



REGIONE
SARDEGNA



COMUNE DI
MUSEI



COMUNE DI
VILLAMASSARGIA

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO CONNESSO ALLA R.T.N. DI POTENZA DI PICCO PARI A 62.961,36 kWp E POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 54.872,88 kW

Denominazione Impianto: **IMPIANTO MUSEI VILLAMASSARGIA**

Ubicazione: **Comuni di Musei - Villamassargia**

ELABORATO

CALCOLI PRELIMINARI DI STRUTTURE E IMPIANTI

DOC_R_06



CLEAN ENERGY NATURALLY

Project - Commissioning - Consulting
CEN SRL
STRADA DI GUINZA GRANDE
1 INT. 2 CAP 01014
MONTALTO DI CASTRO (VT)

Scala: /

PROGETTO

Data:
29/04/24

PRELIMINARE



DEFINITIVO



ESECUTIVO



Il Richiedente:

CCEN MUSEI SRL
PIAZZA WALTHER VON VOGELWEIDE 8
39100 BOLZANO
KANZLEI ROEDL & PARTNER
P. IVA: 0321820210

Tecnici:

Ing. Federico BONI - Iscrizione Ordine degli Ingegneri della Provincia di Viterbo A-754
Prof. Giuseppe Scanu - Ordine dei Geologi della Sardegna n. 32
Dottore Forestale Simone Puddu - Ordine Dei Dot Agr e For della Prov di Oristano n.147

Revisione	Data	Descrizione	Redatto	Approvato	Autorizzato
01					
02					
03					
04					

Firma Produttore

Firme



Contenuto del documento

1. PREMESSA	1
PARTE PRIMA: STRUTTURE.....	1
2. INTRODUZIONE STRUTTURE	1
3. CARATTERISTICHE DEI MODULI FOTOVOLTAICI.....	2
4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
5. CONCLUSIONI.....	2
PARTE SECONDA IMPIANTI	3
6. INTRODUZIONE IMPIANTI	3
7. MATCHING STRINGA/INVERTER.....	3
8. PITCH E OMBREGGIAMENTO.....	4
9. DIMENSIONAMENTO CAMPO FOTOVOLTAICO	5

1. PREMESSA

Nel presente documento sono illustrati i criteri di base per il dimensionamento delle strutture e degli impianti che interessano il presente progetto. Nella prima parte si procederà alla valutazione strutturale, ovvero, sulle strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici, nella seconda parte viene invece illustrato il dimensionamento della parte impiantistica elettrica e fotovoltaica.

PARTE PRIMA: STRUTTURE

2. INTRODUZIONE STRUTTURE

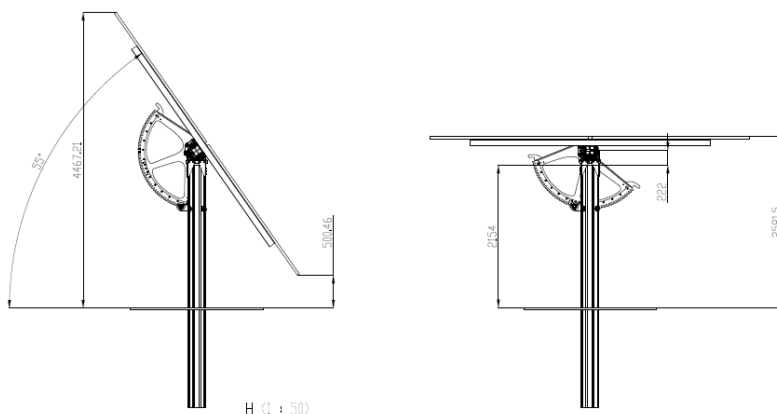
Per la realizzazione dell'impianto si sono scelte strutture in acciaio zincato adatte a posa in opera tramite infissione nel terreno. La lunghezza dei pali infissi è commisurata alle condizioni di carico specifiche dell'impianto (carichi di neve e vento) e alle caratteristiche di portanza del terreno interessato.

La lunghezza del tratto infisso dei pali è stata assunta pari almeno a 2,50. Opportune prove di estrazione e carico preventive potranno poi essere realizzate in sito ai fini della progettazione esecutiva dell'impianto e dell'ottimizzazione delle strutture di fondazione e la relativa profondità di infissione.

Ciascun palo sarà equipaggiato con un ritto verticale in acciaio zincato di lunghezza adeguata al fine di consentire la posa di profili metallici diagonali, inclinati sull'orizzontale dell'angolo di tilt di progetto, sui quali posare i binari metallici longitudinali di supporto dei pannelli fotovoltaici. I pannelli saranno ancorati ai binari tramite opportuni morsetti di fissaggio. L'infissione dei pali, dotati di uno strato adeguato di zincatura contro la corrosione, avviene tramite battitura con apposita macchina battipalo in modo da ridurre al minimo l'impiego di opere in calcestruzzo ed evitare il rilascio nell'ambiente di qualsiasi residuo di lavorazione.

Le strutture scelte saranno di tipo ad inseguitore solare con asse di rotazione parallelo al piano campagna lungo la direttrice nord-sud, i moduli fotovoltaici installati in doppia fila per ciascun inseguitore potranno orientarsi fino ad una inclinazione massima di 55° rispetto al piano orizzontale.

Le strutture saranno di due tipi diversi in funzione del numero di moduli installati, in particolare saranno in configurazione 2V28 (due stringhe) oppure 2V14 (una stringa).



Il sistema strutturale composto da pali infissi e ritti superiori di altezza e posizione variabile, permette anche di compensare eventuali dislivelli del terreno mantenendo costante l'allineamento e riducendo potenziali problemi di ombreggiamento tra i moduli fotovoltaici.

3. CARATTERISTICHE DEI MODULI FOTOVOLTAICI

Per una descrizione più completa fare riferimento al catalogo della ditta fornitrice; Nelle verifiche saranno presi in considerazione i dati tecnici riportati nella scheda tecnica fornita dal produttore, si sono comunque considerati pannelli aventi dimensioni B*H = 1.303*2.384 (mm) con un peso proprio di circa 37,9 (kg/cad).

I pannelli hanno carcassa in alluminio e il collegamento al supporto avviene mediante staffe in alluminio o acciaio, tasselli plastici scorrevoli di tipo rinforzato e bulloneria in acciaio inox equivalente per caratteristiche alle Classi 8.8.

4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le verifiche strutturali preliminari sono state eseguite in accordo alle seguenti normative nazionali:

- D.M. 17 Gennaio 2018: "Norme tecniche per le Costruzioni" (NTC18);
- Circolare 21 Febbraio 2019 n.7: Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.;
- Eurocodici EN 1990 con Appendice nazionale UNI
- Istruzioni CNR DT 207-2008

5. CONCLUSIONI

Tutti i calcoli finali relativi alle strutture in campo saranno eseguiti in fase di redazione del progetto esecutivo e saranno presentati per approvazione a tutti gli organi competenti in materia, primo fra tutti il genio civile.

PARTE SECONDA IMPIANTI

6. INTRODUZIONE IMPIANTI

Nel dimensionamento tecnico degli impianti fotovoltaici risulta di notevole importanza la scelta della tensione nominale del generatore fotovoltaico che rappresenta un compromesso, per quanto possibile ottimale, tra più esigenze tecniche, comunque nel pieno rispetto dei criteri di sicurezza elettrica. Le esigenze tecniche sono rappresentate dalla ricerca del migliore accoppiamento possibile tra i livelli di tensione del generatore fotovoltaico con quelli del convertitore DC/AC, per il quale si registra un aumento dell'efficienza al diminuire del rapporto tra la tensione di ingresso e quella di uscita.

Per il generatore fotovoltaico si è scelto un valore limite per la tensione in corrente continua di 1500 V, tale valore è stato dettato prettamente dal livello tecnologico raggiunto nell'ambito della conversione da corrente continua in alternata, in poche parole attualmente 1500 V rappresenta il valore limite a cui gli inverter presenti sul mercato sono in grado di eseguire la suddetta conversione nella massima efficienza e pure la linea di demarcazione tra la bassa e la media tensione in corrente continua.

7. MATCHING STRINGA/INVERTER

Il valore limite individuato per la tensione in corrente continua definisce a sua volta un elemento basilare dell'impianto fotovoltaico, la lunghezza di stringa, ovvero il numero massimo di moduli fotovoltaici che possono essere collegati in serie. I moduli individuati per la realizzazione del generatore fotovoltaico sono TRINASOLAR modello Vertex TSM-DEG21C da 660 W di cui a seguire si riportano i principali dati elettrici di tensione:

- Tensione a circuito aperto Voc: 45 V;
- Tensione alla massima potenza Vmp: 38,1 V;
- Coefficiente di temperatura della Voc: -0,25%/°C;

i valori riportati si riferiscono a misure eseguiti in condizioni di test standard (Standard Test Condition), ovvero:

- Irraggiamento: 1000W/m²;
- Temperatura della cella: 25°C;
- Air Mass: 1.5;

Occorre evidenziare che il fattore che più di tutti influenza il comportamento, e quindi la producibilità, di un modulo fotovoltaico è la temperatura. In linea di massima le prestazioni di qualunque modulo fotovoltaico, e quindi di qualunque impianto, decrescono all'aumentare della temperatura, ovvero l'impianto produrrà meno quando la temperatura atmosferica (e quindi quella di lavoro delle celle) è elevata. Tra tutti i parametri elettrici coinvolti in questo fenomeno di derating per temperatura, la tensione rappresenta quello che subisce le maggiori oscillazioni, in particolare, un aumento della temperatura corrisponde un decremento della tensione nominale, come evidenziato dal coefficiente di temperatura del modulo.

Per questo motivo il matching dei valori della tensione di esercizio e della tensione limite dell'inverter ha importanza vitale per il corretto funzionamento dell'impianto fotovoltaico.

Dal punto di vista progettuale si considera come range di temperatura della cella l'intervallo compreso tra -10°C e +60°C.

Per l'impianto fotovoltaico in esame si è scelto di realizzare stringhe di lunghezza 28 moduli.

Il valore della tensione di stringa (28 moduli), in qualunque condizione ambientale considerata, non supera mai il valore limite di sistema individuato a 1500 V.

Gli inverter individuati per lo sviluppo dei progetti in oggetto sono di marca Huawei modello SUN2000-330KTL, come si evince dalla tabella di seguito riportata i valori di tensione assunti dalle stringhe sono compatibili con i valori limite di funzionamento degli inverter:

DESCRIZIONE GRANDEZZA ELETTRICA	SUN2000-330KTL
MPP range voltage Vdc (@25°C)	500 to 1500
Start voltage Vdc	550
MAX input voltage Vdc	1.500
Nominal input voltage Vdc	1.080

- MPP range voltage Vdc (@25°C): rappresenta l'intervallo di tensione di funzionamento del dispositivo MPP, inseguitore del punto di massima potenza;
- Start voltage Vdc: rappresenta il valore di tensione in corrispondenza del quale l'impianto fotovoltaico si mette in funzione al mattino;
- MAX input voltage Vdc: valore limite della tensione in ingresso;
- Nominal input voltage Vdc: valore di tensione nominale in ingresso.

8. PITCH E OMBREGGIAMENTO

Per l'impianto fotovoltaico in esame si è scelta l'installazione dei moduli su strutture di tipo ad inseguimento con asse di rotazione perfettamente orientato sull'asse nord-sud mentre l'angolo di inclinazione massima per i moduli fotovoltaici è di 55°. Per semplicità si è scelto di rendere le strutture modulari rispettivamente da 2 stringhe (56 moduli fotovoltaici in configurazione 2V28) oppure 1 stringhe (28 moduli fotovoltaici in configurazione 2V14).

Come indicato più volte nel corso di tutta la documentazione progettuale allegata alla richiesta di autorizzazione alla costruzione ed esercizio dell'impianto, il rendimento e la produttività dipende da numerosi fattori, tra questi riveste un ruolo sicuramente notevole il posizionamento in campo delle strutture. Tale aspetto è inerente al fatto che le strutture devono essere posizionate a terra in modo tale da non provocare ombreggiamenti reciproci, a tal fine il corretto dimensionamento dell'impianto non può prescindere dalla definizione del parametro di pitch, cioè la distanza minima a cui ciascuna struttura deve essere installata per evitare ombreggiamento sui pannelli. Come specificato, tutte le strutture saranno orientate perfettamente a sud con angolo di tilt di 20, per minimizzare gli ombreggiamenti tra i pannelli, la distanza tra le file deve essere necessariamente maggiore di:

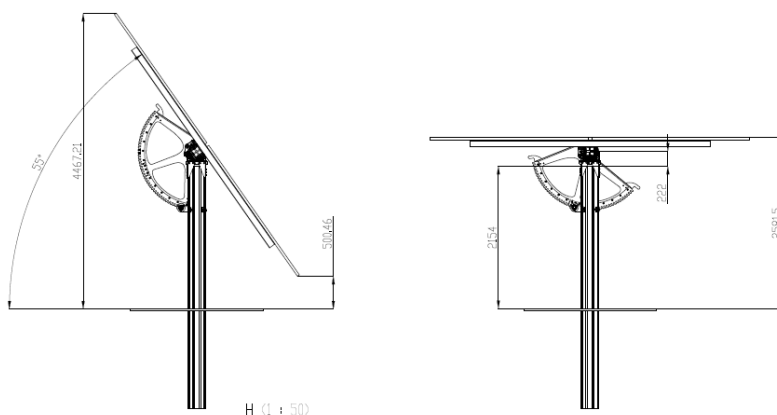
$$D = L \cos \beta (1 + \tan \beta / \tan \theta)$$

Essendo:

- β (inclinazione dei moduli rispetto al piano orizzontale) = 55° ;
- θ (elevazione del sole sull'orizzonte a mezzogiorno del 21 Dicembre) = $90^\circ - \text{lat.} - 23,4^\circ$;

Viene considerata l'elevazione del sole a mezzogiorno del 21 Dicembre in quanto è il giorno dell'anno in cui il sole, alla latitudine considerata, è più basso all'orizzonte.

Per lo sviluppo dell'impianto in esame il valore ottimale di pitch, ovvero l'interdistanza che evita ombreggiamenti reciproci tra i tracker, è di 11 m circa a cui corrisponde un angolo di ombreggiamento di 24° . Tuttavia, vagliati gli aspetti tecnici ed economici del caso e in considerazione dell'utilizzo dell'algoritmo di backtracking nella gestione dell'inseguimento solare, il valore di pitch scelto è pari a 9,5 metri, questo si traduce in un angolo di ombreggiamento alla massima inclinazione possibile di 31° .



Il numero complessivo di inseguitori solari previsto per il progetto Musei e Villamassargia viene riportato nella tabella di seguito

DENOMINAZIONE IMPIANTO	Musei e Villamassargia
TRACKER 2V28	1.522
TRACKER 2V14	363

9. DIMENSIONAMENTO CAMPO FOTOVOLTAICO

Se il corretto dimensionamento delle stringhe in funzione dei parametri elettrici dell'inverter determina il corretto funzionamento elettrico del sistema, un altro aspetto progettuale di importanza primaria che determina invece l'aspetto prestazionale dell'impianto è quello legato alla scelta delle potenze in gioco. Infatti, in riferimento alla superficie disponibile per l'installazione del generatore fotovoltaico, è particolarmente importante la definizione della potenza di picco dell'impianto (quindi lato DC) e quella nominale di connessione alla RTN (quindi lato AC)

Tali valori definiscono un parametro molto importante per il dimensionamento dell'impianto, il rapporto DC/AC. L'importanza di questo parametro risiede nel fatto che da esso dipende il valore del PR cioè il Performance Ratio, esso rappresenta un parametro adimensionale che fornisce le prestazioni assolute di un impianto fotovoltaico. Grazie a tale parametro le performance di impianti di potenze diverse, realizzati in luoghi diversi, possono essere confrontate in modo attendibile e assoluto.

DENOMINAZIONE IMPIANTO	Musei e Villamassargia
TOTALE MODULI INSTALLATI	95.396
POTENZA PICCO IMPIANTO DC (kW)	62.961,36
POTENZA NOMINALE AC (kW)	54.872,88
DC/AC medio %	114,74

In linea generale al diminuire del rapporto DC/AC il valore del PR aumenta, tuttavia, ci sarà un limite minimo oltre il quale l'incremento del PR non sarà più così apprezzabile. La scelta di tali valori deve anche tener presente aspetti economici non secondari a quelli tecnici, infatti, a valori decrescenti del rapporto DC/AC corrispondono costi CAPEX (legati all'investimento iniziale) sempre più elevati.

I valori DC/AC indicati in tabella rappresentano il compromesso migliore possibile per le installazioni in oggetto. Inoltre, il costruttore degli inverter garantisce l'efficienza della conversione DC/AC per valori del suddetto rapporto molto superiori a quelli stabiliti per il progetto in oggetto.

DETTAGLIO TECNICO SOTTOCAMPI

Di seguito si riporta il dettaglio tecnico relativo a ciascun sottocampo che consente di ottenere il rapporto DC/AC specificato:

SOTTOCAMPO 1			
INVERTER	MODULI	STRINGHE	POTENZA kW
12	6.356	227	4.164,96

SOTTOCAMPO 2			
INVERTER	MODULI	STRINGHE	POTENZA kW
12	6.188	221	4.084,08

SOTTOCAMPO 3			
INVERTER	MODULI	STRINGHE	POTENZA kW
11	5.769	206	3.806,88

SOTTOCAMPO 4			
INVERTER	MODULI	STRINGHE	POTENZA kW
12	6.272	224	4.139,52

SOTTOCAMPO 5			
INVERTER	MODULI	STRINGHE	POTENZA kW

11	5.880	210	3.880,80
----	-------	-----	----------

SOTTOCAMPO 6			
---------------------	--	--	--

INVERTER	MODULI	STRINGHE	POTENZA kW
12	220	6.160	4.065,60

SOTTOCAMPO 7			
---------------------	--	--	--

INVERTER	MODULI	STRINGHE	POTENZA kW
11	5.628	201	3.714,48

SOTTOCAMPO 8			
---------------------	--	--	--

INVERTER	MODULI	STRINGHE	POTENZA kW
11	5.684	203	3.751,44

SOTTOCAMPO 9			
---------------------	--	--	--

INVERTER	MODULI	STRINGHE	POTENZA kW
11	5.712	204	3.769,92

SOTTOCAMPO 10			
----------------------	--	--	--

INVERTER	MODULI	STRINGHE	POTENZA kW
10	5.208	186	3.437,28

SOTTOCAMPO 11			
----------------------	--	--	--

INVERTER	MODULI	STRINGHE	POTENZA kW
10	5.320	190	3.511,20

SOTTOCAMPO 12			
----------------------	--	--	--

INVERTER	MODULI	STRINGHE	POTENZA kW
12	6.328	226	4.176,48

SOTTOCAMPO 13			
----------------------	--	--	--

INVERTER	MODULI	STRINGHE	POTENZA kW
12	6.328	226	4.176,48

SOTTOCAMPO 14			
----------------------	--	--	--

INVERTER	MODULI	STRINGHE	POTENZA kW
12	6.282	224	4.139,52

SOTTOCAMPO 15			
----------------------	--	--	--

INVERTER	MODULI	STRINGHE	POTENZA kW
12	6.384	228	4.213,44

SOTTOCAMPO 16			
----------------------	--	--	--

INVERTER	MODULI	STRINGHE	POTENZA kW
12	5.908	211	3.899,28

CAVI E CADUTA DI TENSIONE

Tutte le scelte progettuali devono essere finalizzate al raggiungimento della massima producibilità dell'impianto fotovoltaico, a tale scopo è fondamentale che tutte le perdite energetiche in campo siano ridotte il più possibile al fine di non inficiare la produzione di energia elettrica. Come ogni sistema fisico anche quello fotovoltaico è composto da numerose componenti sia attive che passive che assorbono e dissipano energia durante il loro esercizio standard.

Tra queste, la componente sicuramente più importante è quella relativa ad inverter e trasformatori ma è anche quella dove è possibile incidere meno in termini di progettualità in quanto le performance sono garantite dal costruttore e pertanto nello sviluppo dell'impianto ci si può limitare solo a scegliere apparecchiature il più prestazionali possibili. Dove invece è possibile incidere in termini di contenimento delle perdite è sulla trasmissione dell'energia elettrica lungo tutto il tratto dalla produzione alla connessione in rete. Poiché la trasmissione dell'energia prodotta da un impianto fotovoltaico avviene via cavo, ciò significa che occorre porre particolare attenzione nella scelta dei cavi da utilizzare per collegare i vari componenti di impianto.

La tensione è il parametro che è necessario controllare con lo scopo di limitare le perdite lungo il tracciato, in particolare l'obiettivo è quello di limitare la caduta di tensione entro un certo limite che per gli impianti in esame è stato fissato in circa 1% lato corrente continua e alternata di bassa tensione e circa 0,2% - 0,3% lato corrente alternata in media tensione. Le prestazioni descritte dipendono dalla lunghezza delle varie tratte considerate e dalla sezione dei cavi utilizzati per i collegamenti. Quanto concerne gli impianti in questione tanto per il lato in bassa tensione quanto per il lato in media tensione le sezioni dei cavi saranno individuate nel range di sezioni 150 / 240 mmq. Fa eccezione la sezione dei cavi per il collegamento alla SSE che dipendono dalla distanza di quest'ultima. A livello di progettazione esecutiva sarà possibile procedere con un calcolo dettagliato di quanto esposto.