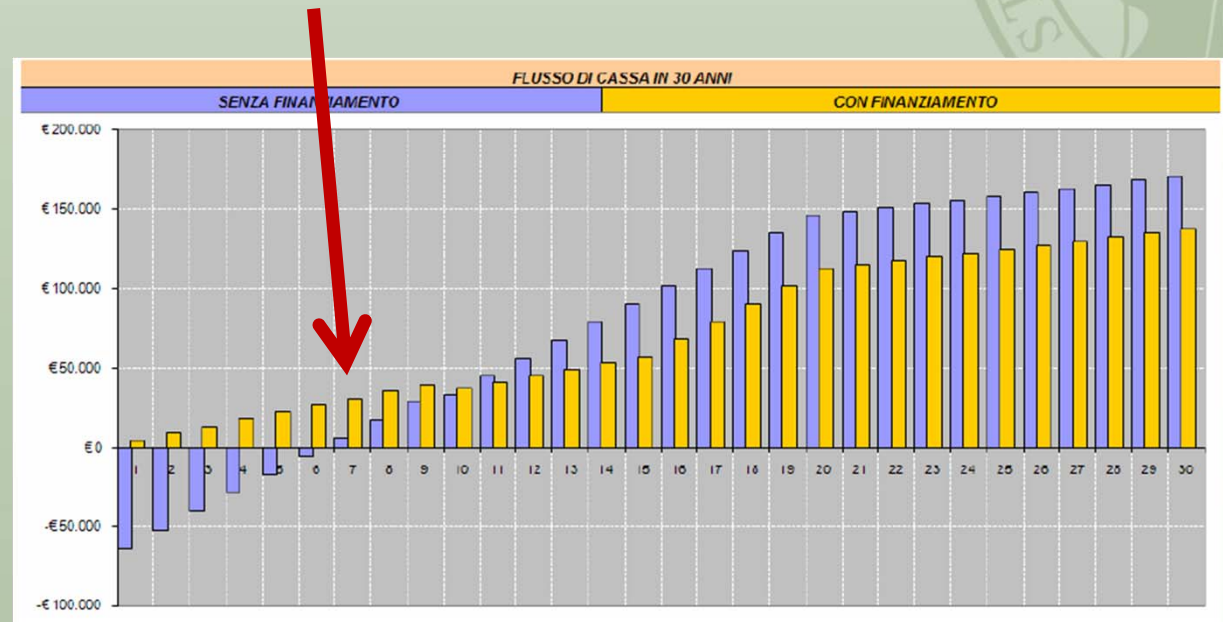
Analisi finanziaria

-**Tasso Interno di Rendimento (TIR)**: individuazione del tasso di attualizzazione che azzerava algebricamente le entrate e le uscite associate al progetto e confronto con un tasso individuato (*benchmark*).

Limiti: non può essere calcolato in forma esplicita ed è meno immediato da interpretare.

Sono accettabili valori compresi tra **10 e 15 %**

Programma: **SIMULARE**



7_Bilancio ambientale



Progettazione di un impianto fotovoltaico

Bilancio ambientale

Possibilità di definire il risparmio di combustibile derivante dall'impiego di fonti energetiche rinnovabili → fattore di conversione dell'energia primaria in energia elettrica (**tep/MWh**)

tep = tonnellate equivalenti di petrolio necessarie per la realizzazione di 1 MWh di energia (**0,187 t**) al 2008

Altre emissioni di inquinanti evitate in atmosfera
(Rapporto ambientale ENEL 2006):

CO₂ → 496 g/kWh
SO₂ → 0,93 g/kWh
NO_x → 0,58 g/kWh
Polveri → 0,029 g/kWh

Applicazione ad un caso di studio



Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Esempio:

Villetta monofamiliare

Posizione: comune di Roma (latitudine $41,5^{\circ}\text{N}$)

Potenza disponibile: 6 kW

Consumo annuo medio: 5950 kWh

Esposizione: una falda esposta a SUD (inclinazione 30° , superficie 70 m^2)

Impianto di potenza pari a 3 kW (14 pannelli da 210 W, disposti su due stringhe di 7 moduli, area occupata $7,5\text{ m} \times 3,2\text{ m} = 24\text{ m}^2$)

Software:

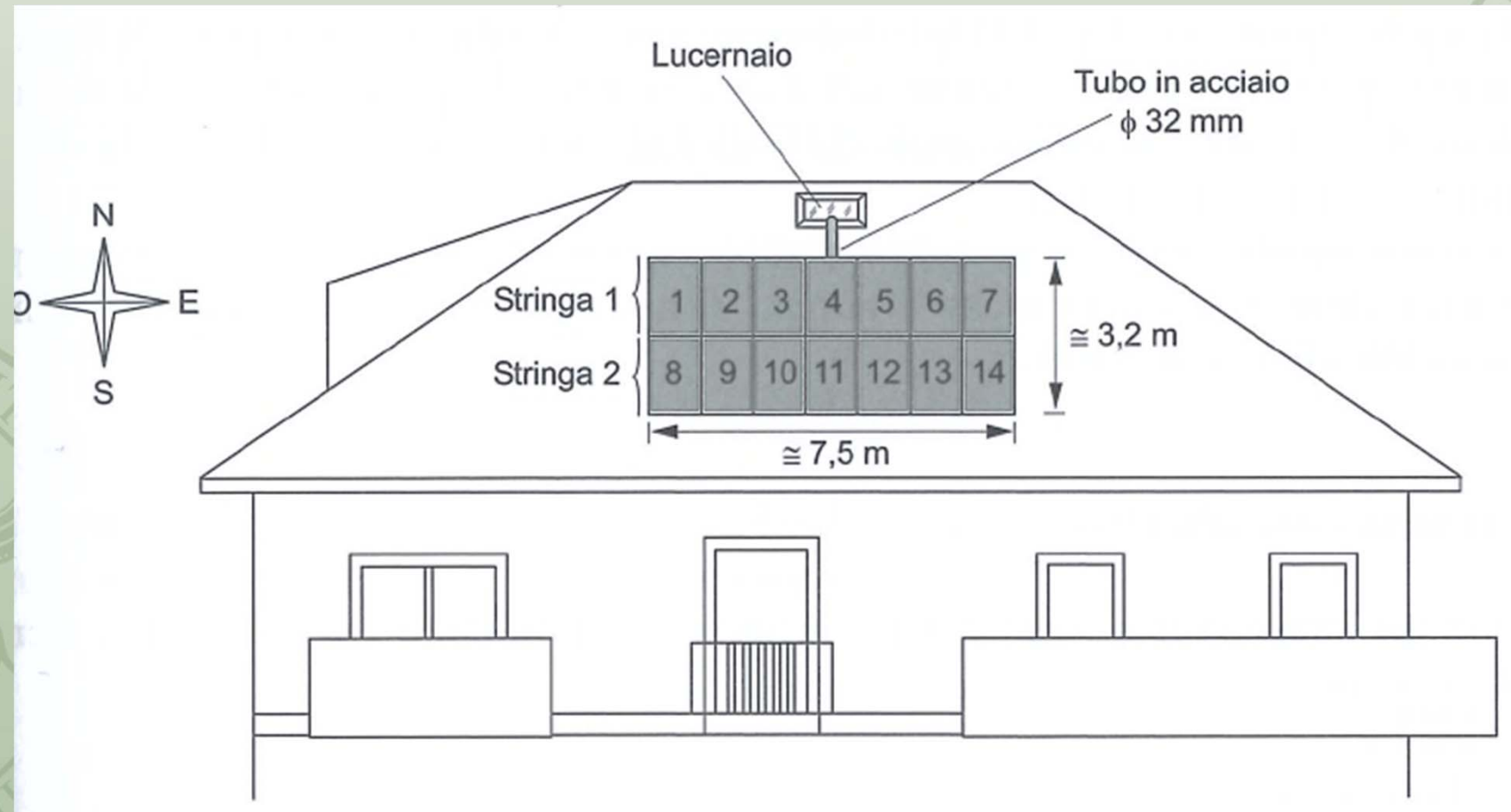
Simulare

Sunny Design

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Esempio:
Villetta monofamiliare



Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Esempio:

Producibilità: $2,94 \times 1612 \times 1,13 = 5355 \text{ kWh}$ (vedi tab.)

TABELLA 2.B - Coefficienti da applicare alla radiazione solare su superficie orizzontale per ottenere la radiazione solare su superfici diversamente orientate e inclinate. (Centro Italia: latitudine 41° N).

INCLINAZIONE	ORIENTAMENTO				
	0° (sud)	±15°	±30°	±45°	±90° (est, ovest)
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	1,07	1,07	1,06	1,04	0,99
15°	1,09	1,09	1,08	1,06	0,97
20°	1,11	1,11	1,09	1,07	0,96
30°	1,13	1,12	1,10	1,07	0,92
40°	1,12	1,12	1,09	1,05	0,87
50°	1,09	1,08	1,05	1,01	0,82
60°	1,03	1,02	0,99	0,96	0,76
70°	0,94	0,94	0,92	0,88	0,70
90°	0,72	0,72	0,71	0,70	0,56

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Esempio:

Producibilità:

$$2,94 \times 1612 \times 1,13 = 5355 \text{ kWh (vedi tab.)}$$

A cui tolgo le perdite stimate del sistema FV $\sim 19 - 20\%$

$$5355 \times 0,81 \cong 4300 \text{ kWh/anno} \rightarrow 72,3\% \text{ del consumo medio annuo}$$

Costi:

Manutenzione ordinaria $\rightarrow 0,7\%$ del costo totale

Manutenzione straordinaria $\rightarrow 9\%$ del costo totale (al 10° anno)

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Analisi dei costi

- Esempio:

Costo medio impianto FV (Chiavi in mano) = 3.000 - 6.000 Euro a kWp

3 kW installati verso Sud e Tilt 30°

Costo (CI) = 2,94 kW x 5.000 Euro = 14.700 Euro

Determinazione della tariffa incentivante (CE 2010)

	TARIFFA		
	NON INTEGRATO	PARZIALMENTE INTEGRATO	INTEGRATO
kW	€/kWh	€/kWh	€/kWh
1 ≤ P ≤ 3	0,384	0,422	0,470
3 < P ≤ 20	0,365	0,403	0,442
20 < P	0,346	0,384	0,422

Incentivo totale annuo: 0,422 x 4300 = 1815 €

Progettazione di un impianto fotovoltaico

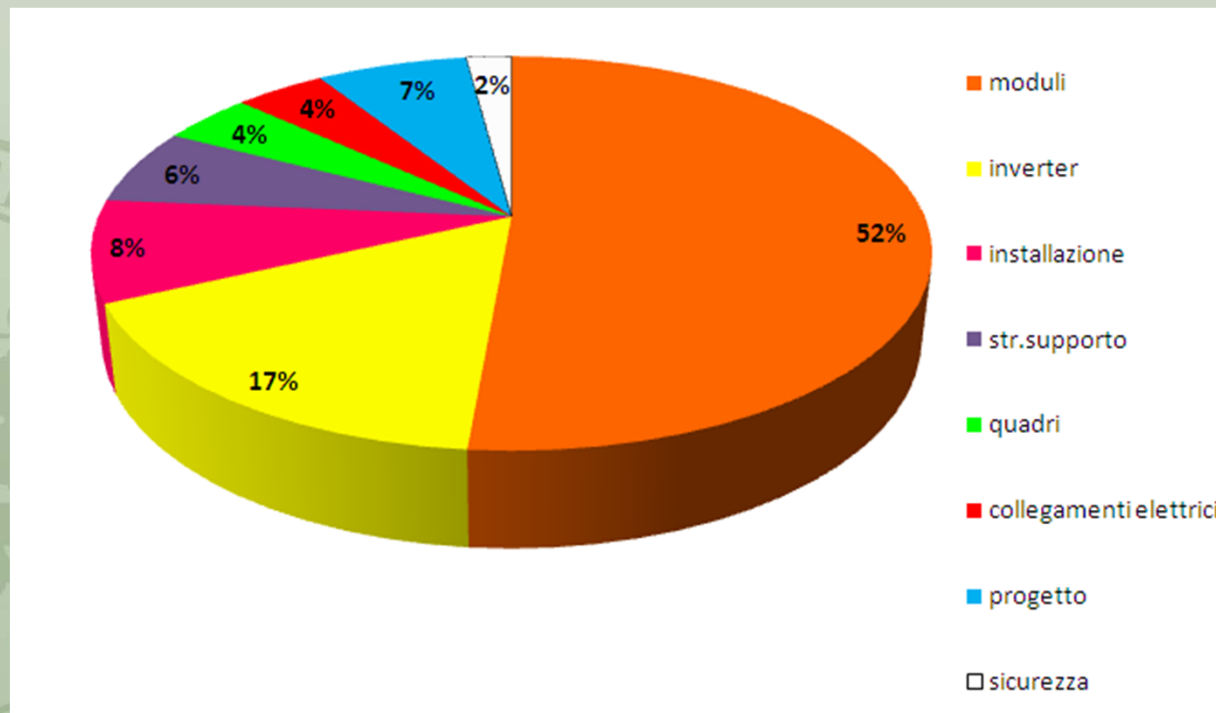
Analisi dei costi

- Esempio:

Costo medio impianto FV (Chiavi in mano) = 3.000 - 6.000 Euro a kWp

3 kW installati verso Sud e Tilt 30°

Costo (CI) = 2,94 kW x 5.000 Euro = 14.700 Euro



Voci di costo	Euro
Moduli	7400
Inverter	2400
Installazione	1200
Str. di supporto	900
Quadri	600
Collegamenti elettrici	600
Progetto	1000
Oneri per la sicurezza	300
TOTALE	14400

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Esempio:

Villetta monofamiliare

Considerando la località e il tipo di posa si ipotizza una temperatura minima e massima dei moduli di -10°C e 70°C

Suntech STP 210 – 24Vc

Tenuto conto della modesta potenza e della ridotta estensione del campo fotovoltaico con un'unica esposizione si opta per un **impianto monoinverter**

Sunny Boy 3000TL - 20

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Esempio:

Inverter

Sunny Boy 3000TL-20

Valori d'ingresso:
Potenza CC max.: 3,20 kW
Tensione CC max.: 550 V
Tensione nominale CC: 400 V
Range di tensione FV, MPPT: 125 - 440 V
Corrente max. d'ingresso: 17 A

Valori d'uscita:
max. potenza CA: 3,00 kW
Potenza nominale CA: 3,00 kW
Tensione di rete (cioè tensione sul punto di immissione): 180 - 280 V
Frequenza di rete: 47,5 - 50,5 Hz

Grado di rendimento max.: 97,0 %
Grado di rendimento europeo: 96,3 %

Tipo di protezione: Elektronik: IP65

Larghezza: 470 mm
Altezza: 445 mm
Profondità: 180 mm
Peso: 22 kg

Chiudi

Modulo FV

Suntech: STP210-24/Vc

Produttore: Suntech
Tipo: STP210-24/Vc
Materiale: multi
Numero di celle nel modulo: 72
Lunghezza: 1956 mm
Larghezza: 992 mm
Superficie: 1,94 m²

Potenza nominale: 210 W
Tensione MPP: 34,2 V
Corrente MPP: 6,1 A
Corrente di corto circuito: 7,15 A
Tensione a vuoto: 42,00 V
Grado di rendimento (STC): 10,82 %
Tensione di sistema max.: 1000 V

Coefficienti di temperatura:
Tensione a vuoto: -0,36905 %/°C (-155,00000 mV/°C)
Corrente di corto circuito: 0,06000 %/°C (--- mA/°C)
Tensione MPP: --- %/°C (--- mV/°C)
Corrente MPP: --- %/°C (0,00000 mA/°C)

Tolleranza:
Tensione a vuoto: 0,00000 %
Corrente di corto circuito: 0,00000 %
Tensione MPP: 0,00000 %
Corrente MPP: 0,00000 %





Chiudi

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Esempio:

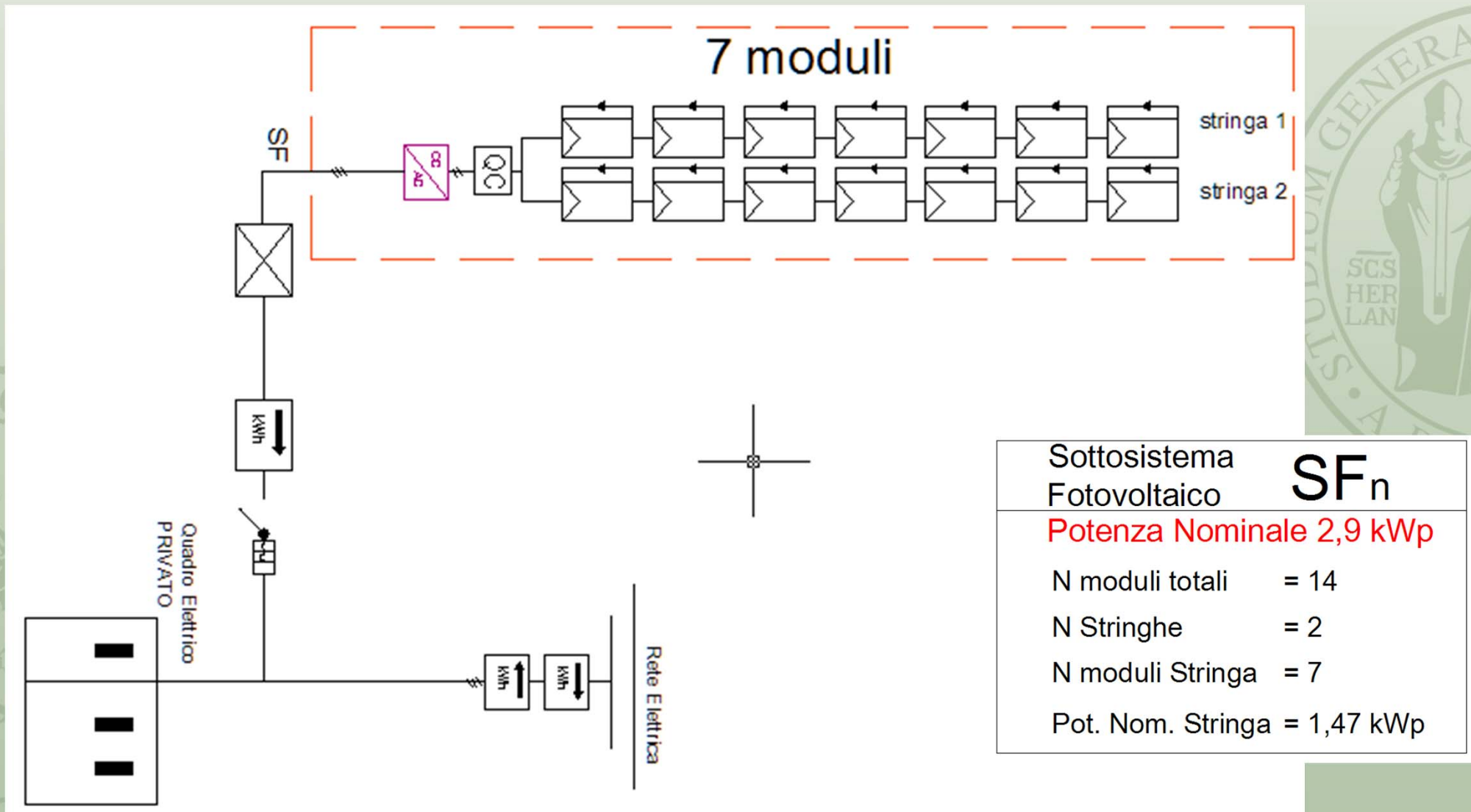
Verifiche di accoppiamento tra inverter e moduli:

- 1-Max tensione di stringa < max tensione tollerata da inverter 
- 2-Tensione MPP minima di stringa > minima tensione dell'MPPT dell'inverter 
- 3-Tensione MPP massima di stringa < massima tensione dell'MPPT dell'inverter 
- 4-Somma delle correnti MPP massime delle due stringhe in parallelo < massima corrente in ingresso all'inverter 

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Esempio: Schema unifilare



Progettazione di un impianto fotovoltaico

Determinazione del risparmio dovuto allo scambio sul posto

- Esempio:

Stima di massima economico – finanziaria - studio di fattibilità dell'impianto (SIMULARE)

MEE (Mancato Esborso Economico) = $[tariffa\ media\ energia \times (Consumi - Producibilità)]$

La tariffa media dell'energia è data da 4 contributi:

1. Quota Potenza $\cong 0,01$ €
2. Fornitura (Enel, Edison,..) $\cong 0,10$ €
3. Dispacciamento (corrente in AT – 135 kV) $\cong 0,02$ €
4. Distribuzione (da AT \rightarrow MT \rightarrow BT) $\cong 0,02$ €

} Quota Energia

TOTALE **A** = $0,15$ € + ACCISE **B** = TOTALE **A+B**

TOTALE **A+B** + 10% (iva) = TOTALE **C** = $0,18$ €

In realtà il risparmio è solo sulla Quota Energia \rightarrow viene remunerata solo la Quota Energia (senza accise e senza IVA) mentre si paga il totale (C).

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Determinazione del risparmio dovuto allo scambio sul posto

- **Esempio:**

Stima di massima economico – finanziaria - studio di fattibilità dell'impianto (SIMULARE)

MEE (Mancato Esborso Economico) = [tariffa media energia x (Consumi – Producibilità)]

***N.B.** Nella valutazione dei ricavi (Simulare) il risparmio economico tiene conto anche del costo dell'energia acquistata che viene sottratta al costo di quella effettivamente risparmiata (MEE).*

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Esempio:

Villetta monofamiliare – Caso 2

Posizione: comune di **Cuneo** (latitudine $44^{\circ} 23'N$)

Potenza disponibile: 6 kW

Consumo annuo medio: 5950 kWh

Esposizione: una falda esposta a SUD (inclinazione 30° , superficie 70 m^2)

Impianto di potenza pari a 3 kW (14 pannelli da 210 W, disposti su due stringhe di 7 moduli, area occupata $7,5 \text{ m} \times 3,2 \text{ m} = 24 \text{ m}^2$)

Software:

Simulare

Sunny Design

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Esempio:

Producibilità: $2,94 \times 1210 \times 1,13 = 4020 \text{ kWh}$ (vedi tab.)

LOCALITA'	RADIAZIONE SOLARE MEDIA ANNUALE (kWh/mq)	LOCALITA'	RADIAZIONE SOLARE MEDIA ANNUALE (kWh/mq)	LOCALITA'	RADIAZIONE SOLARE MEDIA ANNUALE (kWh/mq)
AGRIGENTO	1923	GENOVA	1425	PAVIA	1316
ALESSANDRIA	1276	GORIZIA	1326	POTENZA	1545
ANCONA	1471	GROSSETO	1570	RAVENNA	1411
AOSTA	1274	IMPERIA	1544	REGGIO CALABRIA	1751
ASCOLI PICENO	1471	ISERNIA	1464	REGGIO EMILIA	1427
L'AQUILA	1301	CROTONE	1679	RAGUSA	1033
AREZZO	1329	LECCO	1271	RIETI	1366
ASTI	1300	LODI	1311	ROMA	1612
AVELLINO	1559	LECCE	1639	RIMINI	1455
BARI	1734	LIVORNO	1511	ROVIGO	1415
BERGAMO	1276	LATINA	1673	SALERNO	1419
BELLUNO	1272	LUCCA	1415	SIENA	1400
BENEVENTO	1510	MACERATA	1499	SONDRIO	1442
DOLOGNA	1420	MESSINA	1730	LA SPEZIA	1452
BRINDISI	1668	MILANO	1307	SIRACUSA	1870
BRESCIA	1371	MANTOVA	1316	SASSARI	1669
BOLZANO	1329	MODENA	1405	SAVONA	1384
CAGLIARI	1635	MASSA-CARRARA	1436	TARANTO	1601
CAMPOBASSO	1597	MATERA	1584	TERAMO	1487
CASERTA	1678	NAPOLI	1645	TRENTO	1423
CHIETI	1561	NOVARA	1327	TORINO	1339
CALTANISSETTA	1821	NUORO	1655	TRAPANI	1867
CUNEO	1210	ORISTANO	1654	TERNI	1409
COMO	1252	PALERMO	1784	TRIESTE	1325
CREMONA	1347	PIACENZA	1400	TREVISO	1385

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Esempio:

Producibilità:

$$2,94 \times 1210 \times 1,13 = 4020 \text{ kWh (vedi tab.)}$$

A cui tolgo le perdite stimate del sistema FV $\sim 19 - 20\%$

$$4020 \times 0,81 \cong 3250 \text{ kWh/anno} \rightarrow \mathbf{54\%}$$
 del consumo medio annuo

Costi:

Manutenzione ordinaria $\rightarrow 0,7\%$ del costo totale

Manutenzione straordinaria $\rightarrow 9\%$ del costo totale (al 10° anno)

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Esempio:

Villetta monofamiliare – Caso 3

Posizione: comune di **Siracusa** (latitudine $44^{\circ} 23'N$, longitudine $7^{\circ}33'E$)

Potenza disponibile: 6 kW

Consumo annuo medio: 5950 kWh

Esposizione: una falda esposta a SUD (inclinazione 30° , superficie 70 m^2)

Impianto di potenza pari a 3 kW (14 pannelli da 210 W, disposti su due stringhe di 7 moduli, area occupata $7,5 \text{ m} \times 3,2 \text{ m} = 24 \text{ m}^2$)

Software:

Simulare

Sunny Design

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Esempio:

Producibilità: $2,94 \times 1870 \times 1,11 = 6103 \text{ kWh}$ (vedi tab.)

RADIAZIONE SOLARE ANNUALE SUL PIANO ORIZZONTALE - UNI 10349

LOCALITA'	RADIAZIONE SOLARE MEDIA ANNUALE (kWh/mq)	LOCALITA'	RADIAZIONE SOLARE MEDIA ANNUALE (kWh/mq)	LOCALITA'	RADIAZIONE SOLARE MEDIA ANNUALE (kWh/mq)
AGRIGENTO	1923	GENOVA	1425	PAVIA	1316
ALESSANDRIA	1276	GORIZIA	1326	POTENZA	1545
ANCONA	1471	GROSSETO	1570	RAVENNA	1411
AOSTA	1274	IMPERIA	1544	REGGIO CALABRIA	1751
ASCOLI PICENO	1471	ISERNIA	1464	REGGIO EMILIA	1427
L'AQUILA	1301	CROTONE	1679	RAGUSA	1033
AREZZO	1329	LECCO	1271	RIETI	1366
ASTI	1300	LODI	1311	ROMA	1612
AVELLINO	1559	LECCE	1639	RIMINI	1455
BARI	1734	LIVORNO	1511	ROVIGO	1415
BERGAMO	1276	LATINA	1673	SALERNO	1419
BELLUNO	1272	LUCCA	1415	SIENA	1400
BENEVENTO	1510	MACERATA	1499	SONDRIO	1442
DOLOGNA	1420	MESSINA	1730	LA SPEZIA	1432
BRINDISI	1668	MILANO	1307	SIRACUSA	1870
BRESCIA	1371	MANTOVA	1316	SASSARI	1669
BOLZANO	1329	MODENA	1405	SAVONA	1384
CAGLIARI	1635	MASSA-CARRARA	1436	TARANTO	1601
CAMPORBASSO	1597	MATERA	1584	TERAMO	1487
CASERTA	1678	NAPOLI	1645	TRENTO	1423
CHIETI	1561	NOVARA	1327	TORINO	1339
CALTANISSETTA	1831	NUORO	1655	TRAPANI	1867
CUNEO	1210	ORISTANO	1654	TERNI	1409
COMO	1252	PALERMO	1784	TRIESTE	1325
CREMONA	1347	PIACENZA	1400	TREVISO	1385
COSENZA	1852	PADOVA	1266	UDINE	1272
CATANIA	1829	PESCARA	1535	VARESE	1287
CATANZARO	1663	PERUGIA	1463	VERBANIA	1326

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Esempio:

Producibilità:

$$2,94 \times 1870 \times 1,11 = 6103 \text{ kWh (vedi tab.)}$$

A cui tolgo le perdite stimate del sistema FV $\sim 19 - 20\%$

$$6103 \times 0,81 \cong 4950 \text{ kWh/anno} \rightarrow \mathbf{85\%}$$
 del consumo medio annuo

Costi:

Manutenzione ordinaria $\rightarrow 0,7\%$ del costo totale

Manutenzione straordinaria $\rightarrow 9\%$ del costo totale (al 10° anno)

Progettazione di un impianto fotovoltaico

Dimensionamento dell'impianto

- Confronto

Casi di studio	Località	Esposizione		Producibilità dell'impianto	Copertura dei consumi
		Inclinazione	Azimut		
1	Roma	30°	0°	4.300 kWh/a	72%
2	Cuneo	30°	0°	3.250 kWh/a	54%
3	Siracusa	30°	0°	4.950 kWh/a	85%

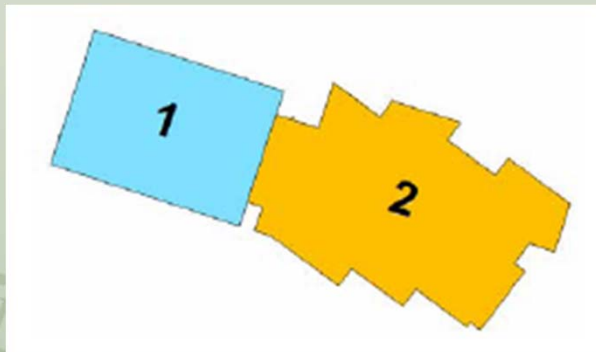
Applicazione – Impianto FV realizzato sulla copertura di una Scuola Pubblica

Progettazione di un impianto fotovoltaico

- Esempio di progetto FV

Impianto fotovoltaico realizzato sulla copertura di una scuola pubblica

1. Scheda di sopralluogo



Tab. 2.1: Irradiazione giornaliera media mensile sul piano orizzontale [kWh/m²] per Foligno.

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1,79	2,54	3,72	4,78	5,89	6,40	6,43	5,51	4,20	2,94	1,95	1,44

Irradiazione solare annua sul piano orizzontale: 1451 kWh/m²

Ombreggiamenti: gli alberi che si trovano intorno all'edificio non causano disturbi poiché la copertura dell'edificio si trova al di sopra della quota massima raggiunta dalla vegetazione.

2. Calcolo del fabbisogno di energia elettrica (consumi medi 2007: 11500 kWh)

Progettazione di un impianto fotovoltaico

- Esempio di progetto FV

Impianto fotovoltaico realizzato sulla copertura di una scuola pubblica



Progettazione di un impianto fotovoltaico

- Esempio di progetto FV

Impianto fotovoltaico realizzato sulla copertura di una scuola pubblica

4. Dimensionamento - Criterio: Massimo sfruttamento della superficie disponibile

2 soluzioni: pannelli policristallini (A) – pannelli amorfi (B)

Soluzione A (P:17,82 kW):

66 moduli policristallini da 270 W
potenza impianto = 17,82 kW



3 inverter di potenza nominale pari a 6 kW
ognuno articolato in 2 stringhe

Sunny Design

Soluzione B (P:10,07 kW):

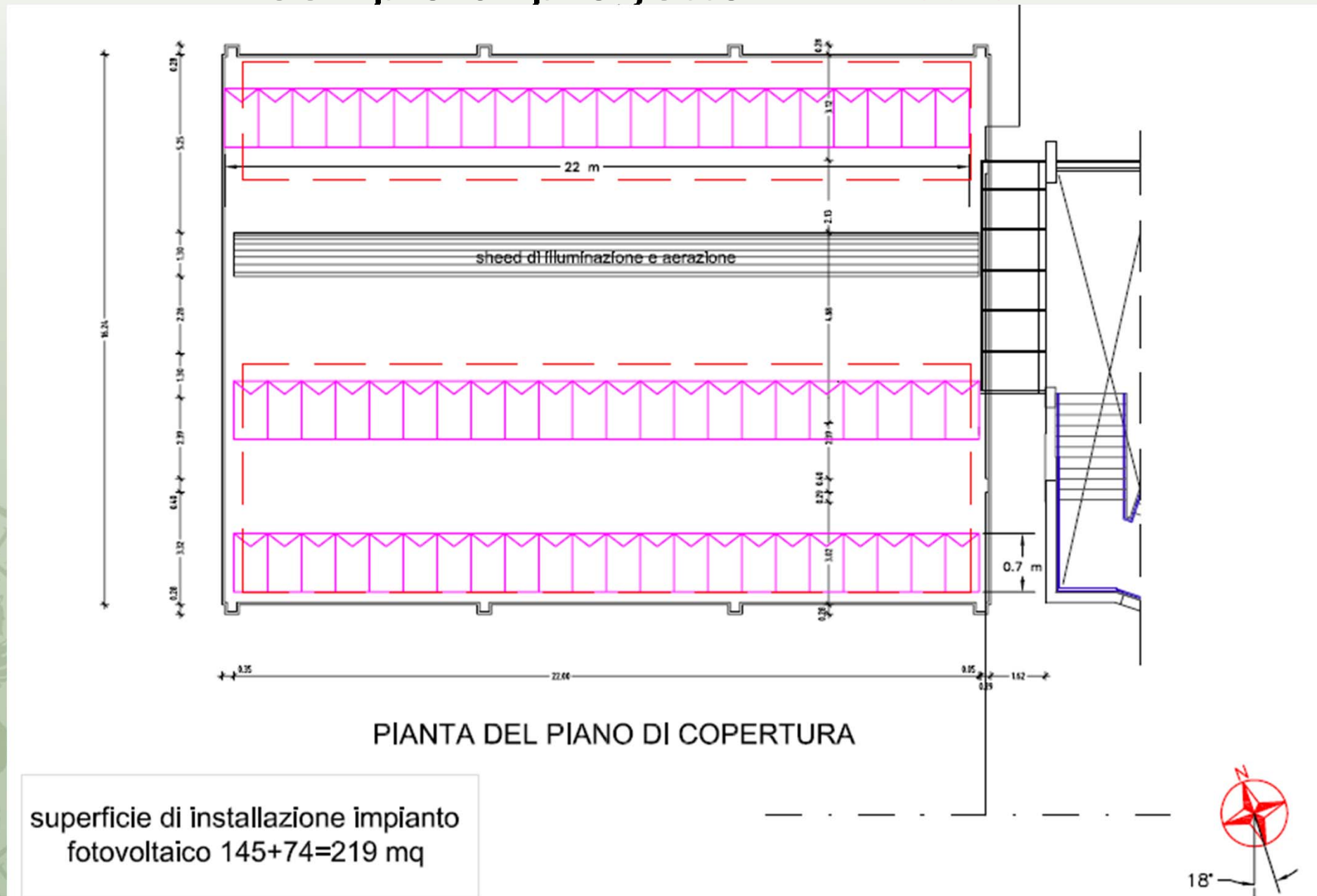
76 moduli amorfi da 68 Wp
36 moduli amorfi da 136 Wp
potenza impianto = 10,06 kW



3 inverter: 2 di potenza nominale pari a 2300 W, articolato in 2 stringhe ciascuna da 19 moduli; 1 di potenza nominale pari a 4600W articolato in 4 stringhe da 9 moduli ciascuna.

Progettazione di un impianto fotovoltaico

- Esempio di progetto FV – soluzione A



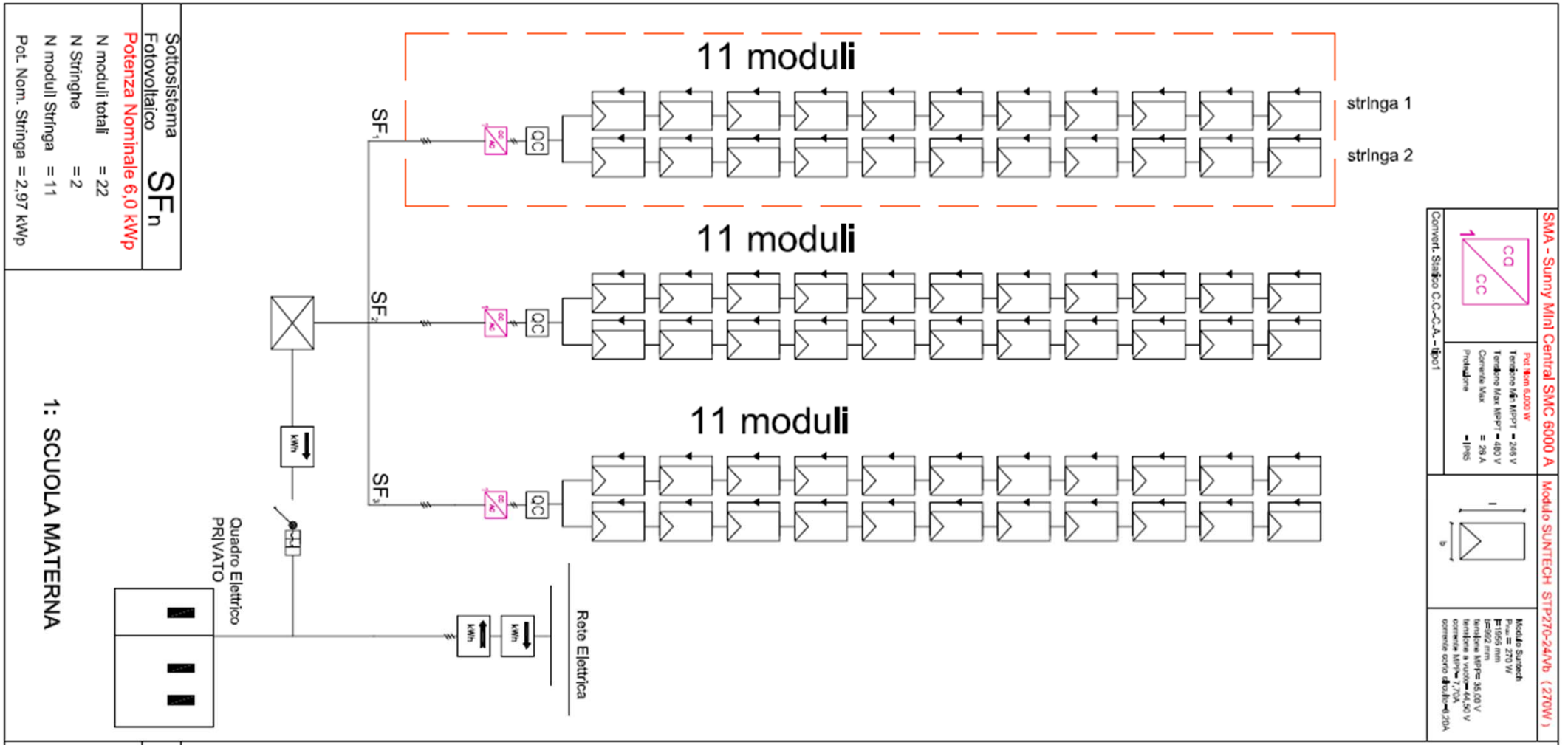
Progettazione di un impianto fotovoltaico

- Esempio di progetto FV – soluzione B





Progettazione di un impianto fotovoltaico

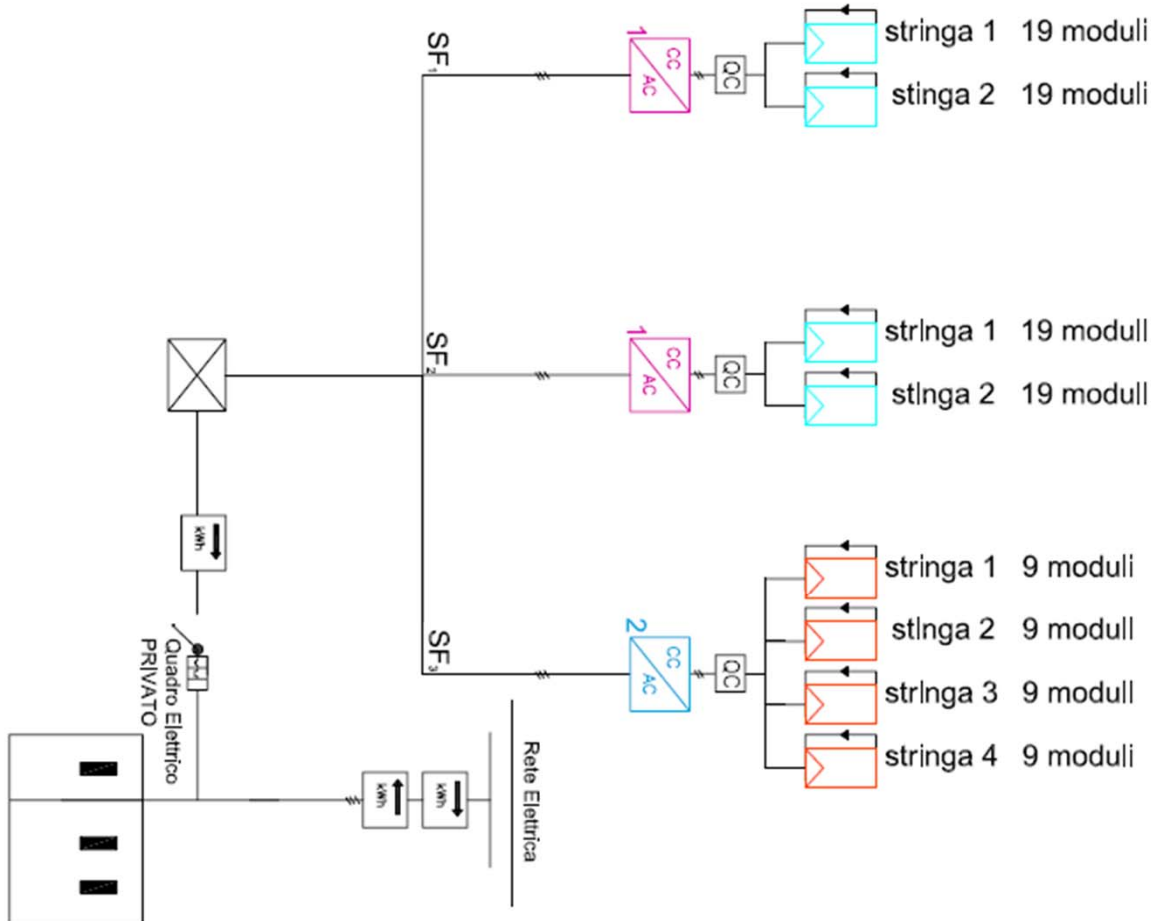
- Esempio di progetto FV – soluzione A



Progettazione di un impianto fotovoltaico

- Esempio di progetto FV – soluzione B

Modulo UNITED SOLAR PVL-68 (68W)	Modulo UNITED SOLAR PVL-136 (136W)
 <p>Modulo Uni-Solar - Tipo 1 P_{max} = 68 W l=2845 mm b=304 mm tensione MPPT= 16,50 V tensione a vuoto= 23,10 V corrente MPPT= 4,10 A</p>	 <p>Modulo Uni-Solar - Tipo 2 P_{max} = 136 W l=5685 mm b=304 mm tensione MPPT= 33,00 V tensione a vuoto= 46,20 V corrente MPPT= 4,10 A corrente corto circuito= 1,10 A</p>
SMA - Sunny Boy SB 2500 Pot. Nom. 2,500 W Tensione Min. MPPT = 224 V Tensione Max. MPPT = 480 V Corrente Max = 12 A Protezione = IP65	SMA - Sunny Mini Central SMC 4600A Pot. Nom. 4,600 W Tensione Min. MPPT = 246 V Tensione Max. MPPT = 480 V Corrente Max = 26 A Protezione = IP65
Convert. Statico C.C.-C.A.	Convert. Statico C.C.-C.A.



Sottosistema Fotovoltaico	SF1-SF2
Potenza Nominale	2,60 kWp
N moduli totali	= 38
N Stringhe	= 2
N moduli Stringa	= 19
Pot. Nom. Stringa	= 1,29 kWp
Sottosistema Fotovoltaico	SF3
Potenza Nominale	4,9 kWp
N moduli totali	= 36
N Stringhe	= 4
N moduli Stringa	= 9
Pot. Nom. Stringa	= 1,22 kWp

Progettazione di un impianto fotovoltaico

- Esempio di progetto FV

5. Analisi dei costi (IVA esclusa) e prestazioni dell'impianto

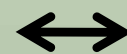
Soluzione A

Soluzione B

INVESTIMENTO INIZIALE	
Moduli fotovoltaici	€ 39.200
Inverter	€ 7.950
Quadri	€ 1.740
Materiali per l'installazione	€ 5.350
Collegamenti elettrici	€ 2.700
Lavori di montaggio	€ 7.130
Progettazione e documentazione	€ 5.350
Oneri per la sicurezza	€ 890
TOTALE	€ 70.300

INVESTIMENTO INIZIALE	
Moduli fotovoltaici	€ 40.800
Inverter	€ 6.000
Quadri	€ 1.850
Collegamenti elettrici	€ 1.550
Lavori di montaggio	€ 4.000
Progettazione e documentazione	€ 3.000
Oneri per la sicurezza	€ 500
TOTALE	€ 57.700

COSTI DI ESERCIZIO	
Manutenzione straordinaria	€ 6.400
Manutenzione ordinaria	€ 500



9 %

0,5 - 1 %

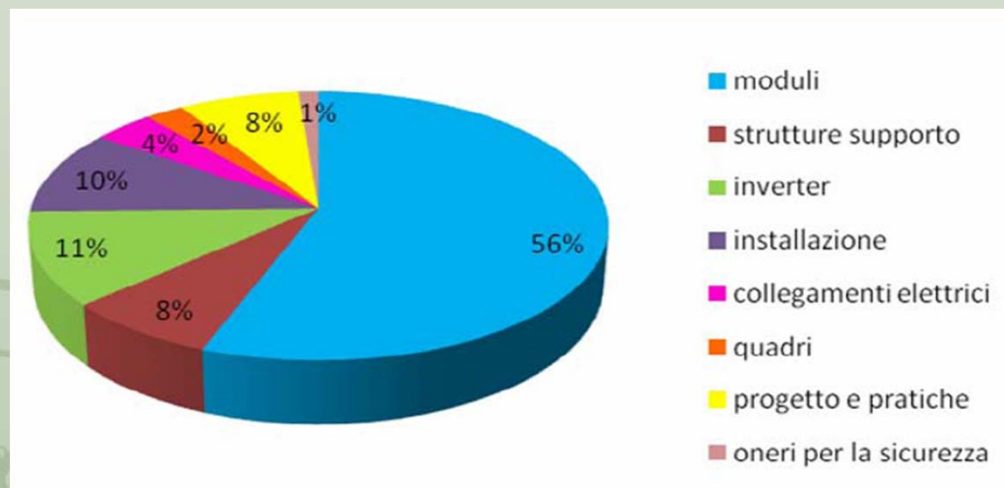
COSTI DI ESERCIZIO	
Manutenzione straordinaria	€ 5.200
Manutenzione ordinaria	€ 400

Progettazione di un impianto fotovoltaico

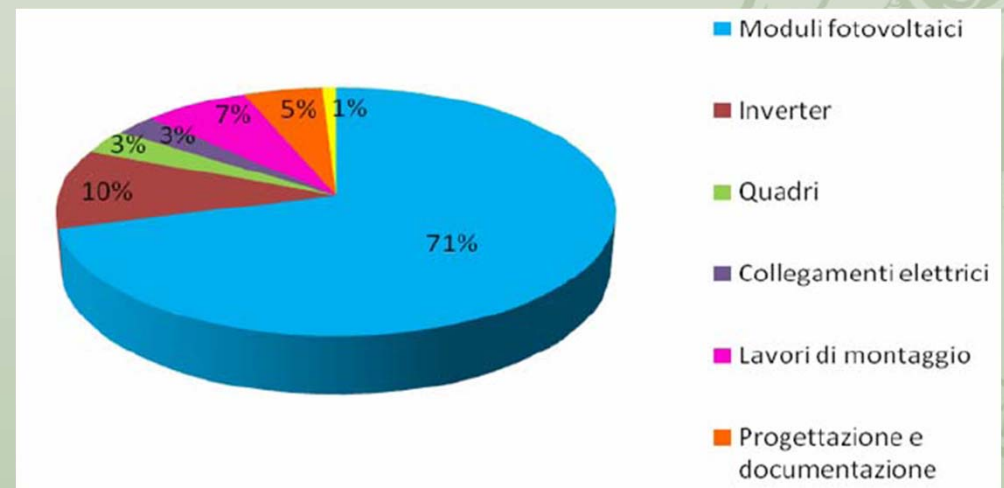
- Esempio di progetto FV

5. Analisi dei costi (IVA esclusa) e prestazioni dell'impianto

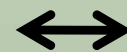
Soluzione A



Soluzione B



COSTI DI ESERCIZIO	
Manutenzione straordinaria	€ 6.400
Manutenzione ordinaria	€ 500



9 %

0,5 - 1 %

COSTI DI ESERCIZIO	
Manutenzione straordinaria	€ 5.200
Manutenzione ordinaria	€ 400

Progettazione di un impianto fotovoltaico

- Esempio di progetto FV

5. Analisi dei costi (IVA esclusa) e prestazioni dell'impianto

Soluzione A

17,82 kW installati - 18° SUD

Tilt = 30°

Costo : 4000 €/kWp → 71.000 €

Soluzione B

10,07 kW installati - 18° SUD

Tilt = 0° (su copertura piana)

Costo : 5700 €/kWp → 58.000 €

Determinazione della tariffa incentivante (CE 2010)

	TARIFFA		
	NON INTEGRATO	PARZIALMENTE INTEGRATO	INTEGRATO
kW	€/kWh	€/kWh	€/kWh
$1 \leq P \leq 3$	0,384	0,422	0,470
$3 < P \leq 20$	0,365	0,403	0,442
$20 < P$	0,346	0,384	0,422

Scuole → +5% → $0,442 \times 1,05 = 0,4641 \text{ €/kWh}$

Progettazione di un impianto fotovoltaico

- Esempio di progetto FV

5. Analisi dei costi (IVA esclusa) e prestazioni dell'impianto

Soluzione A

17,82 kW installati - 18° SUD

Tilt = 30°

Costo : 4000 €/kWp → 71.000 €

Soluzione B

10,07 kW installati - 18° SUD

Tilt = 0° (su copertura piana)

Costo : 5700 €/kWp → 58.000 €

Determinazione della tariffa incentivante (CE 2010)

Incentivo totale annuo:

$0,4641 \text{ €} \times 23.204 \text{ kWh/a} = 10.770 \text{ €}$

Incentivo totale annuo:

$0,4641 \times 13.230 = 6.140 \text{ €}$

Produttività → da **SIMULARE**

Progettazione di un impianto fotovoltaico

- Esempio di progetto FV

6. Analisi finanziaria (SIMULARE)

Regime contrattuale: Scambio sul Posto

- Andamento dei ricavi annui (a 20 anni)
- Flusso di cassa dell'investimento
- Analisi finanziaria mediante gli indici VAN e TIR e valutazione del tempo di ritorno dell'investimento (PBT)

		Copertura 1	
		Soluzione A	Soluzione B*
Senza finanziamento	VAN (€)	47.356,56	11.407,77
	TIR (%)	13,73	8,96
	PBT (anni)	6-7	8-9
Con finanziamento	VAN (€)	23.821,73	2.773,84
	TIR (%)	9,93	7,06
	PBT (anni)	9-10	11-12

* = per le soluzioni B (amorfo) il finanziamento richiesto è pari all'80% del costo dell'impianto e ha una durata di 10 anni.

7. Bilancio Ambientale

	Copertura 1	
	A	B
tep risparmiate in un anno	5,1	2,6
Emissioni CO ₂ evitate in un anno [kg]	11.490	5.844

Progettazione di un impianto fotovoltaico

- Esempio di progetto FV

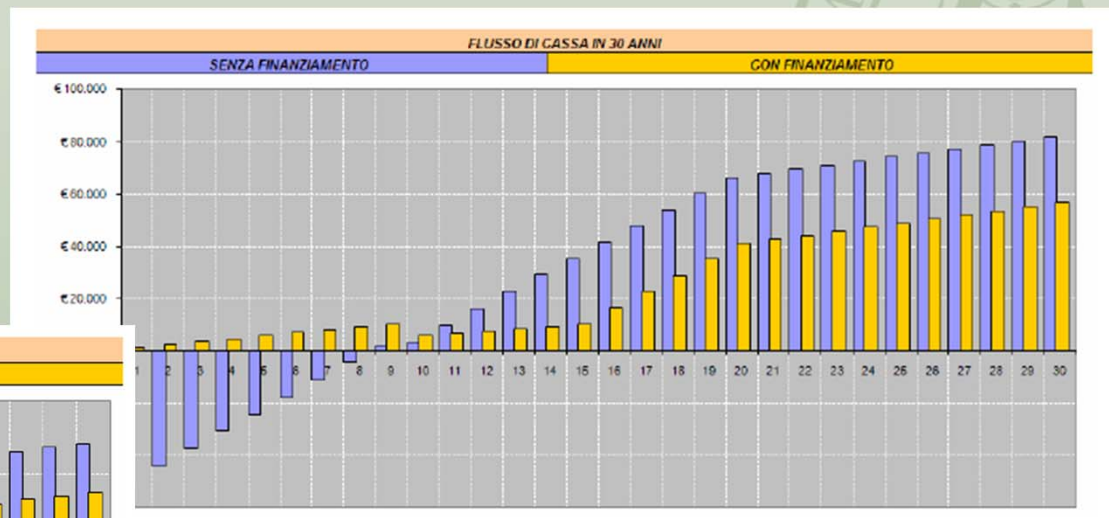
6. Analisi finanziaria (SIMULARE)

- Analisi finanziaria mediante gli indici VAN e TIR e valutazione del tempo di ritorno dell'investimento (PBT)

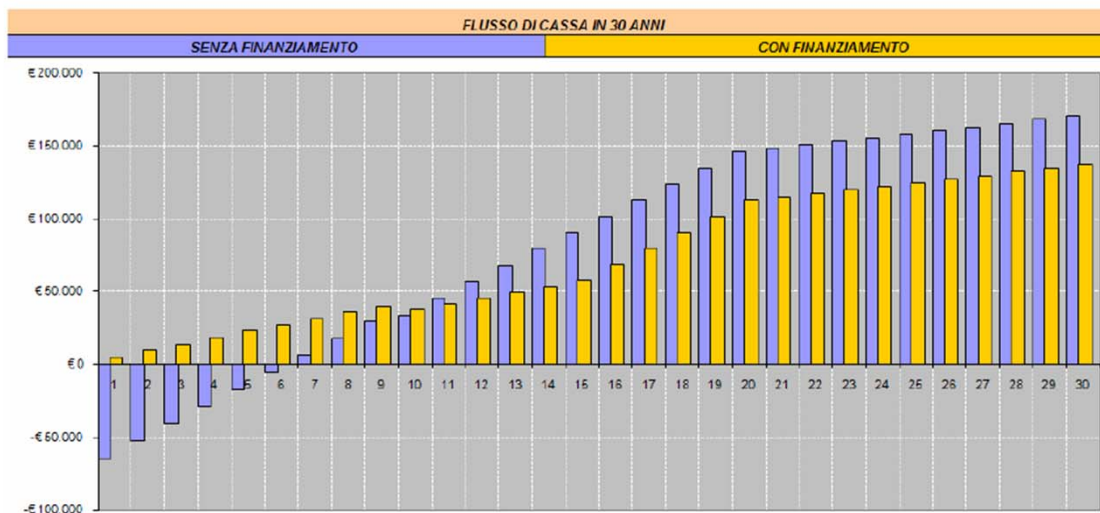
Soluzione A

PBP : 6-7 anni

Soluzione B



PBP : 8-9 anni



Progettazione di un impianto fotovoltaico

Indice esercitazione

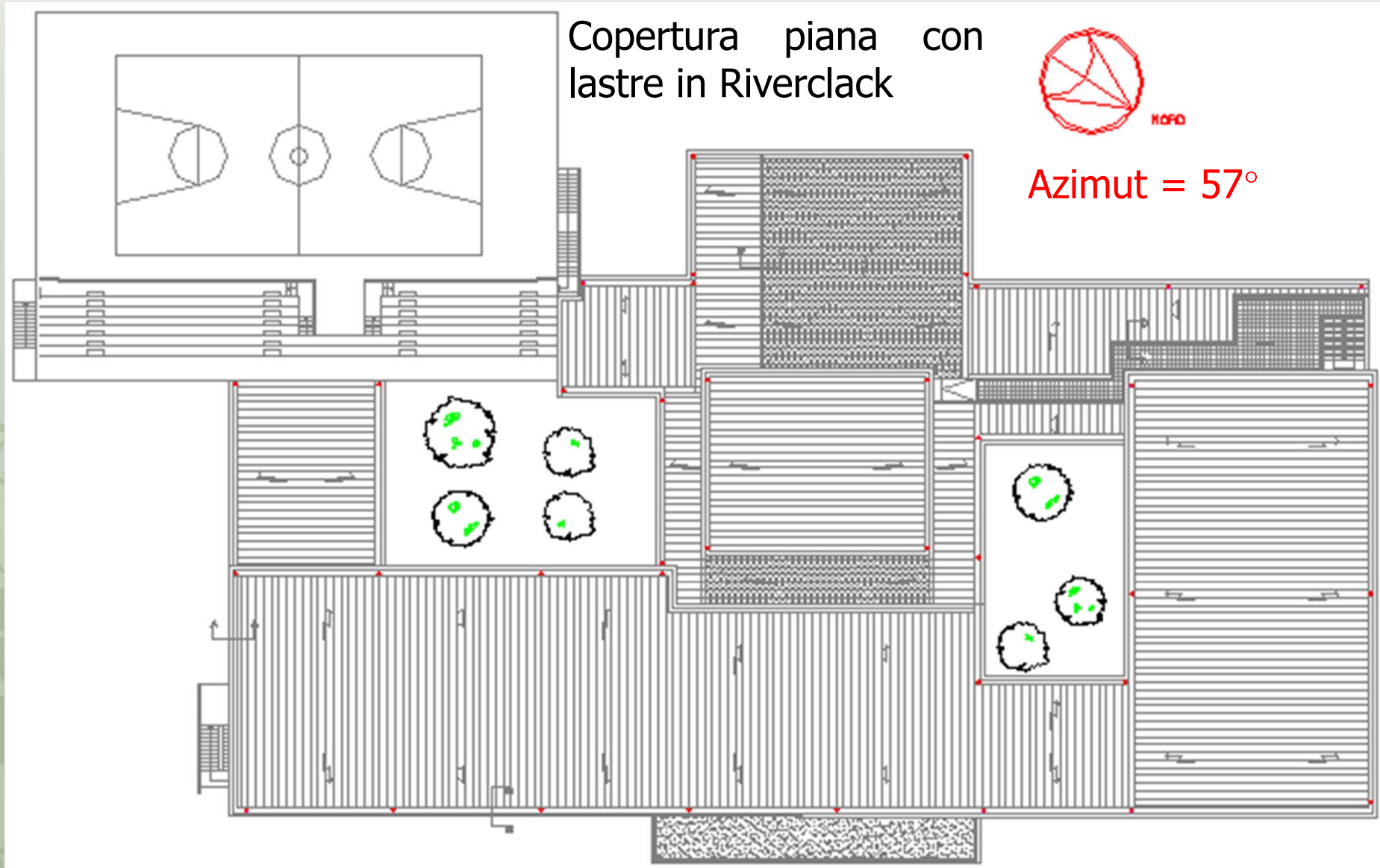
- INDICE
- INTRODUZIONE
- RIFERIMENTI NORMATIVI
- DATI DI PROGETTO (inquadramento e descrizione del sito scelto)
- DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO E ORIENTAMENTO DEI MODULI
- CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO E STIMA DELLA PRODUCIBILITA'
- ANALISI DELLA TARIFFA INCENTIVANTE
- ANALISI ECONOMICA
- BILANCIO AMBIENTALE (emissioni evitate nell'arco della vita utile dell'impianto)

ALLEGATI:

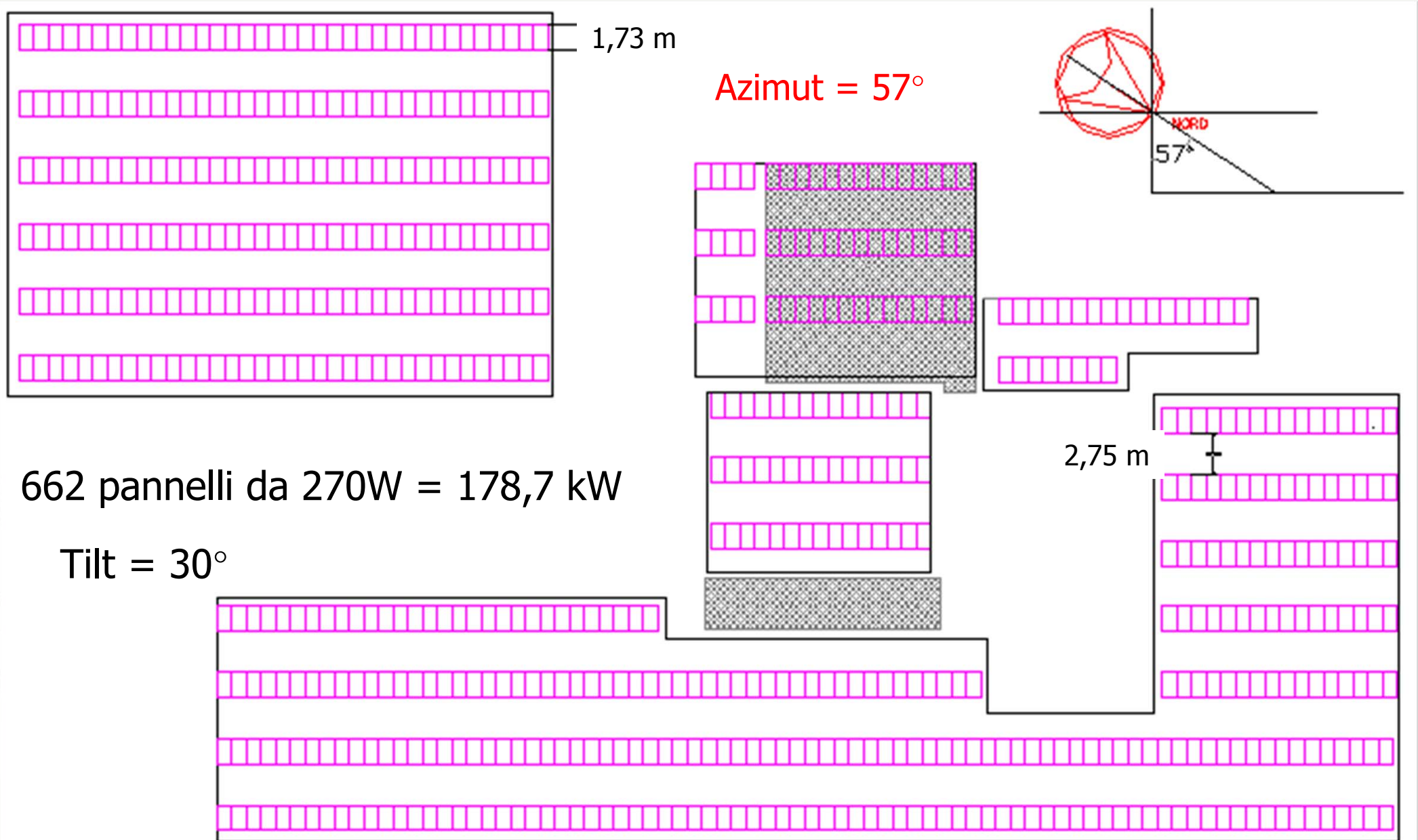
- Scheda di sopralluogo
- Tavole (architettonico e schema unifilare)

Progettazione di un impianto fotovoltaico

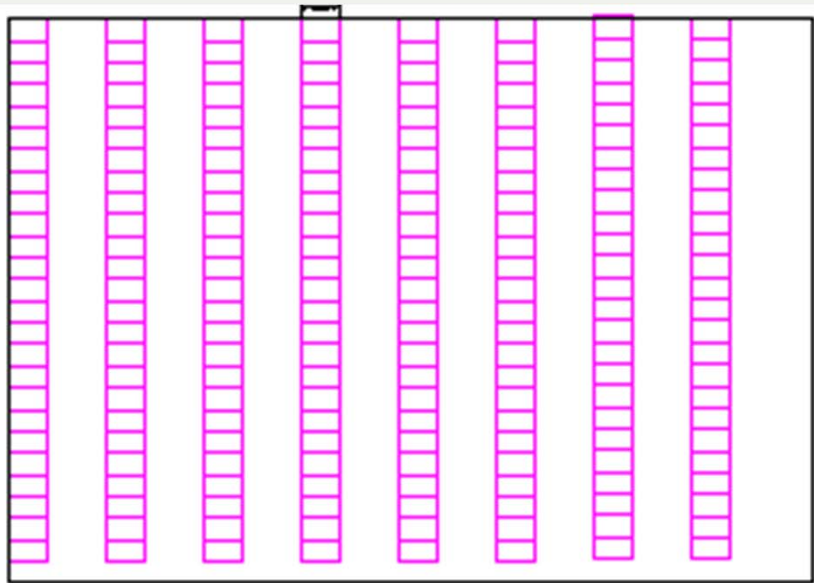
Esempio di copertura con due diverse esposizioni dei pannelli fotovoltaici



Progettazione di un impianto fotovoltaico

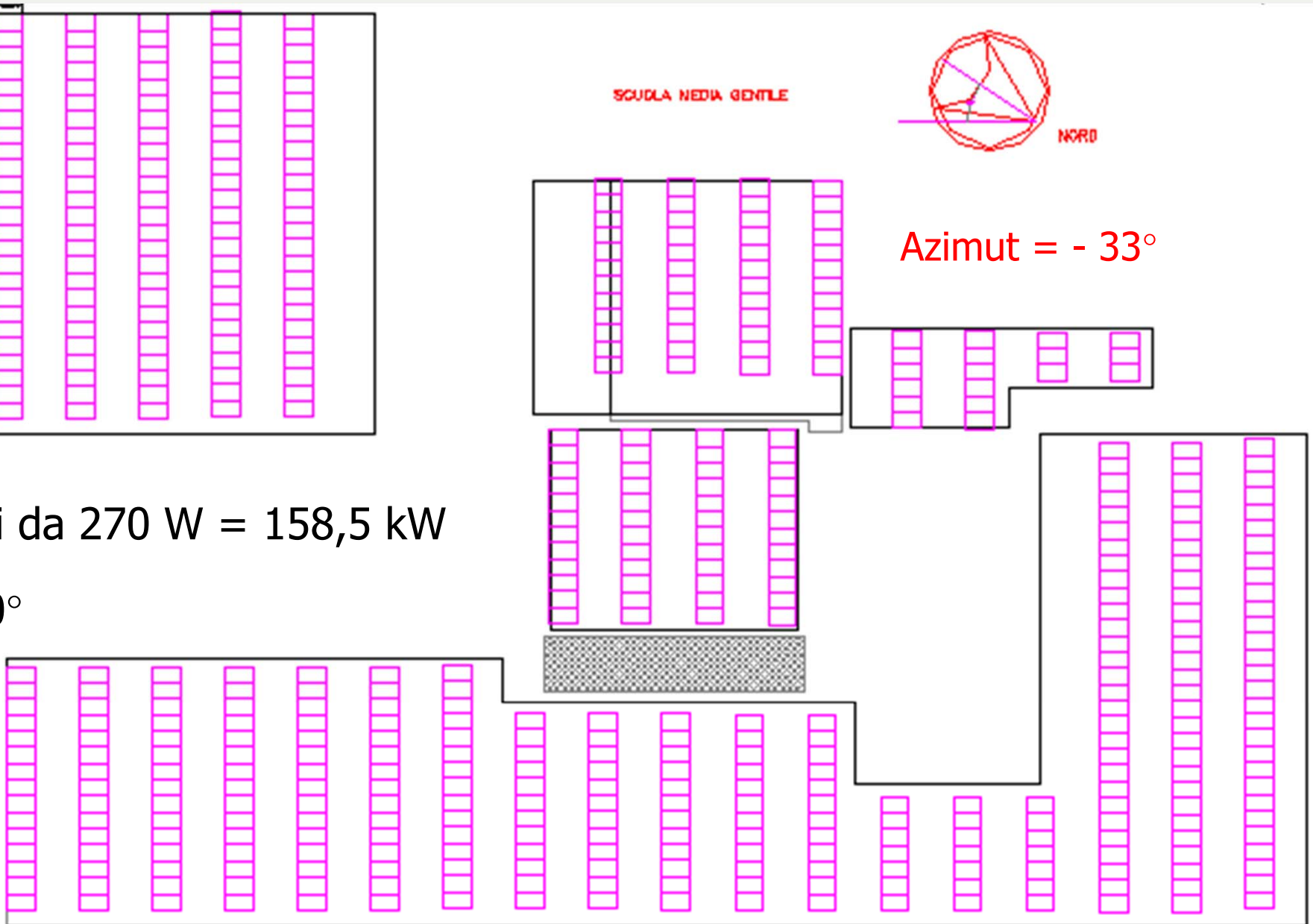


Progettazione di un impianto fotovoltaico



587 pannelli da 270 W = 158,5 kW

Tilt = 30°



Progettazione di un impianto fotovoltaico

Esempio di copertura con due diverse esposizioni dei pannelli fotovoltaici

	Azimut	Moduli	Potenza (kW)	Produttività annua (kWh/a)	Produttività annua (kWh/kWp)	Incentivo totale annuo (€) (0,4431 €/kWh)	Costo ipotizzato (€/kW)	Costo impianto (€)
Caso 1	57°	662	178,7	221.640	1240	98.208	4.000	714.960
Caso 2	-33°	587	158,5	204.104	1290	90.438	4.000	632.880

