

COMUNE DI: SASSARI

PROVINCIA: SASSARI
REGIONE: SARDEGNA

"FATTORIA SOLARE CASA SCACCIA"
AGRIVOLTAICO DI TIPO ELEVATO E AVANZATO

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE

Tipo Elaborato	Codice Elaborato	Data	Scala CAD	Formato	Foglio / di	Scala
REL.	2202_R.13	20/02/2023	-	A4	1/43	-

PROPONENTE

AGRI BRUZIA Società Agricola A R.L.
Corso Europa, 1
87021 - Belvedere Marittimo (CS)

SVILUPPO



SET SVILUPPO s.r.l.
Corso Trieste, 19
00198 - Roma (RM)

PROGETTAZIONE

Ing. Giacomo Greco



Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
00	20/02/2023	Prima Emissione	Ing. G. Greco	Ing. G. Greco	Ing. G. Greco

**RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO
STRUTTURALE**

**FATTORIA SOLARE “CASA SCACCIA”
AGRIVOLTAICO DI TIPO ELEVATO E AVANZATO**

**di potenza pari a 43,940 MWp
e sistema di accumulo pari a 12,50 MW**

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 3
---	--	--------------

Sommario

1. INTRODUZIONE.....	4
2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	5
3. PRINCIPI FONDAMENTALI	6
4. CLASSIFICAZIONI DELLE AZIONI	9
5. COMBINAZIONI DELLE AZIONI.....	11
6. VERIFICA PRELIMINARE DELLE FONDAZIONI DI PREFABBRICATI	14
6.1. Power station, storage power station e storage container.....	14
6.2. Cabine di raccolta	15
6.3. Azioni agenti sui basamenti.....	17
6.4. Materiali impiegati e resistenze di calcolo.....	18
7. VERIFICA PRELIMINARE TRACKER.....	22
7.1. Normative dimensionamento tracker	22
7.2. Caratteristiche geometriche moduli fotovoltaici	23
7.3. Strategie di stowing.....	27
7.4. Caratteristiche dei materiali considerati.....	28
7.5. Analisi dei Carichi.....	30
7.5.1. Carichi permanenti portati definiti - G1.....	30
7.5.2. Carichi permanenti portati definiti - G2.....	30
7.5.3. Carichi accidentali - Azione del Vento	30
7.5.3.1. Pressione del Vento.....	30
7.5.3.2. Coefficiente di pressione	32
7.5.4. Carichi accidentali - Azione della Neve.....	32
7.5.5. Carico Termico.....	33
7.5.6. Spettro di risposta per l'analisi sismica	33
7.6. Combinazione dei carichi e criteri di verifica.....	33
7.6.1. Combinazioni di carico	35
7.7. Caratteristiche dei profili e classificazione delle sezioni	41
7.8. Verifica di resistenza strutturale.....	41
7.8.1. Criteri di verifica	41
7.8.2. Capacità Elementi	42
7.9. Fondazioni di sostegno.....	42
8. CONCLUSIONI.....	43

Progetto: Fattoria Solare “Casa Scaccia” AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 4
---	--	--------------

1. INTRODUZIONE

Il presente documento riguarda il calcolo preliminare degli elementi strutturali del progetto denominato “Fattoria Solare Casa Scaccia”.

Il progetto prevede il miglioramento fondiario di un’area di circa 82 Ha nel Comune di Sassari (SS), tramite l’implementazione di un piano agronomico integrato con strutture fotovoltaiche elevate e ad inseguimento solare monoassiale (c.d. tracker). L’impianto agrivoltaico sarà inoltre corredato da un sistema di accumulo (c.d. storage), capace sia di assorbire che di immettere energia verso la Rete Elettrica Nazionale.

Le opere di connessione necessarie per il collegamento dell’impianto agrivoltaico e del sistema di accumulo alla RTN sono costituite da un cavidotto interrato di circa 5,6 km che si estende lungo la fascia a nord della Strada Provinciale SP65 fino allo stallo arrivo produttore nella nuova Stazione Elettrica (SE) “Olmedo 380”.

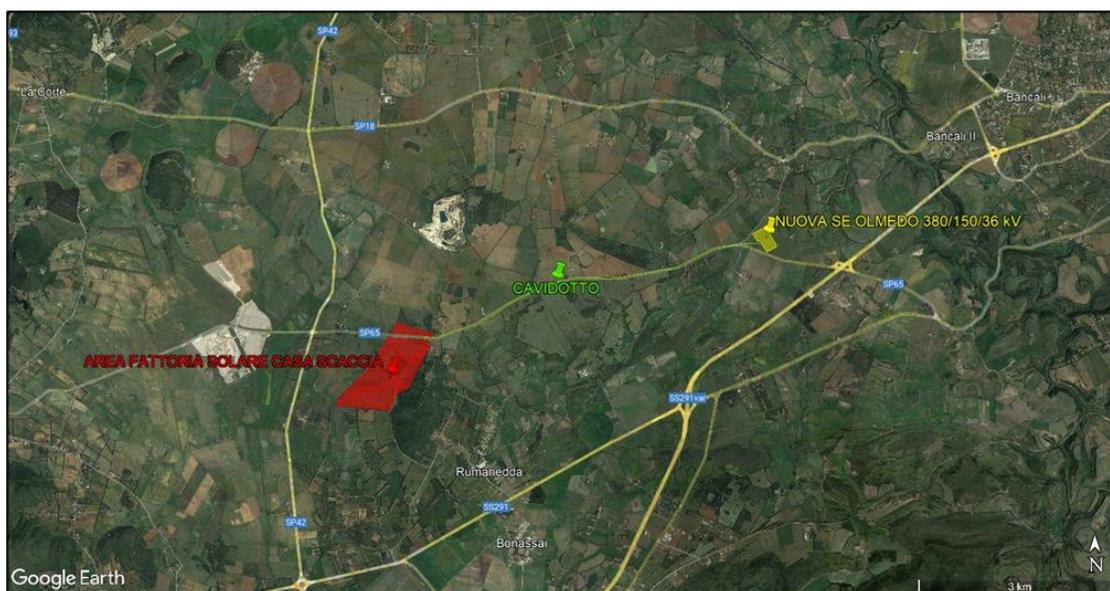


Figura 1: Inquadramento Area impianto, percorso cavidotto e area nuova SE Olmedo su Ortofoto

La presente relazione ha l’intento di:

- Introdurre i criteri per la progettazione delle opere e dei componenti strutturali di impianto;
- Presentare la verifica preliminare degli elementi strutturali componenti due inseguitori meccanici mono assiali (tracker) idonei per un progetto agrivoltaico simile a quello proposto;

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 5
---	--	--------------

- Dare una prima indicazione sul tipo di acciaio e sul tipo di calcestruzzo utilizzabile per la realizzazione delle fondazioni di apparecchiature e cabine prefabbricate di impianto (power station e cabina di raccolta).

Si rimanda alla fase esecutiva il dimensionamento definitivo di quanto introdotto sopra. Si specifica che, con riferimento ai tracker, la verifica preliminare è stata fornita da Valmomt Solar – Convert, fornitore delle strutture selezionate per il progetto definitivo. Le assunzioni sono basate su strutture esistenti e con caratteristiche dimensionali, materiali e di peso simili a quelle selezionate per il progetto. In fase esecutiva, lo stesso si riserva di dimensionare in via definitiva gli elementi delle strutture. In ogni caso, verranno utilizzate strutture simili che rispettano standard tecnici e normative di settore, garantiti da fornitori di primario standing nazionale o internazionale

2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

- Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18, definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità
 - Circolare 7 21-01-19 C.S.LL.PP: Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle N.T.C. di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
 - D.M. LL. PP. 11-03-88: Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione
 - Circolare Ministeriale del 24-07-88, n. 30483/STC
 - Legge 5 novembre 1971 n. 1086 (G.U. 21 dicembre 1971 n. 321) "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica"
-

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 6
---	--	--------------

3. PRINCIPI FONDAMENTALI

Secondo quanto riportato nel D.M. 17-01-18 le opere e i componenti strutturali devono essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzione in modo tale da consentirne la prevista utilizzazione, in forma economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza previsto dalla normativa. La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale di progetto. Si definisce stato limite una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze elencate nella normativa.

In particolare, le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali che possano compromettere l'incolumità delle persone oppure comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera
- sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE): capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio
- durabilità, capacità della costruzione di mantenere, nell'arco della vita nominale di progetto, i livelli prestazionali per i quali è stata progettata, tenuto conto delle caratteristiche ambientali in cui si trova e del livello previsto di manutenzione
- robustezza: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità di possibili cause innescanti eccezionali quali esplosioni e urti

Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile, il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile

I principali Stati Limite Ultimi (SLU) sono indicati nell'elenco riportato di seguito:

- perdita di equilibrio della struttura o di una sua parte, considerati come corpi rigidi
 - spostamenti o deformazioni eccessive
 - raggiungimento della massima capacità di parti di strutture, collegamenti, fondazioni
 - raggiungimento della massima capacità della struttura nel suo insieme
 - raggiungimento di una condizione di cinematismo irreversibile
 - raggiungimento di meccanismi di collasso nei terreni
-

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 7
---	--	--------------

- rottura di membrature e collegamenti per fatica
- rottura di membrature e collegamenti per altri effetti dipendenti dal tempo
- instabilità di parti della struttura o del suo insieme

Altri stati limite ultimi sono considerati in relazione alle specificità delle singole opere; in presenza di azioni sismiche, gli Stati Limite Ultimi comprendono gli Stati Limite di salvaguardia della Vita (SLV) e gli Stati Limite di prevenzione del Collasso (SLC).

I principali Stati Limite di Esercizio (SLE) sono elencati di seguito:

- danneggiamenti locali (ad es. eccessiva fessurazione del calcestruzzo) che possano ridurre la durabilità della struttura, la sua efficienza o il suo aspetto
- spostamenti e deformazioni che possano limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto
- spostamenti e deformazioni che possano compromettere l'efficienza e l'aspetto di elementi non strutturali, impianti, macchinari
- vibrazioni che possano compromettere l'uso della costruzione
- danni per fatica che possano compromettere la durabilità
- corrosione e/o degrado dei materiali in funzione del tempo e dell'ambiente di esposizione che possano compromettere la durabilità

Altri stati limite sono considerati in relazione alle specificità delle singole opere; in presenza di azioni sismiche, gli Stati Limite di Esercizio comprendono gli Stati Limite di Operatività (SLO) e gli Stati Limite di Danno (SLD).

Nel metodo di calcolo agli stati limite, la sicurezza strutturale nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) deve essere verificata confrontando la capacità di progetto R_d , in termini di resistenza, duttilità e/o spostamento della struttura o della membratura strutturale, funzione delle caratteristiche meccaniche dei materiali che la compongono (X_d) e dei valori nominali delle grandezze geometriche interessate (a_d), con il corrispondente valore di progetto della domanda E_d , funzione dei valori di progetto delle azioni (F_d) e dei valori nominali delle grandezze geometriche della struttura interessate.

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 8
---	--	--------------

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi (SLU) è espressa dall'equazione:

$$R_d \geq E_d$$

Il valore di progetto della resistenza di un dato materiale X_d è, a sua volta, funzione del valore caratteristico della resistenza, definito come frattile 5% della distribuzione statistica della grandezza, attraverso l'espressione:

$$X_d = X_k / \gamma_m,$$

essendo γ_m il fattore parziale associato alla resistenza del materiale.

Il valore di progetto di ciascuna delle azioni agenti sulla struttura F_d è ottenuto dal suo valore caratteristico F_k , inteso come frattile 95% della distribuzione statistica o come valore caratterizzato da un assegnato periodo di ritorno, attraverso l'espressione:

$$F_d = \psi_f * F_k$$

essendo ψ_f il fattore parziale relativo alle azioni. Nel caso di concomitanza di più azioni variabili di origine diversa si definisce un valore di combinazione $\psi_0 * F_k$, ove $\psi_0 < 1$ è un opportuno coefficiente di combinazione, che tiene conto della ridotta probabilità che più azioni di diversa origine si realizzino simultaneamente con il loro valore caratteristico.

La capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (SLE) deve essere verificata confrontando il valore limite di progetto associato a ciascun aspetto di funzionalità esaminato (C_d), con il corrispondente valore di progetto dell'effetto delle azioni (E_d), attraverso la seguente espressione formale:

$$C_d \geq E_d$$

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 9
---	--	--------------

4. CLASSIFICAZIONI DELLE AZIONI

Si definisce azione ogni causa o insieme di cause capace di indurre stati limite in una struttura.

Classificazione delle azioni in base al modo di esplicarsi:

- Dirette: forze concentrate, carichi distribuiti, fissi o mobili
- Indirette: spostamenti impressi, variazioni di temperatura e di umidità, ritiro, precompressione, cedimenti di vincoli
- Degrado:
 - Endogeno, alterazione naturale del materiale di cui è composta l'opera strutturale
 - Esogeno, alterazione delle caratteristiche dei materiali costituenti l'opera strutturale, a seguito di agenti esterni

Classificazione delle azioni secondo la risposta strutturale:

- Statiche: azioni applicate alla struttura che non provocano accelerazioni significative della stessa o di alcune sue parti
- Pseudo statiche: azioni dinamiche rappresentabili mediante un'azione statica equivalente
- Dinamiche: azioni che causano significative accelerazioni della struttura o dei suoi componenti

Classificazione delle azioni secondo la variazione della loro intensità nel tempo:

- Permanenti (G), azioni che agiscono durante tutta la vita nominale di progetto della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è molto lenta e di modesta entità:
 - peso proprio di tutti gli elementi strutturali, forze risultanti dalla pressione dell'acqua quando si configurino costanti nel tempo
 - peso proprio di tutti gli elementi non strutturali
 - spostamenti e deformazioni impressi, incluso il ritiro
 - presollecitazione (P)
- Variabili (Q), azioni che agiscono con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel corso della vita nominale della struttura:
 - sovraccarichi
 - azioni del vento
 - azioni della neve
 - azioni della temperatura
- Eccezionali (A), azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura:

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 10
---	--	---------------

- Incendi
 - Esplosioni
 - Urti ed impatti
 - Sismiche (E), azioni derivanti dai terremoti
-

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 11
---	--	---------------

5. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Come anticipato precedentemente la capacità di progetto $R_d = f(X_d, a_d)$ mentre la domanda di progetto $E_d = f(F_d)$. A sua volta F_d è ottenuta dal suo valore caratteristico F_k per mezzo di ψ_f il fattore parziale relativo alle azioni che si ricorda essere < 1 .

Il valore caratteristico G_k di azioni permanenti caratterizzate da distribuzioni con coefficienti di variazione minori di 0,10 si può assumere coincidente con il valore medio.

Nel caso di azioni variabili caratterizzate da distribuzioni dei valori estremi dipendenti dal tempo, si assume come valore caratteristico quello caratterizzato da un assegnato periodo di ritorno.

Nella definizione delle combinazioni delle azioni, i termini Q_{kj} rappresentano le azioni variabili di diversa natura che possono agire contemporaneamente: Q_{k1} rappresenta l'azione variabile di base e Q_{k2}, Q_{k3}, Q_{kn} le azioni variabili d'accompagnamento, che possono agire contemporaneamente a quella di base.

Con riferimento alla durata relativa ai livelli di intensità di un'azione variabile, si definiscono:

- valore quasi permanente $\psi_{2j} * Q_{kj}$ il valore superato oltre il 50% del tempo nel periodo di riferimento. Indicativamente, esso può assumersi uguale alla media della distribuzione temporale dell'intensità;
- valore frequente $\psi_{1j} * Q_{kj}$ il valore superato per un periodo totale di tempo che rappresenti una piccola frazione del periodo di riferimento. Indicativamente, esso può assumersi uguale al frattile 95% della distribuzione temporale dell'intensità;
- valore di combinazione $\psi_{0j} * Q_{kj}$: il valore tale che la probabilità di superamento degli effetti causati dalla concomitanza con altre azioni sia circa la stessa di quella associata al valore caratteristico di una singola azione.

Nella tabella di seguito vengono riportati i valori dei coefficienti di combinazione da adottarsi per strutture civili e industriali.

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 12
---	--	---------------

Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse , parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \Psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \Psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \Psi_{02} \cdot Q_{k2} + \Psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \Psi_{11} \cdot Q_{k1} + \Psi_{22} \cdot Q_{k2} + \Psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \Psi_{21} \cdot Q_{k1} + \Psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 13
---	--	---------------

Nelle verifiche agli stati limite ultimi SLU si distinguono:

- lo stato limite di equilibrio come corpo rigido EQU
- lo stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione STR
- lo stato limite di resistenza del terreno GEO

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente γ_F	EQU	A1	A2
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Il coefficiente parziale di precompressione si assume pari a $\gamma_p = 1$.

Le azioni sismiche di progetto (E), in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastica in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{vr} , nel periodo di riferimento V_r .

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_{vr} nel periodo di riferimento V_r , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- ag accelerazione orizzontale massima al sito
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T_{c^*} valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Per i valori di ag, F_0 , T_{c^*} necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati Ae B del decreto delle infrastrutture 14 Gennaio 2008.

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 14
---	--	---------------

6. VERIFICA PRELIMINARE DELLE FONDAZIONI DI PREFABBRICATI

A servizio dell'impianto Agrivoltaico sono previste più apparecchiature prefabbricate e preassemblate che concorrono all'esercizio dell'impianto.

In particolare, saranno installate:

- Power station n.11, corredate di inverter, trasformatore BT/AT, quadro AT;
- Container batterie da 2,5 MW, n.5 per un totale di 12,5 MW;
- Storage power station n.5 corredate di inverter, trasformatore BT/AT, quadro AT;
- Cabina di raccolta prefabbricata corredata di arrivi e partenze linee AT e gruppo di misura;

All'interno delle stesse vanno considerati gli allestimenti che concorrono alla trasformazione e al trasporto dell'energia prodotta dal generatore fotovoltaico (trasformatori, quadri ecc.). All'interno del campo sarà quindi necessario prevedere il fissaggio delle suddette apparecchiature elettriche a basamenti in calcestruzzo armato come descritto di seguito.

6.1. Power station, storage power station e storage container

Le power station e le storage power station sono delle strutture preassemblate, non cabinate, corredate di inverter centralizzato, trasformatore BT/AT in olio con relativa vasca di raccolta e quadro di alta tensione. Di seguito si riporta il dettaglio costruttivo.

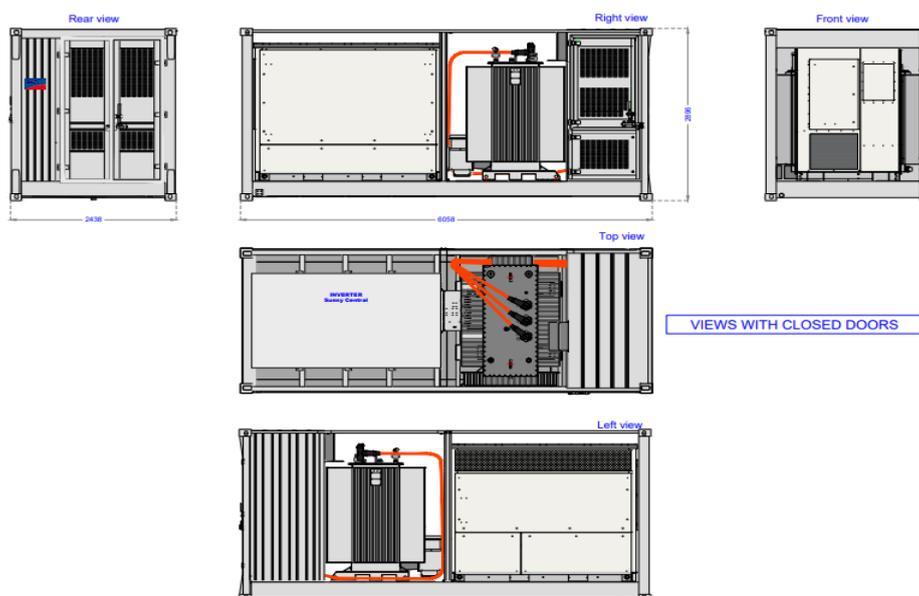


Figura 2: Power station e storage power station

Gli storage container invece solo dei prefabbricati chiusi all'interno dei quali vengono

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 15
---	--	---------------

assemblati i moduli batterie così da formare dei rack.

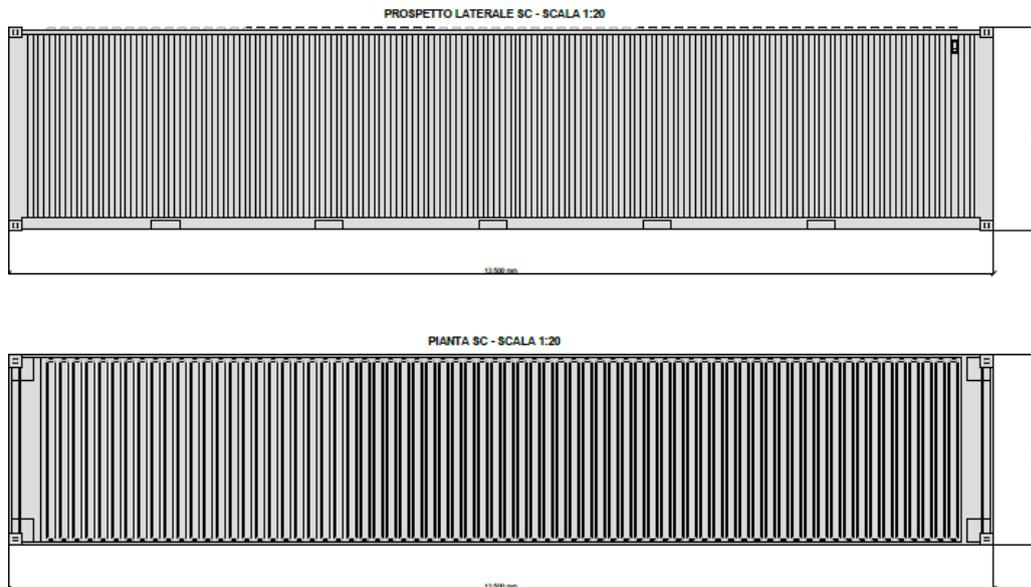


Figura 3: Prospetto e pianta dello storage container



Figura 4: Storage container in campo

6.2. Cabine di raccolta

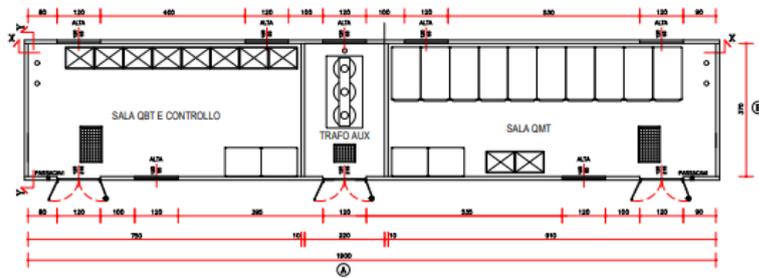
Come anticipato precedentemente la cabina di raccolta è una struttura prefabbricata all'interno della quale giungeranno le linee di collegamento delle power station di campo e dalla stessa partiranno le terne di cavi che si articoleranno fino al punto di immissione in SE. All'interno della cabina di raccolta saranno posizionate apparecchiature di gestione e controllo dell'impianto.

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 16
---	--	---------------

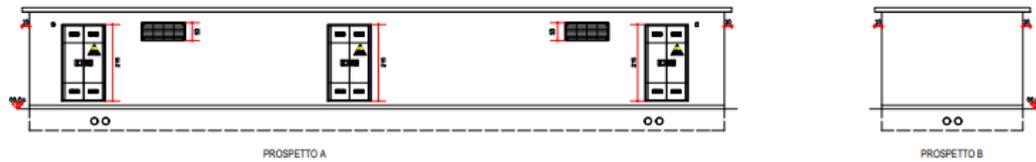


Figura 5: Cabina di raccolta di campo

PIANTA CABINA DI RACCOLTA MT (SCALA 1:50)



PROSPETTI CABINA DI RACCOLTA MT (SCALA 1:50)



SEZIONI CABINA DI RACCOLTA MT (SCALA 1:50)

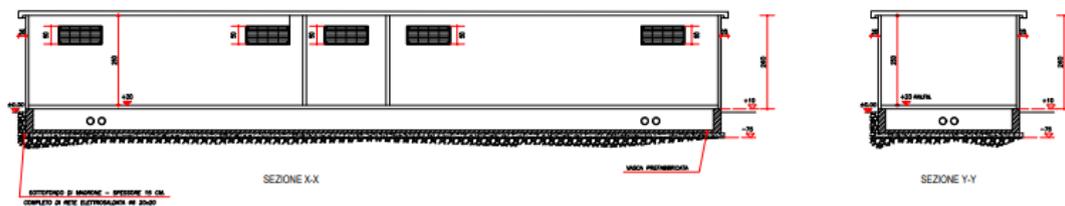


Figura 6: Pianta, prospetto e sezione della cabina di raccolta

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 17
---	--	---------------

Le suddette strutture preassemblate e prefabbricate saranno corredate dei calcoli strutturali e certificati di collaudo ad opera del costruttore. In particolare, il costruttore consegnerà la cabina con un basamento di fondazione monoblocco a vasca, in modo da garantire flessibilità per quanto riguarda la distribuzione dei cavi all'interno della cabina e assicurare una corretta distribuzione dei carichi sul terreno.

6.3. Azioni agenti sui basamenti

Per i basamenti di cui sopra si considerano, in via preliminare, i seguenti carichi:

Power station:

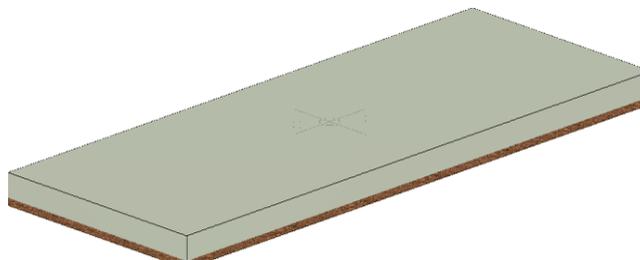
- Peso power station, comprensiva di macchinari ed attrezzature circa 12.000 kg corrispondente ad un carico ripartito di 0.08 daN/cm²
- Si è considerato un sovraccarico accidentale di 0,04 daN/cm²

Cabina:

- Peso cabina, comprensiva di macchinari ed attrezzature 60.000 kg corrispondente ad un carico ripartito di 0.09 daN/cm²
- Si è considerato un sovraccarico accidentale di 0,04 daN/cm²

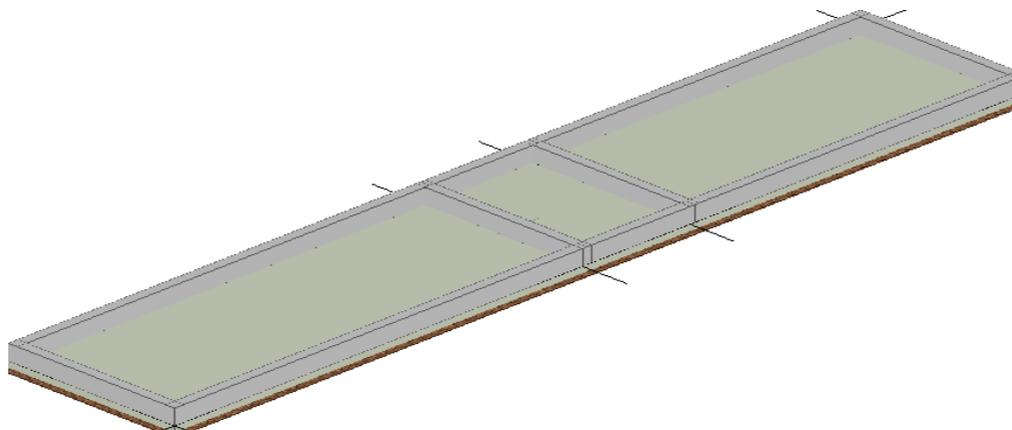
Le cabine e le power station risultano appoggiate su basamenti in calcestruzzo armato. Si riporta di seguito la schematizzazione assonometrica delle due tipologie di fondazioni previste per il singolo elemento funzionale.

Power Station



Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 18
---	--	---------------

Cabina di raccolta



6.4. Materiali impiegati e resistenze di calcolo

Tutti i materiali strutturali impiegati saranno muniti di marcatura CE, e saranno conformi alle prescrizioni del regolamento n. 305/2011 del parlamento europeo e del consiglio del 9 marzo 2011, in merito ai prodotti da costruzione. I materiali ed i vari prodotti necessari per la realizzazione delle componenti strutturali del progetto dovranno attenersi ai consueti canoni di selezione e scelta riportati in normativa. Si ritiene comunque necessario sottolineare che essi dovranno essere:

- identificati univocamente a cura del Produttore
- qualificati sotto la responsabilità del Produttore
- accettati dal Direttore dei Lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di qualificazione, nonché mediante eventuali prove sperimentali di accettazione

Le prove su materiali e prodotti devono generalmente essere effettuate da:

- laboratori di prova notificati ai sensi dell'art.18 della Direttiva n.89/106/CEE
- laboratori di cui all'art.59 del DPR n.380/2001
- altri laboratori, dotati di adeguata competenza e idonee attrezzature, appositamente abilitati dal Servizio Tecnico Centrale

I produttori di materiali, prodotti o componenti dovranno dotarsi di adeguate procedure di controllo di produzione infabbrica. Per controllo di produzione nella fabbrica si intende il controllo permanente della produzione, effettuato dal fabbricante. Tutte le procedure e le disposizioni adottate dal fabbricante dovranno essere documentate sistematicamente ed essere a disposizione

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 19
---	--	---------------

di qualsiasi soggetto od ente di controllo che ne abbia titolo.

Acciaio in barre da c.a.

Tipo di acciaio: B450C

Caratteristiche	Requisiti	Frattile (%)
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	$\geq f_{y nom}$	5.00
Tensione caratteristica di rottura	$\geq f_t nom$	5.00
$(f_t/f_y)k$	≥ 1.15 < 1.35	10.00
$(f_y/f_{ynom})k$	≤ 1.25	
Allungamento $(A_{gt})k$	$\geq 7.5 \%$	
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche		
$\varnothing < 12 \text{ mm}$	4 \varnothing	
$12 \leq \varnothing \leq 16 \text{ mm}$	5 \varnothing	
per $16 \leq \varnothing \leq 25 \text{ mm}$	8 \varnothing	
per $25 \leq \varnothing \leq 40 \text{ mm}$	10 \varnothing	

Le barre sono caratterizzate dal diametro Φ della barra tonda liscia equipesante, calcolato nell'ipotesi che la densità dell'acciaio sia pari a 7,85 kg/dm³. L'acciaio per cemento armato B450C è caratterizzato dai seguenti valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento e rottura da utilizzare nei calcoli e deve rispettare i requisiti indicati nelle seguenti tabelle.

$e_{yd} = f_{yd} / E_s$
$e_{su} = 1\%$
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$
$\sigma_s = 0,8 f_{yk}$

Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450	[N/mm ²]
Resistenza a rottura dell'acciaio a trazione	f_t	540	[N/mm ²]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio	γ_s	1.15	[-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio	E_s	206000	[N/mm ²]
Deformazione a snervamento dell'acciaio	ϵ_{yd}	0.001957	[-]
Deformazione ultima dell'acciaio	ϵ_{su}	0.01	[-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	f_{yd}	391.3	[N/mm ²]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360	[N/mm ²]

Prima della fornitura in cantiere, gli elementi di cui sopra, possono essere saldati, presagomati (staffe, ferri piegati, ecc.) o preassemblati (gabbie di armatura, ecc.) a formare elementi composti direttamente utilizzabili in opera.

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 20
---	--	---------------

Gli acciai delle reti e tralicci elettrosaldati devono essere saldabili. L'interasse delle barre non deve superare i 330 mm. Gli elementi base devono avere diametro Φ compreso tra 6 mm e 16 mm. Il rapporto tra i diametri delle barre componenti le reti deve essere: $\Phi \text{ min} / \Phi \text{ Max} \geq 0,6$.

Calcestruzzo per getti in opera

Tipo di calcestruzzo: C28/35, rif. UNI ENV 1992-1-1

Nel Presente Progetto è previsto l'impiego di un calcestruzzo C28/35. Le Caratteristiche Meccaniche del Calcestruzzo sono di seguito riportate e seguono le formulazioni classiche della normativa italiana vigente.

$f_{cm} = f_{ck} + 8$	
$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3}$	$f_{ck} \leq 50 \text{ [N/mm}^2\text{]}$
$f_{ctm} = 2,12 \ln(1 + f_{cm}/10)$	$f_{ck} > 50 \text{ [N/mm}^2\text{]}$
$f_{ctk;0,05} = 0,7 f_{ctm}$	
$f_{ctk;0,95} = 1,3 f_{ctm}$	
$E_{cm} = 22[f_{cm}/10]^{0,3}$	in [GPa]
$\epsilon_{c1} = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50)^{0,53}$	$f_{ck} \geq 50 \text{ [N/mm}^2\text{]}$
$\epsilon_{cu} = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100]^4$	$f_{ck} \geq 50 \text{ [N/mm}^2\text{]}$
$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	
$f_{ctd} = f_{ctk;0,05} / \gamma_c$	
$\sigma_{c,caratt.} = 0,6 f_{ck}$	
$\sigma_{c,q.p.} = 0,45 f_{ck}$	

Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	35.00	[N/mm ²]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	28.00	[N/mm ²]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1.50	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0.85	[-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	36.00	[N/mm ²]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	2.80	[N/mm ²]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk;0,05}$	1.90	[N/mm ²]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk;0,95}$	3.60	[N/mm ²]
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	32308	[N/mm ²]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ϵ_{c1}	0.0020	[-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ϵ_{cu}	0.0035	[-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	15.87	[N/mm ²]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1.29	[N/mm ²]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	16.80	[N/mm ²]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	12.60	[N/mm ²]

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 21
---	--	---------------

Classe di consistenza: S4-S5 (a seconda della specifica destinazione)

- S4 (consistenza fluida - slump da 160 a 210 mm) → per le struttura entro e fuori terra in genere
- S5 (consistenza superfluida - slump \geq 220 mm) → per le parti di calcestruzzo a vista e di modesto spessore e per le pareti perimetrali dei serbatoi, relativa fondazione e soletta di copertura

Classe di esposizione:

- XC3 (protezione contro corrosione armatura indotta da carbonatazione - umidità moderata: $a/c_{max} = 0,55$; dosaggio minimo di cemento (kg/m³) = 320 (280)) → per le strutture entro e fuori terra in genere
- XC2 (protezione contro corrosione armatura indotta da carbonatazione - bagnato, raramente asciutto: $a/c_{max} = 0,60$; dosaggio minimo di cemento (kg/m³) = 300 (280)) → per le pareti perimetrali dei serbatoi, relativa fondazione e soletta di copertura
- Copriferro: 3.5 cm → per le struttura entro e fuori terra in genere
- Tipo di aggregato: normale, di origine naturale o artificiale
- Dimensione dell'aggregato: diametro massimo circa 20 mm

Qualità dei componenti:

- La sabbia deve essere viva, con grani assortiti in grossezza da 0 a 3 mm, non proveniente da rocce in decomposizione, scricchiolante alla mano, pulita, priva di materie organiche, melmose, terrose e di salsedine
- La ghiaia deve contenere elementi assortiti, di dimensioni fino a circa 20 mm, resistenti e non gelivi, non friabili, scevri di sostanze estranee

Prescrizioni:

- Utilizzare cemento pozzolanico CEMIV secondo UNI EN 197-1 → per le parti di calcestruzzo a vista, relativa fondazione e soletta di copertura

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 22
---	--	---------------

7. VERIFICA PRELIMINARE TRACKER

Il presente capitolo descrive la verifica preliminare degli elementi strutturali componenti due inseguitori meccanici mono assiali (tracker) progettati per un impianto comparabile a quello oggetto della presente relazione, fornita dal costruttore.

7.1. Normative dimensionamento tracker

- D.M. LL. PP. 11-03-88: Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- Circolare Ministeriale del 24-07-88, n. 30483/STC.
- Legge 02-02-74 n. 64, art. 1 - D.M. 11-03-88: Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18: Sicurezza e prestazioni attese (cap.2), Azioni sulle costruzioni (cap.3), Costruzioni in calcestruzzo (par.4.1), Costruzioni in legno (par.4.4), Costruzioni in muratura (par.4.5), Progettazione geotecnica (cap.6), Progettazione per azioni sismiche (cap.7), Costruzioni esistenti (cap.8), Riferimenti tecnici (cap.12), EC3.
- Circolare n.7 del 21-01-19 C.S.LL.PP: Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle N.T.C. di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- EUROCODICE 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-4: Azioni in generale - azioni del vento (UNI EN 1991-1-4:2005);
- EUROCODICE 3 - Progettazione delle Strutture in acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici (UNI EN 1993-1-1:2005);
- EUROCODICE 3 - Progettazione delle Strutture in acciaio - Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti (UNI EN 1993-1-8:2005);

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 23
---	--	---------------

7.2. Caratteristiche geometriche moduli fotovoltaici

La struttura meccanica è costituita da elementi verticali infissi direttamente nel terreno. Detti elementi rappresentano al contempo sia i montanti verticali fuori terra che le fondazioni profonde. Gli elementi orizzontali principali sono costituiti da profili a sezione tubolare cava, denominati *beam*. I supporti moduli sono posizionati sulla trave in maniera ortogonale alla stessa ed hanno la funzione di sorreggere i pannelli fotovoltaici.

Per il calcolo strutturale sono state considerate le due configurazioni generanti le massime tensioni:

- MODELLO A $\alpha = 0^\circ$
- MODELLO B $\alpha = 55^\circ$

Configurazione per TRJ HT 27

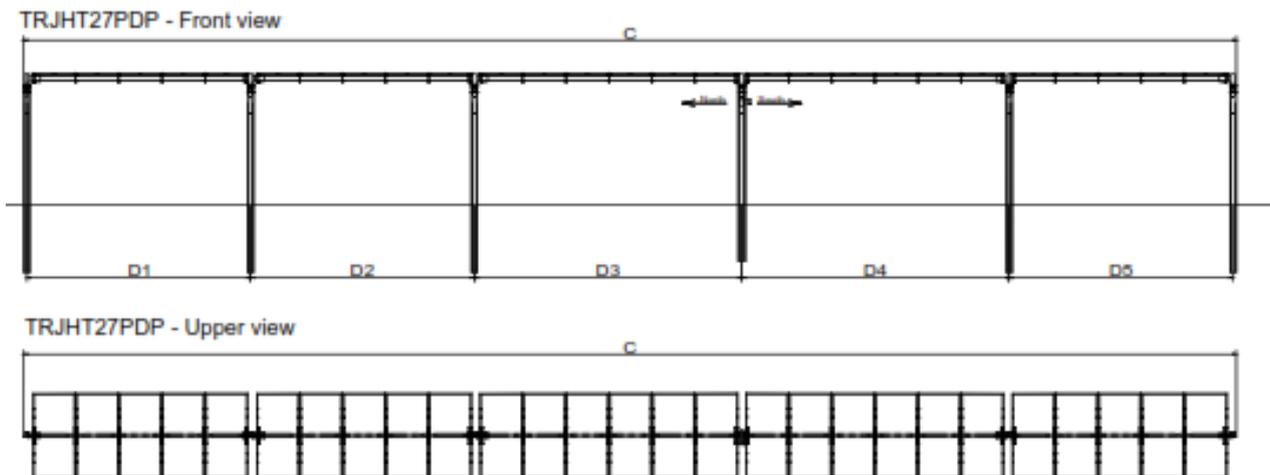


Figura 7: Configurazione per TRJ HT 27

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 24
---	--	---------------

Configurazione per TRJ HT 27 – Vista Laterale con $\alpha = 0^\circ$ e 55°

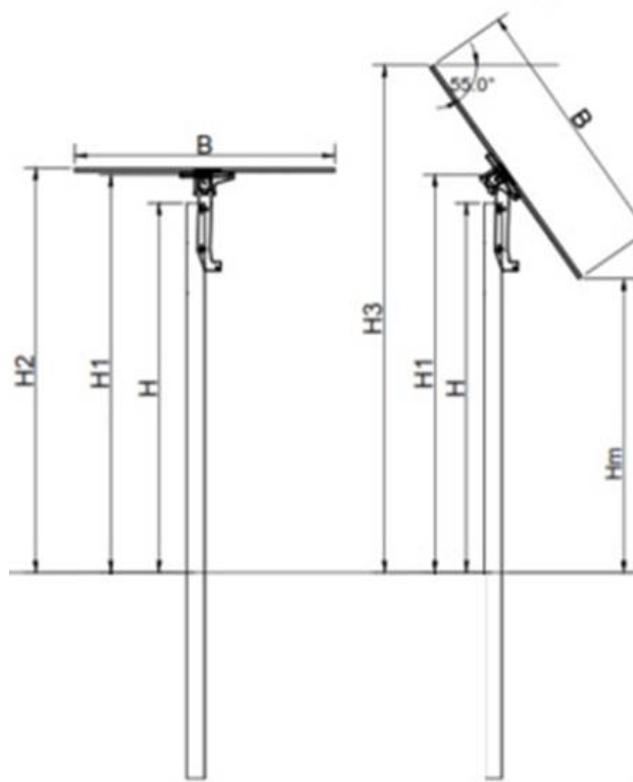


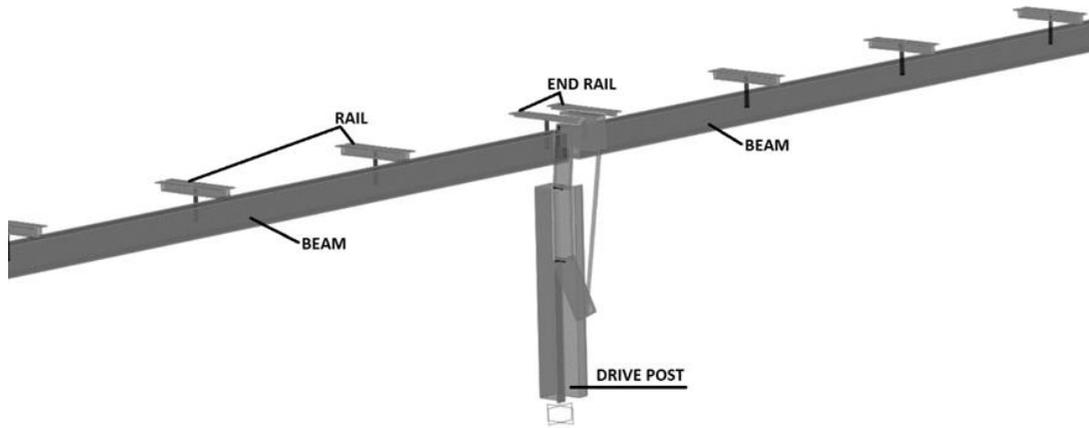
Figura 8: Configurazione per TRJ HT 27 – Vista Laterale

APPROXIMATE DIMENSIONS	
B	2285 mm
H	3435 mm
H1	3635 mm
H2	3700 mm
H3	4571 mm
Hm	2700 mm
D1/2/5	5970 mm
D3/4	7120 mm

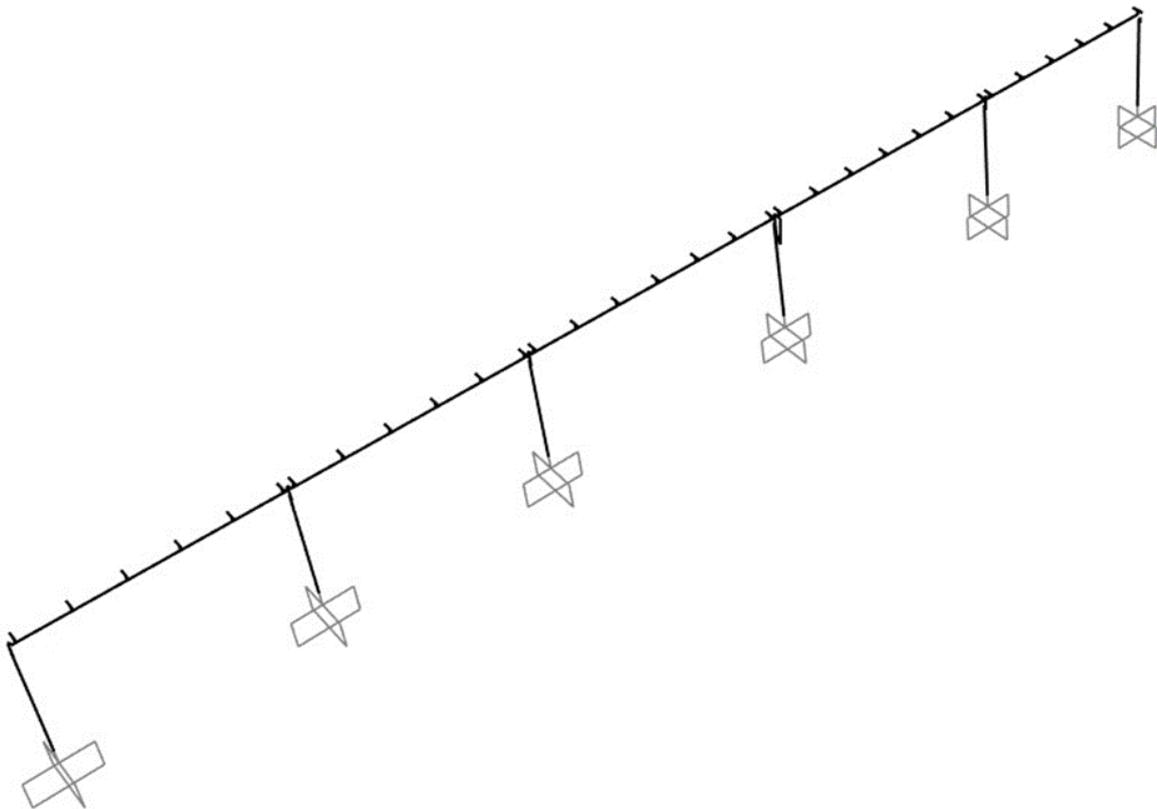
Figura 9: Dimensioni elementi costruttivi

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 25
---	--	---------------

TRJ HT 27 PDP

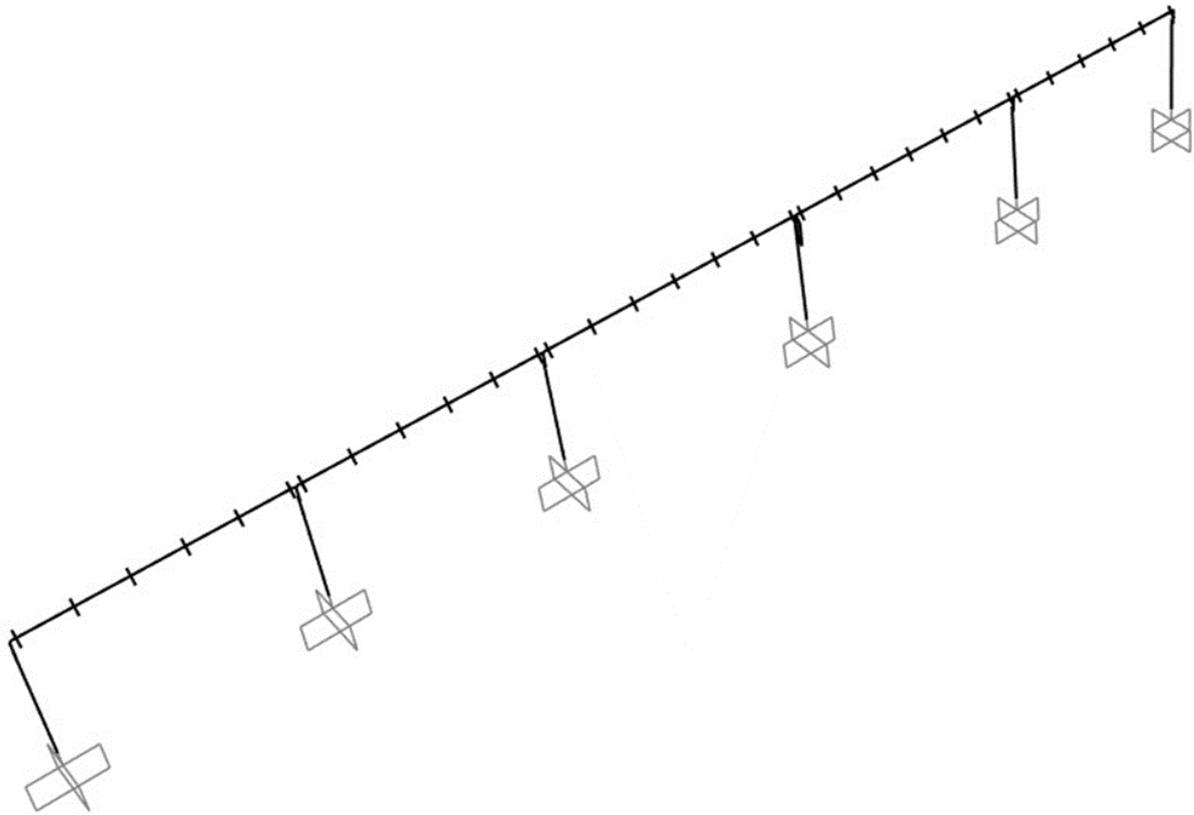


MODELLO A $\alpha = 0^\circ$



Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 26
---	--	---------------

MODELLO B $\alpha = 55^\circ$



Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 27
---	--	---------------

7.3. Strategie di stowing

Vento

La progettazione del tracker si basa sul presupposto che non è mai sottoposto ad una velocità del vento da normativa se non quando è in STOW POSITION ($\alpha = 0^\circ$). Pertanto, l'attuatore deve essere in grado di condurre il sistema nella posizione di sicurezza sotto i carichi previsti a seguito del rilevamento di una velocità del vento di innesco chiamata "Go To Stow Wind Speed".

La velocità del vento di innesco è impostata di default a 15,6 m/s, misurata come una raffica di 3 secondi a 5m di altezza. Questo valore deve essere scalato ai valori misurati all'altezza dell'anemometro. Si può supporre che l'anemometro abbia la massima precisione di circa una raffica di 3 secondi, quindi ogni misurazione viene confrontata con il valore di innesco. Per scalare la raffica a 10 m di altezza, all'altezza dell'anemometro (h), ci basiamo sulla relazione derivata dalle equazioni del EN 1991.1.4:

$$V_p(h) = V_p(10m) * \frac{\sqrt{C_e(h)}}{\sqrt{C_e(10m)}}$$

Neve

La progettazione del tracker si basa sul presupposto che non è mai sottoposto ad una pressione da normativa se non quando è in STOW POSITION ($\alpha = 55^\circ$). Pertanto, l'attuatore deve essere in grado di condurre il sistema nella posizione di sicurezza sotto i carichi previsti a seguito del rilevamento di uno spessore della neve di innesco chiamato "Trigger accumulation".

Lo spessore della neve di innesco è impostato di default a 30 mm ed è misurato a terra da un sensore in una zona indisturbata.

Vento VS Neve

L'utilizzo contemporaneo delle strategie sopra descritte è reso possibile dal calcolo dello spessore massimo della neve secondo l'equazione 7-7.1 dell'ASCE 7-16:

$$h = \gamma_s \cdot \frac{s_k}{\gamma} = \gamma_s \cdot \frac{s_k}{0.426 \cdot s_k + 2.2}$$

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 28
---	--	---------------

Tale spessore deve essere minore dell'altezza da terra misurata al massimo angolo di inclinazione del tracker, cosicché nel caso in cui si azioni l'allarme vento la struttura sia in grado sempre di tornare nella STOW POSITION.

7.4. Caratteristiche dei materiali considerati

STANDARD

S420

Limite di Snervamento	$f_y \geq 420 \text{ N/mm}^2$
Limite di rottura	$f_t \geq 480 \text{ N/mm}^2$
Resilienza a 20°C	$R \leq 27 \text{ J}$
Modulo Elastico	$E = 210000 \text{ N/mm}^2$
Modulo Tangenziale	$G = E/[2(1+\nu)] = 80769 \text{ N/mm}^2$
Coefficiente di espansione lineare termica	$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}^{-1}$

I profili realizzati con il seguente materiale sono:

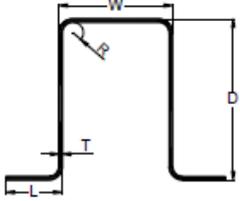
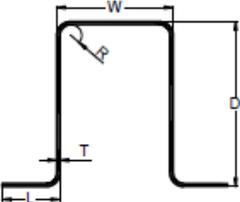
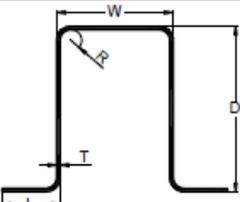
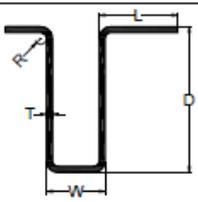
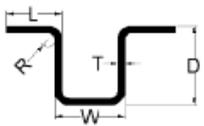
- Drive Post 155 x 111 x 53 x 5 mm
- Lateral Post 155 x 109 x 35 x 4 mm
- Main beam 150x150x2,5 mm
- Cantilever 150x50 x 4 mm

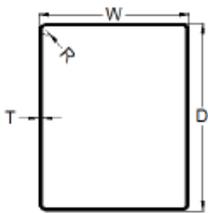
S345

Limite di Snervamento	$f_y \geq 345 \text{ N/mm}^2$
Limite di rottura	$f_t \geq 490 \text{ N/mm}^2$
Resilienza a 20°C	$R \leq 27 \text{ J}$
Modulo Elastico	$E = 210000 \text{ N/mm}^2$
Modulo Tangenziale	$G = E/[2(1+\nu)] = 80769 \text{ N/mm}^2$
Coefficiente di espansione lineare termica	$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}^{-1}$

I profili realizzati con il seguente materiale sono:

- Module Support Type S 100x21 x 33 x 10 x 1,5 mm
- Module support Type LS 85 x 23 x 35 x 10 x 2,5 mm
- Module support type E 70 x 20 x 13,5 x 2,5 mm
- Module support type P 75,5 x 32 x 24 x 3,5 mm

	SEZIONE	DIMENSIONI [mm]	STEEL GRADE	CLASSIFICAZIONE
DRIVE POST		Depth: 155mm Width: 111.5mm Leg: 50mm Thickness: 5.5 mm	S420 $f_y \geq 420$ MPa $f_u \geq 480$ MPa $E = 210$ GPa	CLASSE 1
MIDDLE POST		Depth: 155 mm Width: 110.5 mm Leg: 50 mm Thickness: 5 mm	S420 $f_y \geq 420$ MPa $f_u \geq 480$ MPa $E = 210$ GPa	CLASSE 2
END POST		Depth: 155mm Width: 108.5 mm Leg: 50 mm Thickness: 4 mm	S420 $f_y \geq 420$ MPa $f_u \geq 480$ MPa $E = 210$ GPa	CLASSE 3
RAIL		Depth: 44 mm Width: 27 mm Leg max: 36.8 mm Thickness: 1.8 mm	S420 $f_y \geq 420$ MPa $f_u \geq 480$ MPa $E = 210$ GPa	CLASSE 4
END RAIL		Depth: 19 mm Width: 19 mm Leg: 30 mm Thickness: 2.5 mm	S420 $f_y \geq 420$ MPa $f_u \geq 480$ MPa $E = 210$ GPa	CLASSE 3

	SEZIONE	DIMENSIONI [mm]	STEEL GRADE	CLASSIFICAZIONE
BEAM		Depth: 140mm Width: 100mm Thickness: 3.5mm	S420 $f_y \geq 420$ MPa $f_u \geq 480$ MPa $E = 210$ GPa	CLASSE 2

f_y = limite di snervamento, f_u = limite di rottura, E : Modulo elastico

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 30
---	--	---------------

BULLONERIA

I bulloni, conformi per le caratteristiche dimensionali alle norme UNI EN ISO 4016:2002 e UNI 5592:1968, devono appartenere alle sotto indicate classi della norma UNI EN ISO 898-1:2001.

Limite di Snervamento	$f_{yb} \geq 649 \text{ N/mm}^2$
Limite di rottura	$f_{tb} \geq 800 \text{ N/mm}^2$

SALDATURE

Eventuali saldature dell'acciaio dovranno avvenire con uno dei procedimenti all'arco elettrico codificatissecondo la norma UNI EN ISO 4063:2001. È ammesso l'uso di procedimenti diversi purché sostenuti da adeguata documentazione teorica e sperimentale.

7.5. Analisi dei Carichi

7.5.1. Carichi permanenti portati definiti - G1

I pesi propri strutturali vengono generati in automatico dal software di calcolo.

7.5.2. Carichi permanenti portati definiti - G2

Sezione [mm]	Peso [N]	Peso [N/m ²]
2285mmx1136mm	322	124

Nel modello di calcolo i carichi sono stati applicati con carichi distribuiti linearmente coerentemente con il modello reale:

- cond.2 → G2 - pannelli fotovoltaici - elemento interno $\Omega... Pz = \text{Peso}/2 \text{ [N]}$
- cond.2 → G2 - pannelli fotovoltaici - elemento esterno $\Omega.. Pz = \text{Peso}/4 \text{ [N]}$

7.5.3. Carichi accidentali - Azione del Vento

L'azione del vento viene determinata in accordo con il D.M. 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni.

7.5.3.1. Pressione del Vento

La pressione del vento, in riferimento al §3.3.4 delle NTC-18, è data dall'espressione:

$$P = q_r C_e C_p C_d$$

Dove:

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 31
---	--	---------------

q_r è la pressione cinetica di riferimento di cui al §3.3.6 delle NTC-18;

C_e è il coefficiente di esposizione di cui al §3.3.7 delle NTC-18;

C_p è il coefficiente di pressione di cui al §3.3.8 delle NTC-18;

C_d è il coefficiente dinamico di cui al §3.3.9 delle NTC-18.

Pressione del vento

Categoria di esposizione III - Tab. 3.3.II

Stow Wind Position

Angolo tracking di riferimento	α	0	°	
Velocità base di riferimento	$v_{b,0}$	28	m/s	Tab 3.3.1
Coefficiente di ritorno	c_r	1.001	-	Eq. 3.3.3
Coefficiente di altitudine	c_a	1.0	-	Eq. 3.3.1.b
Velocità di base del vento	v_b	28.0	m/s	Tab 3.3.1
Velocità di riferimento	v_r	28.0	m/s	Eq. 3.3.2
Densità dell'aria	ρ	1.225	kg·m ⁻³	ISO 2533:1975
Pressione cinetica di riferimento	q_r	0.481	kN/m ²	Eq. 3.3.6
Coefficiente di esposizione	$c_e(z)$	1.708	-	Eq. 3.3.7
Pressione del vento	$q_{p,z}$	0.821	kN/m²	Eq. 3.3.5

Working Wind Position

"Go To Stow Wind Speed" [3 sec]	V_{stow}	17.2	m/s	
"Go To Stow Wind Speed" [10 min]	V_{stow}	11.6	m/s	ISO 4354:2009
Coefficiente di ritorno	c_r	1	-	*
Coefficiente di altitudine	c_a	1	-	*
Velocità di base del vento	v_b	11.6	m/s	Tab 3.3.1
Velocità di riferimento	v_r	11.6	m/s	Eq. 3.3.2
Densità dell'aria	ρ	1.225	kg·m ⁻³	ISO 2533:1975
Pressione cinetica di riferimento	q_r	0.082	kN/m ²	Eq. 3.3.6
Coefficiente di esposizione	$c_e(z)$	1.708	-	Eq. 3.3.7
Pressione del vento	$q_{p,z}$	0.140	kN/m²	Eq. 3.3.5

*uguali ad 1 perché la "Go To Stow Windspeed" è misurata

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 32
---	--	---------------

7.5.3.2. Coefficiente di pressione

I coefficienti di pressione flessionali GCn e torsionali GCm sono solitamente ottenuti da test in galleria del vento eseguiti dal Dipartimento di Ingegneria Meccanica del "Politecnico di Milano" - GVPM.

Applicazione dei coefficienti statici e dinamici dal RWDI Wind Tunnel Report. L'utilizzo dei risultati del Wind Tunnel consente una diversa progettazione tra le File Esterne e le File Interne [RWDI's Wind Tunnel Site].

7.5.4. Carichi accidentali - Azione della Neve

Il carico da neve viene determinato in accordo con il paragrafo §3.4.1 del D.M. 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni. Il carico provocato dalla neve sulle coperture sarà valutato mediante la seguente espressione:

$$q_{s,\alpha} = \mu_{i,\alpha} \cdot c_e \cdot c_t \cdot q_{sk}$$

Dove:

q_{sk} è il valore di riferimento del carico della neve al suolo, di cui al §3.4.3 delle

NTC-18; μ_i è il coefficiente di forma di cui al §3.4.3 delle NTC-18;

c_e è il coefficiente di esposizione di cui al §3.4.4 delle

NTC-18; c_t è il coefficiente termico di cui al §3.4.5 delle

NTC-18.

AZIONE DELLA NEVE

Stow Snow Position

Angolo tracking di riferimento	α	55	°	
Altitudine	a_s	36	m	
Valore di riferimento della neve	q_{sk}	600.	N/m^2	§3.4.2
		0		
Coefficiente di esposizione	c_e	1	-	Tab. 3.4.1
Coefficiente termico	c_t	1	-	§3.4.5
Coefficiente di forma	μ_i	0.13	-	Tab. 3.4.II
Carico neve	q_s	80	N/m^2	Eq. 3.4.1

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 33
---	--	---------------

Carico neve sul torque tube

qs 105 N/m

Working Snow Position

Spessore accumulo neve di innesco

30 mm

Carico neve

qs 67 N/m² Eq. 7-7.1 [ASCE 7-16]

Carico neve sul torque tube

qs 153 N/m

Carico neve max*

qs 153 N/m

*da utilizzare in modo conservativo su tutti gli angoli di tracking

7.5.5. Carico Termico

Il carico termico viene calcolato in modo automatico dal software strutturale attraverso la seguente espressione lineare:

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot L = 12 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta T \cdot L$$

Nel modello strutturale gli spostamenti vengono generati in relazione alle forze. A favore della sicurezza i carichi termici considerati nel calcolo sono i seguenti:

$$+\Delta T = +30^{\circ}C$$

$$-\Delta T = -30^{\circ}C$$

7.5.6. Spettro di risposta per l'analisi sismica

In fase di valutazione e di calcolo preliminare, risulta trascurabile da definizione di carico sismico, constatando l'irrelevanza che tale carico esercita nel dimensionamento della struttura.

7.6. Combinazione dei carichi e criteri di verifica

La combinazione dei carichi agenti sulla struttura e la conseguente verifica strutturale viene fatta in accordo con quanto prescritto dal DM 17/01/18. La relazione fondamentale per la verifica è data dalla seguente espressione

$$E_d \leq R_d = R_k / \gamma_{m0}$$

In accordo con il DM 17/01/18 per le verifiche è stato considerato:

R_k → Valore caratteristico di Resistenza;

$\gamma_{m0} = 1,05$ → Coefficiente parziale di resistenza di Resistenza per acciaio;

Il criterio utilizzato per la progettazione è l'Approccio 1 in accordo al cap. 02 del DM 17/01/18 che considera per le verifiche strutturali i valori dei coefficienti parziali riportati in Tabella 2.6.I

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 34
---	--	---------------

colonna A1 STR, come pure per le verifiche geotecniche sono considerati i coefficienti parziali riportati in Tabella A1.2(C).

Combinazione per le verifiche allo SLU di resistenza

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_Q \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Combinazione per le verifiche per azioni dovute da SISMA (SLV)

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + E + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Combinazione per le verifiche allo SLS - rare

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{1,i} \cdot Q_{k,i}$$

In cui i parametri sono indicati nelle tabelle sottostanti:

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_F			
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)	da valutarsi caso per caso		
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Progetto: Fattoria Solare “Casa Scaccia” AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 35
--	---	----------------------

7.6.1. Combinazioni di carico

Nel seguito si riporta la tabella con le combinazioni di carico

Combo Name	DEAD	PV_panels	Snow	DT+	DT-	WL0_C1_down	WL0_C1_uplift	WL0_C3_down
ULS_01	1.3	1.3				1.5		
ULS_02	1.3	1.3	0.75			1.5		
ULS_03	1.3	1.3	0.75	0.9		1.5		
ULS_04	1.3	1.3	0.75		0.9	1.5		
ULS_05	1	1		0.9			1.5	
ULS_06	1	1			0.9		1.5	
ULS_07	1.3	1.3	1.5					
ULS_08	1.3	1.3	1.5					0.9
ULS_09	1.3	1.3	1.5	0.9				0.9
ULS_10	1.3	1.3	1.5		0.9			0.9
ULS_11	1.3	1.3		1.5				
ULS_12	1.3	1.3			1.5			
ULS_13	1.3	1.3		1.5		0.9		
ULS_14	1.3	1.3			1.5	0.9		
ULS_15	1.3	1.3	0.75	1.5				
ULS_16	1.3	1.3	0.75		1.5			
ULS_17	1.3	1.3	0.75	1.5		0.9		
ULS_18	1.3	1.3	0.75		1.5	0.9		

Combo Name	DEAD	PV_panels	Snow	DT+	DT-	WL1_C1_down	WL1_C1_uplift	WL1_C2_down	WL1_C2_uplift	WL1_C3_down	WL1_C4_down
ULS_19	1.3	1.3				1.5					
ULS_20	1.3	1.3	0.75			1.5					
ULS_21	1.3	1.3	0.75	0.9		1.5					
ULS_22	1.3	1.3	0.75		0.9	1.5					
ULS_23	1	1		0.9			1.5				
ULS_24	1	1			0.9		1.5				
ULS_25	1.3	1.3	1.5								
ULS_26	1.3	1.3	1.5							0.9	
ULS_27	1.3	1.3	1.5	0.9						0.9	
ULS_28	1.3	1.3	1.5		0.9					0.9	
ULS_29	1.3	1.3		1.5							
ULS_30	1.3	1.3			1.5						
ULS_31	1.3	1.3		1.5		0.9					
ULS_32	1.3	1.3			1.5	0.9					
ULS_33	1.3	1.3	0.75	1.5							
ULS_34	1.3	1.3	0.75		1.5						
ULS_35	1.3	1.3	0.75	1.5		0.9					
ULS_36	1.3	1.3	0.75		1.5	0.9					
ULS_37	1.3	1.3						1.5			
ULS_38	1.3	1.3	0.75					1.5			
ULS_39	1.3	1.3	0.75	0.9				1.5			
ULS_40	1.3	1.3	0.75		0.9			1.5			
ULS_41	1	1		0.9					1.5		
ULS_42	1	1			0.9				1.5		
ULS_43	1.3	1.3	1.5								
ULS_44	1.3	1.3	1.5								0.9
ULS_45	1.3	1.3	1.5	0.9							0.9
ULS_46	1.3	1.3	1.5		0.9						0.9
ULS_47	1.3	1.3		1.5							
ULS_48	1.3	1.3			1.5						
ULS_49	1.3	1.3		1.5				0.9			
ULS_50	1.3	1.3			1.5			0.9			
ULS_51	1.3	1.3	0.75	1.5							
ULS_52	1.3	1.3	0.75		1.5						
ULS_53	1.3	1.3	0.75	1.5				0.9			
ULS_54	1.3	1.3	0.75		1.5			0.9			

Progetto: Fattoria Solare “Casa Scaccia” AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 36
--	---	----------------------

Combo Name	DEAD	PV_panels	Snow	DT+	DT-	WL2_C1_down	WL2_C1_uplift	WL2_C2_down	WL2_C2_uplift	WL2_C3_down	WL2_C4_down
ULS_55	1.3	1.3				1.5					
ULS_56	1.3	1.3	0.75			1.5					
ULS_57	1.3	1.3	0.75	0.9		1.5					
ULS_58	1.3	1.3	0.75		0.9	1.5					
ULS_59	1	1		0.9			1.5				
ULS_60	1	1			0.9		1.5				
ULS_61	1.3	1.3	1.5								
ULS_62	1.3	1.3	1.5							0.9	
ULS_63	1.3	1.3	1.5	0.9						0.9	
ULS_64	1.3	1.3	1.5		0.9					0.9	
ULS_65	1.3	1.3		1.5							
ULS_66	1.3	1.3			1.5						
ULS_67	1.3	1.3		1.5		0.9					
ULS_68	1.3	1.3			1.5	0.9					
ULS_69	1.3	1.3	0.75	1.5							
ULS_70	1.3	1.3	0.75		1.5						
ULS_71	1.3	1.3	0.75	1.5		0.9					
ULS_72	1.3	1.3	0.75		1.5	0.9					
ULS_73	1.3	1.3						1.5			
ULS_74	1.3	1.3	0.75					1.5			
ULS_75	1.3	1.3	0.75	0.9				1.5			
ULS_76	1.3	1.3	0.75		0.9			1.5			
ULS_77	1	1		0.9					1.5		
ULS_78	1	1			0.9				1.5		
ULS_79	1.3	1.3	1.5								
ULS_80	1.3	1.3	1.5								0.9
ULS_81	1.3	1.3	1.5	0.9							0.9
ULS_82	1.3	1.3	1.5		0.9						0.9
ULS_83	1.3	1.3		1.5							
ULS_84	1.3	1.3			1.5						
ULS_85	1.3	1.3		1.5				0.9			
ULS_86	1.3	1.3			1.5			0.9			
ULS_87	1.3	1.3	0.75	1.5							
ULS_88	1.3	1.3	0.75		1.5						
ULS_89	1.3	1.3	0.75	1.5				0.9			
ULS_90	1.3	1.3	0.75		1.5			0.9			

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 37
--	---	----------------------

Combo Name	DEAD	PV_panel s	Snow	DT +	DT-	WL3_C3_dow n	WL3_C3_uplif t	WL3_C4_dow n	WL3_C4_uplif t
ULS_91	1.3	1.3				1.5			
ULS_92	1.3	1.3	0.75			1.5			
ULS_93	1.3	1.3	0.75	0.9		1.5			
ULS_94	1.3	1.3	0.75		0.9	1.5			
ULS_95	1	1		0.9			1.5		
ULS_96	1	1			0.9		1.5		
ULS_97	1.3	1.3	1.5						
ULS_98	1.3	1.3	1.5			0.9			
ULS_99	1.3	1.3	1.5	0.9		0.9			
ULS_100	1.3	1.3	1.5		0.9	0.9			
ULS_101	1.3	1.3		1.5					
ULS_102	1.3	1.3			1.5				
ULS_103	1.3	1.3		1.5		0.9			
ULS_104	1.3	1.3			1.5	0.9			
ULS_105	1.3	1.3	0.75	1.5					
ULS_106	1.3	1.3	0.75		1.5				
ULS_107	1.3	1.3	0.75	1.5		0.9			
ULS_108	1.3	1.3	0.75		1.5	0.9			
ULS_109	1.3	1.3						1.5	
ULS_110	1.3	1.3	0.75					1.5	
ULS_111	1.3	1.3	0.75	0.9				1.5	
ULS_112	1.3	1.3	0.75		0.9			1.5	
ULS_113	1	1		0.9					1.5

Combo Name	DEAD	PV_panel s	Snow	DT +	DT-	WL3_C3_down	WL3_C3_uplift	WL3_C4_dow n	WL3_C4_uplif t
ULS_114	1	1			0.9				1.5
ULS_115	1.3	1.3	1.5						
ULS_116	1.3	1.3	1.5					0.9	
ULS_117	1.3	1.3	1.5	0.9				0.9	
ULS_118	1.3	1.3	1.5		0.9			0.9	
ULS_119	1.3	1.3		1.5					
ULS_120	1.3	1.3			1.5				
ULS_121	1.3	1.3		1.5				0.9	
ULS_122	1.3	1.3			1.5			0.9	
ULS_123	1.3	1.3	0.75	1.5					
ULS_124	1.3	1.3	0.75		1.5				
ULS_125	1.3	1.3	0.75	1.5				0.9	
ULS_126	1.3	1.3	0.75		1.5			0.9	

Combo Name	DEAD	PV_panel s	Ex_SLV	Ey_SLV
ULS_127	1	1	1	0.3
ULS_128	1	1	0.3	1

Combo Name	DEAD	PV_panel s	Snow	DT +	DT-	WL0_C1_dow n	WL0_C1_uplif t	WL0_C3_dow n
SLS_01	1	1				1		
SLS_02	1	1	0.5			1		
SLS_03	1	1	0.5	0.6		1		
SLS_04	1	1	0.5		0.6	1		
SLS_05	1	1		0.6			1	
SLS_06	1	1			0.6		1	
SLS_07	1	1	1					
SLS_08	1	1	1					0.6
SLS_09	1	1	1	0.6				0.6
SLS_10	1	1	1		0.6			0.6
SLS_11	1	1		1				
SLS_12	1	1			1			
SLS_13	1	1			1	0.6		
SLS_14	1	1			1	0.6		
SLS_15	1	1	0.5	1				
SLS_16	1	1	0.5		1			
SLS_17	1	1	0.5	1		0.6		
SLS_18	1	1	0.5		1	0.6		

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 38
--	---	----------------------

Combo Name	DEAD	PV_panels	Snow	DT+	DT-	WL1_C1_down	WL1_C1_uplift	WL1_C2_down	WL1_C2_uplift	WL1_C3_down	WL1_C4_down
SLS_19	1	1				1					
SLS_20	1	1	0.5			1					
SLS_21	1	1	0.5	0.6		1					
SLS_22	1	1	0.5		0.6	1					
SLS_23	1	1		0.6			1				
SLS_24	1	1			0.6		1				
SLS_25	1	1	1								
SLS_26	1	1	1							0.6	
SLS_27	1	1	1	0.6						0.6	
SLS_28	1	1	1		0.6					0.6	
SLS_29	1	1		1							
SLS_30	1	1			1						
SLS_31	1	1		1		0.6					
SLS_32	1	1			1	0.6					
SLS_33	1	1	0.5	1							
SLS_34	1	1	0.5		1						
SLS_35	1	1	0.5	1		0.6					
SLS_36	1	1	0.5		1	0.6					
SLS_37	1	1						1			
SLS_38	1	1	0.5					1			
SLS_39	1	1	0.5	0.6				1			

Combo Name	DEAD	PV_panels	Snow	DT+	DT-	WL1_C1_down	WL1_C1_uplift	WL1_C2_down	WL1_C2_uplift	WL1_C3_down	WL1_C4_down
SLS_40	1	1	0.5		0.6			1			
SLS_41	1	1		0.6					1		
SLS_42	1	1			0.6				1		
SLS_43	1	1	1								
SLS_44	1	1	1								0.6
SLS_45	1	1	1	0.6							0.6
SLS_46	1	1	1		0.6						0.6
SLS_47	1	1		1							
SLS_48	1	1			1						
SLS_49	1	1		1				0.6			
SLS_50	1	1			1			0.6			
SLS_51	1	1	0.5	1							
SLS_52	1	1	0.5		1						
SLS_53	1	1	0.5	1				0.6			
SLS_54	1	1	0.5		1			0.6			

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRU BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 39
--	---	----------------------

Comb o Name	DEAD	PV_panels	Snow	DT+	DT-	WL2_C1_dow n	WL2_C1_uplif t	WL2_C2_down	WL2_C2_uplif t	WL2_C3_dow n	WL2_C4_dow n
SLS_55	1	1				1					
SLS_56	1	1	0.5			1					
SLS_57	1	1	0.5	0.6		1					
SLS_58	1	1	0.5		0.6	1					
SLS_59	1	1			0.6		1				
SLS_60	1	1			0.6		1				
SLS_61	1	1	1								
SLS_62	1	1	1							0.6	
SLS_63	1	1	1		0.6					0.6	
SLS_64	1	1	1		0.6					0.6	
SLS_65	1	1		1							
SLS_66	1	1			1						
SLS_67	1	1		1		0.6					
SLS_68	1	1			1	0.6					
SLS_69	1	1	0.5	1							
SLS_70	1	1	0.5		1						
SLS_71	1	1	0.5	1		0.6					
SLS_72	1	1	0.5		1	0.6					
SLS_73	1	1						1			
SLS_74	1	1	0.5					1			
SLS_75	1	1	0.5	0.6				1			
SLS_76	1	1	0.5		0.6			1			
SLS_77	1	1			0.6				1		
SLS_78	1	1			0.6				1		
SLS_79	1	1	1								
SLS_80	1	1	1								0.6
SLS_81	1	1	1		0.6						0.6
SLS_82	1	1	1		0.6						0.6
SLS_83	1	1		1							
SLS_84	1	1			1						
SLS_85	1	1		1				0.6			
SLS_86	1	1			1			0.6			
SLS_87	1	1	0.5	1							
SLS_88	1	1	0.5		1						
SLS_89	1	1	0.5	1				0.6			
SLS_90	1	1	0.5		1			0.6			

Combo Name	DEAD	PV_panel s	Snow	DT +	DT-	WL3_C3_dow n	WL3_C3_uplif t	WL3_C4_down	WL3_C4_uplif
SLS_91	1	1				1			
SLS_92	1	1	0.5			1			
SLS_93	1	1	0.5	0.6		1			
SLS_94	1	1	0.5		0.6	1			
SLS_95	1	1			0.6			1	

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 40
--	---	----------------------

Combo Name	DEAD	PV_pane ls	Snow	DT +	DT- -	WL3_C3_dow n	WL3_C3_uplif t	WL3_C4_dow n	WL3_C4_uplif t
SLS_96	1	1			0.6		1		
SLS_97	1	1	1						
SLS_98	1	1	1			0.6			
SLS_99	1	1	1	0.6		0.6			
SLS_100	1	1	1		0.6	0.6			
SLS_101	1	1		1					
SLS_102	1	1			1				
SLS_103	1	1		1		0.6			
SLS_104	1	1			1	0.6			
SLS_105	1	1	0.5	1					
SLS_106	1	1	0.5		1				
SLS_107	1	1	0.5	1		0.6			
SLS_108	1	1	0.5		1	0.6			
SLS_109	1	1						1	
SLS_110	1	1	0.5					1	
SLS_111	1	1	0.5	0.6				1	
SLS_112	1	1	0.5		0.6			1	
SLS_113	1	1		0.6					1
SLS_114	1	1			0.6				1
SLS_115	1	1	1						
SLS_116	1	1	1					0.6	
SLS_117	1	1	1	0.6				0.6	
SLS_118	1	1	1		0.6			0.6	
SLS_119	1	1		1					
SLS_120	1	1			1				
SLS_121	1	1		1				0.6	
SLS_122	1	1			1			0.6	
SLS_123	1	1	0.5	1					
SLS_124	1	1	0.5		1				
SLS_125	1	1	0.5	1				0.6	
SLS_126	1	1	0.5		1			0.6	

Combo Name	DEAD	PV_pane ls	Ex_SLD	Ey_SLD
SLS_127	1	1	1	0.3
SLS_128	1	1	0.3	1

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 41
---	--	---------------

7.7. Caratteristiche dei profili e classificazione delle sezioni

Di seguito di riportano le classificazioni delle sezioni effettuate in accordo alle prescrizioni riportate in tabella 4.2.1 e 4.2.2 delle NTC-18

	e [-]	cbending [mm]	Bending Class[-]	cint,c [mm]	Int comp r Class [-]	cext,c L1 [mm]	Ext comp r,1 Class [-]	cext,c L2 [mm]	Ext comp r,2 Class [-]	Classificati on[-]
DRIVE POST	0.75	124	1	80.5	1	34.5	1	34.5	1	C1
MIDDLE POST	0.75	125	1	80.5	1	35	2	35	2	C2
LATERAL POST	0.75	127	1	80.5	1	36	3	36	3	C3
RAIL	0.75	36.8	1	19.8	1	33.2	4	33.2	4	C4
END RAIL	0.75	9	1	9	1	25	3	25	3	C3
MAIN BEAM	0.75	130	1	90	2	-	-	-	-	C2

7.8. Verifica di resistenza strutturale

7.8.1. Criteri di verifica

Tutte le verifiche a presso-flessione vengono condotte in accordo all'Euro Codice EN 1993-1-1:2005. Nei seguenti paragrafi le equazioni saranno così nominate:

- **EQ. 1:**
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{yEd}}{\chi_{LT} M_{yRk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{zEd}}{M_{zRk}} \leq 1$$

- **EQ. 2:**
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{yEd}}{\chi_{LT} M_{yRk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{zEd}}{M_{zRk}} \leq 1$$

- **EQ. 3:**
$$\frac{T_{1-2}}{V_{bx,Rd}}$$

- **EQ. 4:**
$$\frac{T_{1-3}}{V_{by,Rd}}$$

- **EQ. 5:**
$$\sqrt{\left(\frac{M_{yEd}}{M_{yRd}}\right)^2 + \left(\frac{M_{zEd}}{M_{zRd}}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}}\right)^2}$$

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 42
---	--	---------------

7.8.2. Capacità Elementi

Le capacità degli elementi sono state valutate in accordo al EN1993 1-3. Si riportano di seguito, tutte le capacità per i profili in esame.

	$N_{c,Rd}$ [N]	$V_{bx,Rd}$ [N]	$V_{by,Rd}$ [N]	$M_{x,Rd}$ [N m]	$M_{y,Rd}$ [N m]	T_{Rd} [N m]
Drive Post	99597	380587	248617	32722	35786	-
Middle Post	75246	347563	226372	27542	32255	-
Lateral Post	43212	267209	173017	18532	24155	-
Main Beam	86079	216639	151975	25612	21400	21256
Rail	92293	33924	39186	1189	909	-
End Rail	65154	16592	40372	343	1029	-

A titolo esemplificativo di seguito si riporta il calcolo delle capacità per due generiche sezioni tipo, una per la sezione rettangolare chiusa e una per la sezione ad omega.

7.9. Fondazioni di sostegno

Per le strutture ad inseguimento si adotteranno pali prefabbricati in acciaio, disponibili in varie geometrie e configurazioni, che vengono infissi nel terreno per mezzo di semplici apparecchiature montabili con facilità sulle più comuni macchine operatrici. Ciò implica la quasi totale assenza di un cantiere per la realizzazione della fondazione, aspetto fondamentale quando ci si trova ad operare in ambiti rurali difficilmente raggiungibili, e soprattutto consente di realizzare opere facilmente reversibili.

Tale tipologia di palo è dimensionata dal Costruttore per resistere sia a sforzi di compressione che di trazione e perciò consente alla struttura di sopportare anche momenti ribaltanti.

In fase esecutiva, a seguito di prove geotecniche, sarà possibile eventualmente definire una diversa tipologia di palo. Ricontrate particolari condizioni geotecniche del sito, il Costruttore potrebbe suggerire, infatti, l'installazione dei cosiddetti "Pali a Vite" i quali, così come i suddetti pali infissi, non richiedono fondazione.

Progetto: Fattoria Solare "Casa Scaccia" AGRI BRUZIA SOCIETÀ AGRICOLA A.R.L.	Titolo Elaborato: RELAZIONE PRELIMINARE DI CALCOLO STRUTTURALE	Pagina: 43
---	--	---------------

8. CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono stati introdotti i criteri per la progettazione delle opere e dei componenti strutturali di impianto. È stata riportata una verifica preliminare degli elementi strutturali di sostegno dei moduli fotovoltaici di un progetto agrivoltaico simile a quello proposto ed è stata data una prima indicazione sul tipo calcestruzzo armato utilizzabile per la realizzazione delle fondazioni delle apparecchiature di impianto.

Si rimanda alla fase esecutiva il dimensionamento definitivo delle opere descritte precedentemente, precisando che le strutture delle Power Station e la Cabina di raccolta sono prefabbricati predimensionati dal fornitore e che le strutture tracker sono dimensionate dal fornitore sulla base delle caratteristiche dell'area di installazione; i dettagli, quindi, dei dimensionamenti sono resi disponibili in fase di progettazione esecutiva. Tutte le assunzioni fatte in questa sede, per la preliminare determinazione dei carichi agenti, sono basate su strutture esistenti e con caratteristiche dimensionali, materiali e di peso simili a quelle che saranno utilizzate per realizzazione delle opere di progetto.
