



## AGROVOLTAICO VITERBO - COMUNE DI VITERBO

### PROGETTO DEFINITIVO

**Autorizzazione Unica ai sensi del D.Lgs. 387/2003 per un impianto agrovoltaiico di superficie pari a 107,38 ha costituito da coltivazioni di patata novella, asparago, cavolo a foglia e erbai integrate ad un impianto fotovoltaico con tracker monoassiali (60 MWp) sito in loc. Vaccareccia nel Comune di Viterbo (VT)**

CODICE ELABORATO:

R.3

TITOLO ELABORATO:

Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni

SCALA:

-

FORMATO:

A4

PROPONENTE:

**APOLLO VITERBO S.R.L.**  
Viale della Stazione 8, 39100 Bolzano (BZ)  
C.F. e P.IVA 03231580212  
apolloviterbosrl@legalmail.it

PRESIDENTE CDA

**Diego Garfias**

PROGETTISTA:



We support the Sustainable Development Goals



CERTIFIED ISO 9001, ISO 14001, ISO 50001

Studio Santi srl con socio unico  
Via Latina n. 57 - 00058 Santa Marinella (RM)  
www.studiosanti.eu - info@studiosanti.eu  
tel +39 0766 53 68 98

Ing. Federico Santi  
Ordine degli Ingegneri di Roma N. A20930



**iride**  
Istituto per la Ricerca e l'Ingegneria Dell'Ecosostenibilità

Istituto I.R.I.D.E. Srl  
Via Cristoforo Colombo 163 - 00147 Roma  
www.istituto-iride.com - iride@pec.istituto-iride.com  
Tel +39 06 51606033

Ing. Mauro Di Prete  
Ordine degli Ingegneri di Roma N. A14624



REV.	DATA	STATO	PREPARATO	RIESAMINATO	APPROVATO
00	15-01-2024	PRIMA EMISSIONE	R. SBARRA	Fra. CASTELLANI	F. SANTI

Questo documento o parte di esso non può essere riprodotto, salvato, trasmesso, riutilizzato in altri progetti in alcuna forma sia essa elettronica, meccanica, fotografica senza la preventiva autorizzazione di Studio Santi srl. Le informazioni contenute nel presente documento sono da intendersi valide limitatamente all'oggetto del documento stesso. Altre informazioni sono da ritenersi non valide ai fini dell'esecuzione. Le informazioni riportate nel presente documento non sono da intendersi "shop drawing" e pertanto l'esecutore delle opere dovrà verificare in campo quanto necessario per l'acquisto dei materiali.

## SOMMARIO

1	RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA .....	2
1.1	PREMESSA.....	2
1.2	SCELTE PROGETTUALI .....	2
1.3	DESCRIZIONE DELLE OPERE STRUTURALI .....	4
2	RELAZIONE TECNICA STRUTTURALE .....	6
2.1	NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....	6
2.2	SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE .....	7
2.3	DURABILITÀ DELLE STRUTTURE .....	7
2.4	VITA NOMINALE DI PROGETTO, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO .....	8
2.4.1	VITA NOMINALE DI PROGETTO .....	8
2.4.2	CLASSE D'USO .....	8
2.5	DETERMINAZIONE DEL TEMPO DI RITORNO DELLE AZIONI VARIABILI .....	9
2.5.1	PERIODO DI RIFERIMENTO DELL'AZIONE SISMICA .....	9
2.5.2	TEMPO DI RITORNO DELLE AZIONI DEL VENTO.....	9
2.6	AZIONI AGENTI SULLA COSTRUZIONE .....	10
2.6.1	DETERMINAZIONE DEI CARICHI PERMANENTI .....	10
2.6.2	DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DEL VENTO .....	10
2.6.3	AZIONE SISMICA .....	14
2.7	MODELLAZIONE STRUTTURALE .....	17
2.8	ELEMENTI FINITI – SEZIONI E SPESSORI.....	20
2.9	CARATTERISTICHE MATERIALI UTILIZZATI .....	23
2.10	SCHEMATIZZAZIONE DEI CASI DI CARICO .....	24
2.11	DEFINIZIONE DELLE COMBINAZIONI .....	32
2.12	PRINCIPALI RISULTATI.....	34
2.13	SINTESI DELLE VERIFICHE DI SICUREZZA.....	37
3	RELAZIONE GEOTECNICA .....	41
3.1	MODELLO GEOTECNICO DEL TERRENO .....	41
3.2	DETERMINAZIONE DELLA PORTANZA VERTICALE DI FONDAZIONI PROFONDE.....	41
3.2.1	CARICO LIMITE VERTICALE ALLA PUNTA DEL PALO.....	42
3.2.2	CARICO LIMITE VERTICALE LUNGO LA SUPERFICIE LATERALE DEL PALO .....	42
3.2.3	DETERMINAZIONE DEI CEDIMENTI DI FONDAZIONI PROFONDE .....	43
3.2.4	SIMBOLOGIA ADOTTATA NEI TABULATI DI CALCOLO .....	44
3.2.5	PARAMETRI DI CALCOLO .....	46
3.3	VALORI DI CALCOLO DELLA PORTANZA ORIZZONTALE PER FONDAZIONI PROFONDE .....	50

# 1 RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA

## 1.1 PREMESSA

Vengono di seguito descritte le scelte progettuali di predimensionamento delle strutture di un parco fotovoltaico denominato "Agrivoltaico Viterbo" avente potenza di picco nominale pari a 60 MWp.

L'impianto sarà realizzato su un terreno agricolo della superficie complessiva di circa 107,38 ettari, sita nel comune di Viterbo (VT). La scelta degli elementi strutturali è stata fatta tenendo in considerazione i seguenti parametri:

- Dimensione ed importanza dell'impianto;
- Azioni agenti sulle strutture;
- Caratteristiche geotecniche del sito;
- Posizionamento ed accessibilità dello stesso;
- Tempistiche di realizzazione dell'impianto;
- Impatto ambientale dell'opera;
- Reversibilità dell'intervento.

## 1.2 SCELTE PROGETTUALI

L'impianto sarà costituito da n° 87.696 moduli fotovoltaici bifacciali in silicio monocristallino della potenza nominale di 690 Wp/cad, montati con schema 1V (1 modulo posizionato verticalmente) su inseguitori monoassiali (TRACKER). L'asse di rotazione degli inseguitori sarà orientato nella direzione nord-sud, in modo tale da garantire una produzione ottimale.

Gli inseguitori avranno uno schema strutturale "a telaio piano" costituito da una serie di pilastri verticali (parte fissa) collegati in testa con un traverso orizzontale (parte mobile), sul quale saranno installati i moduli fotovoltaici.

Tutti gli elementi strutturali degli inseguitori saranno realizzati in carpenteria metallica. I pilastri, che avranno anche la funzione di fondazione, saranno posti in opera per infissione al suolo, senza la realizzazione di fondazioni superficiali in calcestruzzo o altro tipo di lavorazioni impattanti sull'ambiente.

Al fine di ottimizzare la produzione energetica del campo fotovoltaico, si prevede di realizzare tre tipologie di inseguitori:

- Tipologia 1: in grado di sostenere 56 moduli;
- Tipologia 2: in grado di sostenere 28 moduli;
- Tipologia 3: in grado di sostenere 14 moduli.

L'interasse tra gli inseguitori è fissato in 5,50 m, in questo modo lo spazio libero fra i moduli fotovoltaici varierà da un minimo di 3,03 m (nel caso di moduli perfettamente orizzontali) a un massimo di 4,05 m (nel caso di moduli alla massima inclinazione di 55°); questa geometria di installazione consente di effettuare le lavorazioni agricole previste dal piano agronomico e non inficia in alcun modo l'attività agricola dal punto di vista della produttività.

L'altezza minima da terra dei moduli fotovoltaici sarà di 2,10 m misurata alla massima inclinazione degli inseguitori, garantendo la possibilità di lavorazione dell'intera superficie agraria sottostante ai moduli.

Tutti gli inseguitori che si prevede di installare saranno in grado di orientare i moduli in un range che va da +/- 55°. Il movimento degli inseguitori sarà gestito in automatico da un PLC basato su orologio astronomico, oltre ad essere programmato con un software in grado di ottimizzare gli ombreggiamenti reciproci dei tracker che si verifica tipicamente nelle prime ore giorno e in prossimità del tramonto.

Il sistema di gestione dei moduli sarà inoltre collegato a delle stazioni meteorologiche, in modo da poter orientare i moduli in posizione di salvaguardia in caso di forti venti.

Le strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici sono strutture “leggere”, il cui peso proprio ha intensità bassa rispetto alle azioni variabili agenti sugli stessi.

L'azione del vento risulta essere dimensionante per le strutture in quanto questa, agendo direttamente sui pannelli fotovoltaici, genera un “effetto vela” che provoca elevati sforzi di flessione e trazione specialmente sulle strutture verticali.

Tutte le strutture (sia in elevazione che di fondazione) saranno realizzate utilizzando profili in acciaio, questo consentirà di avere una notevole flessibilità in fase realizzativa, limitando il peso degli elementi strutturali rispetto ad altre soluzioni costruttive.

Le strutture in acciaio consentono di avere un elevato grado di prefabbricazione, riducendo notevolmente i tempi di realizzazione, inoltre, a fine della vita utile, potranno essere facilmente smontate e rimosse per essere riciclate ovvero riutilizzate. L'utilizzo di strutture in carpenteria metallica rende l'intervento totalmente reversibile.

### 1.3 DESCRIZIONE DELLE OPERE STRUTURALI

Per la realizzazione del campo fotovoltaico saranno utilizzate tre diverse tipologie di Tracker aventi le caratteristiche riportate di seguito:

#### **Tracker tipo 1:**

- Numero dei moduli installati sulla struttura: 56;
- Angolo di inseguimento:  $\pm 55^\circ$ ;
- Dimensione dei moduli fotovoltaici: 1303X2384 mm;
- Superficie totale coperta dai pannelli in posizione orizzontale per ogni tracker: 183,3 mq;
- Elementi strutturali in acciaio S355 JR con trattamento superficiale anticorrosione;
- Tipologia di fondazione: palo in acciaio infisso nel terreno.

#### **Tracker tipo 2:**

- Numero dei moduli (inseguitori) installati sulla struttura: 28;
- Angolo di inseguimento:  $\pm 55^\circ$ ;
- Dimensione dei moduli fotovoltaici: 1303X2384 mm;
- Superficie totale coperta dai pannelli in posizione orizzontale per ogni tracker: 91,6 mq;
- Elementi strutturali in acciaio S355 JR con trattamento superficiale anticorrosione;
- Tipologia di fondazione: palo in acciaio infisso nel terreno.

#### **Tracker tipo 3:**

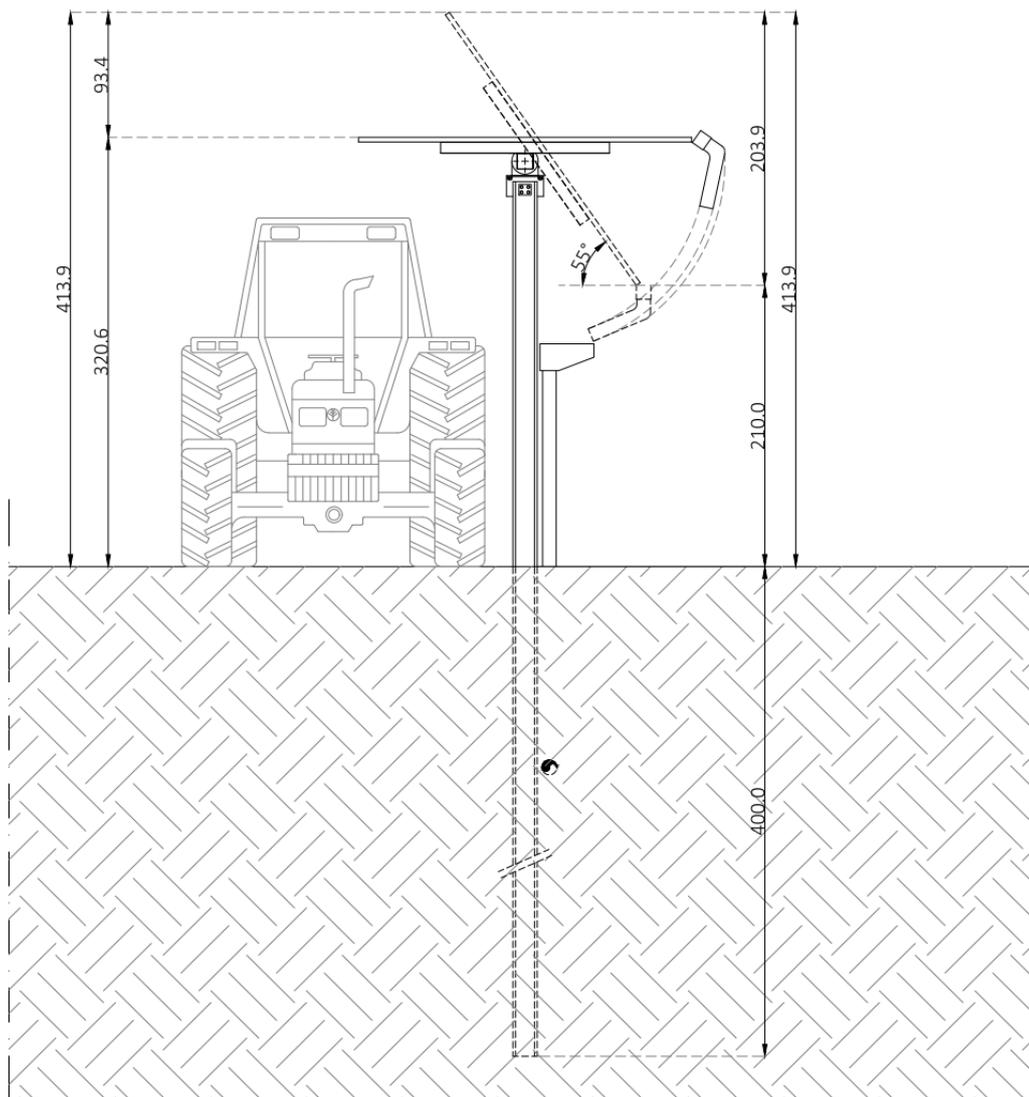
- Numero dei moduli (inseguitori) installati sulla struttura: 14;
- Angolo di inseguimento:  $\pm 55^\circ$ ;
- Dimensione dei moduli fotovoltaici: 1303X2384 mm;
- Superficie totale coperta dai pannelli in posizione orizzontale per ogni tracker: 45,8 mq;
- Elementi strutturali in acciaio S355 JR con trattamento superficiale anticorrosione;
- Tipologia di fondazione: palo in acciaio infisso nel terreno.

Gli elementi strutturali che compongono i tracker sono i seguenti:

- Pilastro verticale;
- Trave longitudinale;
- Travi secondarie.

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**

Nell'immagine seguente è riportata una sezione tipologica dei Tracker.



*Immagine 1: Sezione tipologica tracker (dimensioni in centimetri).*

Per la realizzazione degli elementi strutturali saranno utilizzati i seguenti profili metallici:

- Pilastro Verticale: sarà realizzato con un profilo metallico del tipo HEA 180 e avrà la funzione di sostegno delle strutture superiori e di fondazione.
- Trave longitudinale: sarà realizzata con un profilo scatolare del tipo 150X150X5 collegato ai pilastri verticali mediante un cuscinetto rotante. La trave longitudinale oltre ad avere la funzione di supporto delle travi secondarie, sarà in grado di ruotare intorno al proprio asse longitudinale grazie ad un pistone idraulico.
- Travi secondaria: saranno realizzate con profili metallici "C" del tipo UPN 120. Sui profili dell'orditura secondaria saranno installati i pannelli fotovoltaici.

## 2 RELAZIONE TECNICA STRUTTURALE

La presente relazione di calcolo strutturale, in conformità al §10.1 del DM 17/01/18, è comprensiva di una descrizione generale dell'opera e dei criteri generali di analisi e verifica. Segue inoltre le indicazioni fornite al §10.2 del DM stesso per quanto concerne analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo.

Nella presente parte sono riportati i principali elementi di inquadramento del progetto riguardante le strutture.

Il calcolo delle strutture è stato eseguito per tracker di tipologia 3 - 14 moduli, considerando lo schema in cui i pannelli hanno la massima inclinazione.

### 2.1 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Si elencano di seguito le principali normative utilizzate per progettazione e la verifica degli elementi strutturali:

- D.Min. Infrastrutture Min. Interni e Prot. Civile 17 Gennaio 2018 e allegate "Norme tecniche per le costruzioni".
- Circolare 21/01/19, n. 7 C.S.LL.PP "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche delle Costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018".
- UNI EN 1990:2006 13/04/2006 Eurocodice 0 - Criteri generali di progettazione strutturale.
- UNI EN 1991-1-1:2004 01/08/2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-1: Azioni in generale - Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici.
- UNI EN 1991-1-3:2004 01/10/2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-3: Azioni in generale - Carichi da neve.
- UNI EN 1991-1-4:2005 01/07/2005 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento.
- UNI EN 1991-1-5:2004 01/10/2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-5: Azioni in generale - Azioni termiche.
- UNI EN 1993-1-1:2005 01/08/2005 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1993-1-8:2005 01/08/2005 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti.
- UNI EN 1997-1:2005 01/02/2005 Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali.
- UNI EN 1998-1:2005 01/03/2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.
- UNI EN 1998-5:2005 01/01/2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- CNR-DT 207 R1/2018 - Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni.
- CEI 82-74 – Metodi di calcolo dell'azione del vento e criteri di dimensionamento di strutture di supporto di moduli fotovoltaici o collettori solari.

## 2.2 SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE

La sicurezza e le prestazioni delle opere oggetto di progettazione e delle loro parti sono state valutate in relazione agli Stati Limite che si possono verificare durante la Vita Nominale di progetto.

I requisiti per cui sono state progettate le strutture sono i seguenti:

- Sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU).
- Sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE).
- Durabilità.
- Robustezza.

Non sono previste dalle normative vigenti specifiche caratteristiche di resistenza rispetto alla Sicurezza Antincendio.

## 2.3 DURABILITÀ DELLE STRUTTURE

Si intende, per durabilità delle strutture, la caratteristica della stessa per il quale un eventuale degrado che si dovesse riscontrare durante la sua vita nominale di progetto, non riduca le prestazioni della costruzione al di sotto del livello previsto. Tale livello di durabilità è garantito attraverso:

- a) La scelta opportuna dei materiali;
- b) Il dimensionamento opportuno delle strutture;
- c) La scelta opportuna dei dettagli costruttivi;
- d) L'adozione di tipologie costruttive e strutturali che consentano l'ispezionabilità delle parti strutturali;
- e) La pianificazione di misure di protezione e manutenzione;
- f) L'impiego di prodotti e componenti chiaramente identificati in termini di caratteristiche meccanico-fisico-chimiche, indispensabili alla valutazione della sicurezza, e dotati di idonea qualificazione;
- g) L'applicazione di sostanze o ricoprimenti protettivi dei materiali, soprattutto nei punti non più visibili o difficilmente ispezionabili ad opera completata;
- h) L'adozione di sistemi di controllo, passivi o attivi, adatti alle azioni e ai fenomeni ai quali l'opera può essere sottoposta.

Sono quindi stati definiti i seguenti parametri:

1. La vita nominale di progetto della struttura;
2. Le condizioni ambientali in cui essa è collocata.

## 2.4 VITA NOMINALE DI PROGETTO, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

### 2.4.1 VITA NOMINALE DI PROGETTO

La vita nominale di progetto  $V_N$  di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni durante il quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

Nel caso specifico si è fissato il valore della Vita Nominale della struttura in 25 anni.

Il paragrafo [2.4.1 - NTC18] stabilisce i valori minimi della Vita Nominale delle strutture in funzione del tipo di costruzione. Di seguito si riporta la tabella 2.4.I estratta dalla NTC18.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

La Vita Nominale  $V_N$  delle strutture oggetto di progettazione è stato determinato nel modo seguente:

- Tipo di Costruzione: Costruzioni temporanee e di provvisorie;
- Valore minimo della Vita Nominale: 10 anni;
- **Valore di Progetto della Vita Nominale: 25 anni.**

Il valore di 25 anni della Vita Nominale della struttura è da considerarsi esclusivamente per la definizione dei livelli di durabilità delle strutture e non come periodo di ritorno delle azioni variabili in accordo a quanto previsto nel paragrafo C2.4.1 della [Circolare-NTC18].

### 2.4.2 CLASSE D'USO

La classe di una struttura è stata scelta in funzione delle conseguenze che possono derivare da una interruzione di operatività o da un eventuale collasso.

Le NTC18 prevedono le seguenti Classi d'Uso:

- **Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- **Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- **Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- **Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti

ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Le strutture oggetto di progettazione sono caratterizzate da un affollamento del tutto trascurabile. Non sono strutture pubbliche ovvero strutture private ad uso pubblico e non sono classificabili come strutture strategiche, inoltre un eventuale interruzione del servizio, non provoca situazioni di emergenza.

La determinazione della Classe d'Uso da attribuire alle tipologie strutturali oggetto di progettazione è stata eseguita facendo riferimento alle indicazioni previste dalle NTC2018 e dalla relativa Circolare Esplicativa e dalla Deliberazione della Regione Lazio del 5 novembre 2020, n. 793.

Sulla base di quanto esposto in precedenza, le strutture sono state classificate di **Classe d'Uso II**.

## 2.5 DETERMINAZIONE DEL TEMPO DI RITORNO DELLE AZIONI VARIABILI

### 2.5.1 PERIODO DI RIFERIMENTO DELL'AZIONE SISMICA

L'azione sismica agente sulle strutture è stata determinata a partire dal periodo di riferimento determinato mediante l'espressione seguente:

$$V_R = V_N \times C_U$$

**Vita nominale  $V_N$ :** La vita nominale della struttura  $V_N$  è stata determinata secondo quanto indicato al paragrafo [2.4.1 - NTC18]:

- Tipo di Costruzione: Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari;
- Vita Nominale: 50 anni.

**Coefficiente d'uso  $C_U$ :** Il Coefficiente d'Uso della struttura  $C_U$  è stato determinato secondo quanto indicato al paragrafo [2.4.2-NTC18]; per le strutture di Classe II è fissato pari a 1.

**Periodo di riferimento dell'azione sismica  $V_R$ :** quanto sopra premesso ne deriva che il periodo di riferimento dell'azione sismica è pari a 50 anni.

### 2.5.2 TEMPO DI RITORNO DELLE AZIONI DEL VENTO

I tracker sono dotati di un sistema automatico di gestione e controllo che è in grado di orientare i moduli in posizione orizzontale (minima superficie esposta al vento) qualora si registrino valori della velocità del vento superiori a quelli di sicurezza.

In considerazione di tale aspetto, il predimensionamento delle strutture è stato effettuato considerando un periodo di ritorno dell'azione del vento pari a 25 anni corrispondente alla vita nominale delle strutture.

## 2.6 AZIONI AGENTI SULLA COSTRUZIONE

Sulle strutture si considerano agenti i seguenti carichi definite in accordo a quanto definito nel paragrafo 2.5 delle NTC18.

### 1. Carichi permanenti G

1.1. G1: Peso proprio degli elementi strutturali;

### 2. Azioni Variabili Q:

2.1. Q<sub>v</sub> - Azioni del vento;

2.2. Q<sub>n</sub> - Azioni della neve;

2.3. Q<sub>t</sub> - Azioni della temperatura.

### 3. Azione sismiche E:

3.1. Azioni derivanti dai terremoti.

In questa fase di predimensionamento il carico da neve non è stato considerato.

#### 2.6.1 DETERMINAZIONE DEI CARICHI PERMANENTI

Il peso proprio degli elementi strutturali è definito in automatico dal Software di calcolo utilizzato per le analisi.

Di seguito l'analisi dei carichi dei pannelli fotovoltaici assimilati ad un carico di tipo G1.

<b>G1<sub>PV</sub> - Pannelli Fotovoltaici</b>		
Base del modulo	1,30	m
Altezza del modulo	2,38	m
Peso pannello	38,40	daN
Sup del pannello	3,11	m <sup>2</sup>
Carico distribuito pannelli	12,36	daN/m <sup>2</sup>
<b>G2<sub>PV</sub> - Pannelli Fotovoltaici</b>	<b>13,00</b>	<b>daN/m<sup>2</sup></b>

#### 2.6.2 DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DEL VENTO

Il vento esercita sui tracker forze di natura dinamica, ricondotte ad azioni statiche equivalenti, che influenzano notevolmente la progettazione delle strutture in termini di resistenza e rigidità.

L'azione del vento è stata determinata a partire dalla velocità di base di riferimento ricavata dall'espressione seguente:

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_a$$

Essendo:

- v<sub>b</sub>: velocità di base di riferimento;
- v<sub>b,0</sub>: velocità di base della zona;
- c<sub>a</sub>: coefficiente di altitudine.

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**

Una volta determinata la velocità di base di riferimento è possibile determinare la velocità di riferimento de sito  $v_r$  utilizzando l'espressione seguente:

$$v_r = v_b \cdot c_r$$

Dove  $c_r$  è un coefficiente che tiene conto del tempo di ritorno da considerare per la determinazione dell'azione.

Per il dimensionamento degli elementi strutturali dei tracker è stato utilizzato un approccio che prevede di ricavare una forza statica equivalente agente sulla struttura determinata mediante l'equazione seguente:

$$p_r = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

Avendo indicato con:

- $q_r$ : pressione cinetica di riferimento
- $c_e$ : coefficiente di esposizione
- $c_p$ : coefficiente di pressione
- $c_d$ : coefficiente dinamico

Il coefficiente di esposizione è stato determinato secondo le modalità indicate al punto 3.3.4 delle NTC18, in funzione della localizzazione del sito di costruzione e dell'altezza della struttura; mentre il coefficiente dinamico è stato cautelativamente posto pari ad 1.

Si riportano di seguito i parametri utilizzati per la localizzazione dell'intervento:

**LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO**

Località	VITERBO
Provincia	VITERBO
Regione	LAZIO
Latitudine	42,42100 N
Longitudine	12,11000 E
Altitudine s.l.m.	230,0 m

La velocità del vento è calcolata in relazione ai seguenti parametri:

Zona: macro area derivante dalla suddivisione del territorio nazionale (NTC - Tab. 3.3.1);

$V_{b,0}$ : velocità base della zona (NTC - Tab. 3.3.1);

$a_0$ : altitudine base della zona (NTC - Tab. 3.3.1);

$k_s$ : parametro in funzione della zona in cui sorge la costruzione (NTC - Tab. 3.3.1);

$a_s$ : altitudine del sito;

TR: periodo di ritorno di progetto espresso in anni;

$V_b$ : velocità di riferimento calcolata come segue:

$$V_b = V_{b,0} \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$V_b = V_{b,0} (1 + k_s ((a_s / a_0) - 1)) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

per  $a_s > 1500 \text{ m}$  vanno ricavati da opportuna documentazione o da indagini comprovate

Tali valori non dovranno essere minori di quelli previsti per  $a_s = 1500 \text{ m}$

$C_r$ : coefficiente di ritorno in funzione del periodo di ritorno TR

$V_r$ : velocità di riferimento riferita al periodo di ritorno TR

Zona	$V_{b,0}$	$a_0$	$k_s$	$a_s$	TR	$V_b$	$C_r$	$V_r$
3	27 m/s	500 m	0,37	230 m	25 anni	27,00 m/s	0,960	25,93 m/s

Tabella 1: Parametri di calcolo dell'azione del vento.

---

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**


---

Pressione cinetica di riferimento,  $q_r = \rho V_r^2 / 2 = 42 \text{ daN/mq}$

dove:  $\rho$  è la densità dell'aria (assunta convenzionalmente costante = 1,25 kg/mc).

Esposizione: Cat. II - Entroterra fino a 500 m di altitudine.

Da cui i parametri della tabella 3.3.II delle NTC

Kr	z0	z min
0,19	0,05 m	4 m

Tabella 2

Classe di rugosità del terreno: D (NTC - Tab. 3.3.III)

Aree prive di ostacoli o con al di più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,..)

L'azione del vento sulle costruzioni è determinata dai seguenti parametri:

- Cp: coefficiente di pressione;  
 Cd: coefficiente dinamico;  
 Ct: coefficiente di topografia;  
 Ce: coefficiente di esposizione (funzione di z, z0 e Ct);  
 z: altezza sul suolo.

Cd	Ct	Ce	z
1,00	1,00	1,82	4,14 m

Tabella 3

Il coefficiente di pressione  $c_p$  dipende:

- dalla tipologia e dalla geometria della costruzione;
- dall'orientamento della costruzione rispetto alla direzione del vento;
- dall'estensione dell'area a cui si riferiscono.

La normativa vigente non fornisce specifici riferimenti per la determinazione dell'azione del vento agente su un campo fotovoltaico; è comunque possibile assimilare il singolo tracker ad una pensilina isolata monofalda, al di sotto libera di ostacoli (coefficiente di bloccaggio  $\phi=0$ ). Questo approccio non tiene conto dei fenomeni di interazione dovuti alla presenza in serie di più tracker ma risulta comunque cautelativo. Sotto le ipotesi descritte in precedenza l'azione globale del vento agente sulla struttura è determinata utilizzando la relazione riportata di seguito:

$$F = q_p(z) \cdot L^2 \cdot c_F$$

Essendo:

- z: altezza massima della struttura;
- $L^2$ : area di riferimento della struttura;
- $c_F$ : coefficiente di forza.

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**

Il coefficiente  $c_F$  viene fornito dalla normativa in funzione dell'angolo di inclinazione massimo della struttura. Nel caso in oggetto la massima azione del vento si ha quando i moduli fotovoltaici hanno un angolo di tilt di  $55^\circ$ , in questo caso infatti si ha la massima superficie esposta al vento.

Il coefficiente  $c_F$  per la determinazione dell'azione globale è stato determinato utilizzando le espressioni fornite dalla norma CEI 82-74 i cui valori sono riportati di seguito in forma grafica.

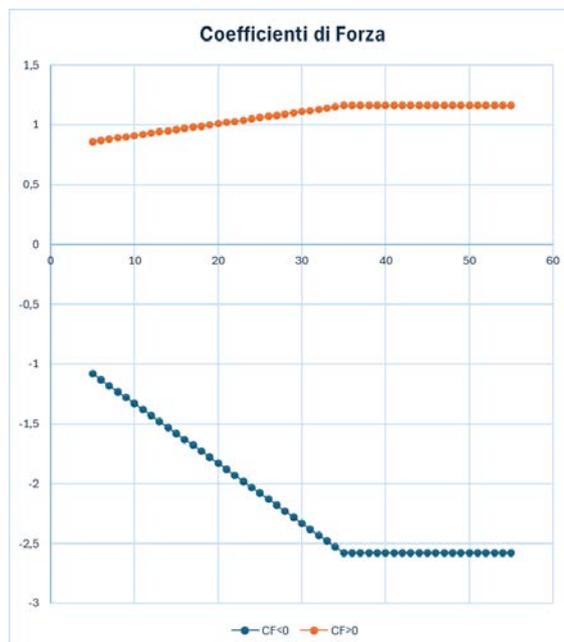


Immagine 2: Valori del coefficiente di forza al variare dell'angolo di tilt.

Per il calcolo della struttura si considerano le condizioni di carico più gravose tra le quattro indicate nelle immagini seguenti.

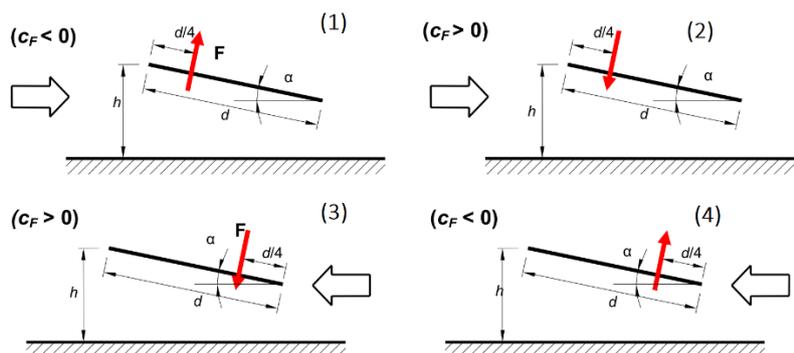


Immagine 3: Forza globale statica equivalente del vento.

Nelle immagini seguenti viene riportato l'andamento delle pressioni del vento agente sui pannelli.

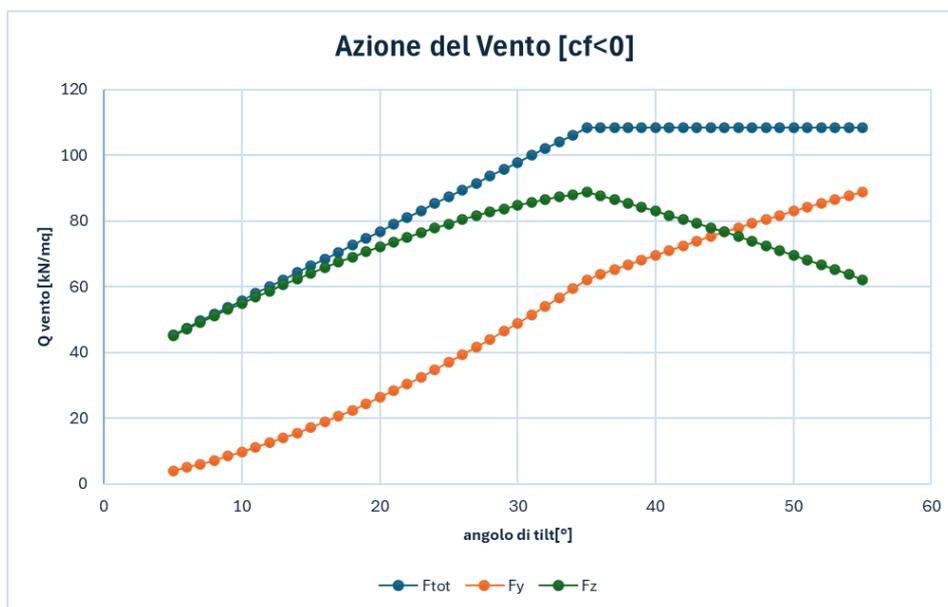


Immagine 4: Andamento della pressione del vento si pannelli per  $cf < 0$ .

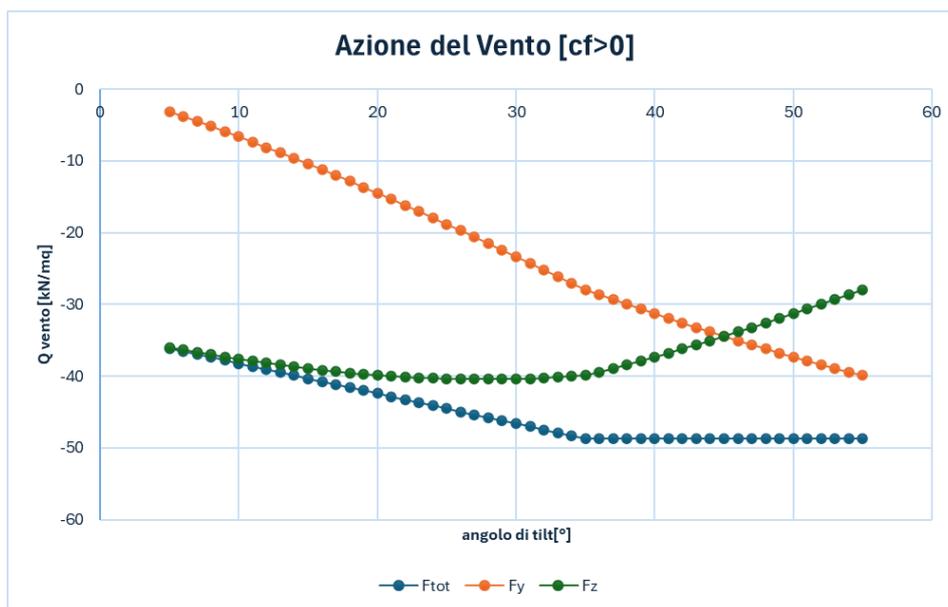


Immagine 5: Andamento della pressione del vento si pannelli per  $cf > 0$ .

### 2.6.3 AZIONE SISMICA

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale del moto sismico,  $S_e$ , è definito dalle seguenti espressioni:

Dove per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti  $S_S$  e  $C_C$  valgono 1; mentre per le categorie di sottosuolo **B**, **C**, **D**, **E** i coefficienti  $S_S$  e  $C_C$  vengono calcolati mediante le espressioni riportate nella seguente Tabella

Autorizzazione Unica ai sensi del D.Lgs. 29 dicembre 2003, n. 387 per un impianto agrovoltaiico di superficie pari a 107,38 ha costituito da coltivazioni di patata novella, asparago, cavolo a foglia e erbai integrate ad un impianto fotovoltaico con tracker monoassiali (60 MWp) sito in località Vaccareccia nel Comune di Viterbo (VT)

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**

Categoria sottosuolo	$S_S$	$C_C$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Per tenere conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella seguente Tabella

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale del moto sismico,  $S_{ve}$ , è definito dalle espressioni:

$$0 \leq T < T_B \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

I valori di  $S_S$ ,  $T_B$ ,  $T_C$  e  $T_D$ , sono riportati nella seguente Tabella

Categoria di sottosuolo	$S_S$	$T_B$	$T_C$	$T_D$
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s

La struttura è localizzata in:

Localizzazione
Località VITERBO (VT)
Comune di VITERBO (VT)
Regione LAZIO
Longitudine 12.110, Latitudine 42.421 (Riferimento WGS84)

L'azione sismica viene definita in relazione a un periodo di riferimento  $V_r$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale per il coefficiente d'uso (vedi tabella Parametri della struttura).

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**

Fissato il periodo di riferimento  $V_r$  e la probabilità di superamento  $P_{ver}$  associata a ciascuno degli stati limite considerati, si ottiene il periodo di ritorno  $T_r$  e i relativi parametri di pericolosità sismica (vedi tabella successiva):

ag: accelerazione orizzontale massima del terreno;

Fo: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T\*c: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

Parametri della struttura						
Classe d'uso	Vita $V_n$	Coeff. Uso	Periodo $V_r$	Tipo di suolo	Categoria topografica	Quota relativa
	[anni]		[anni]			[%]
II	50.0	1.0	50.0	B	T1	-

Parametri e fattori spettrali

S.L.	ag	S	Fo	Fv	TB	TC	TD
SLO	0.045	1.200	2.497	0.717	0.121	0.363	1.781
SLD	0.057	1.200	2.512	0.809	0.125	0.374	1.828
SLV	0.137	1.200	2.480	1.237	0.136	0.407	2.146
SLC	0.172	1.200	2.507	1.402	0.137	0.411	2.287

Verticale per tutti: 1.000

eta SLO q SLD x q SLD y q SLD z q SLU x q SLU y q SLU z

1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.5 Aiuto...

Smorzamento... 1.0 1.0 <= Esistenti v. fragili

Duttilità  
 ND - non dissipativa  
 B - media  
 A - alta

Regolarità  
 in pianta  
 in altezza

Edifici isolati  
 2.0 T is  
 10.0 s esi

Info...

Immagine 6: Parametri e fattori spettrali.

Si riportano di seguito gli SPETTRI di input sismico e le caratteristiche dinamiche proprie della struttura, pertanto in assenza di eccentricità aggiuntive:

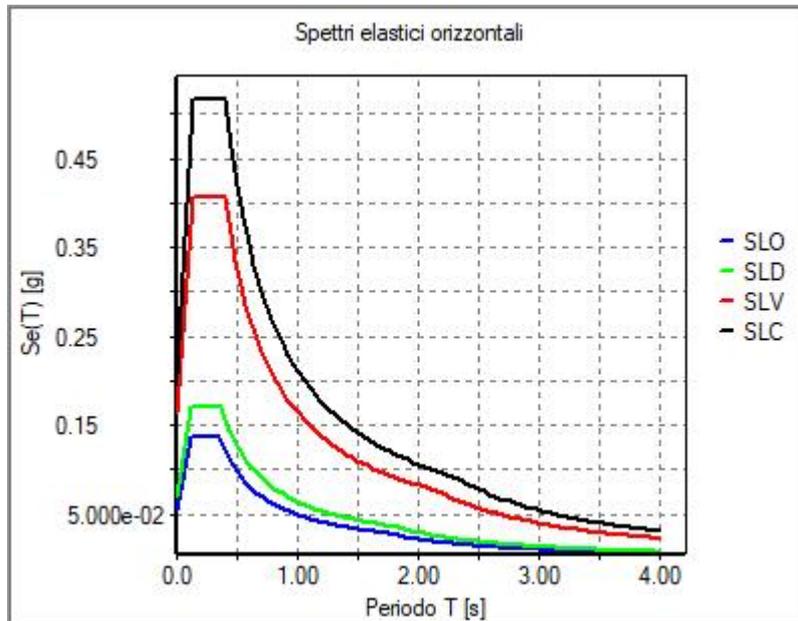


Immagine 7: Spettri di risposta

## 2.7 MODELLAZIONE STRUTTURALE

L'analisi strutturale è condotta con il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tenso-deformativo indotto da carichi statici. L'analisi strutturale è condotta con il metodo dell'analisi modale e dello spettro di risposta in termini di accelerazione per la valutazione dello stato tenso-deformativo indotto da carichi dinamici (tra cui quelli di tipo sismico).

L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti. Il metodo sopraindicato si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. I nodi sono definiti dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale. Le incognite del problema (nell'ambito del metodo degli spostamenti) sono le componenti di spostamento dei nodi riferite al sistema di riferimento globale (traslazioni secondo X, Y, Z, rotazioni attorno X, Y, Z). La soluzione del problema si ottiene con un sistema di equazioni algebriche lineari i cui termini noti sono costituiti dai carichi agenti sulla struttura opportunamente concentrati ai nodi:

$$\mathbf{K} * \mathbf{u} = \mathbf{F}$$

dove  $\mathbf{K}$  = matrice di rigidezza  
 $\mathbf{u}$  = vettore spostamenti nodali  
 $\mathbf{F}$  = vettore forze nodali

Dagli spostamenti ottenuti con la risoluzione del sistema vengono quindi dedotte le sollecitazioni e/o le tensioni di ogni elemento, riferite generalmente a una terna locale all'elemento stesso.

Il sistema di riferimento utilizzato è costituito da una terna cartesiana destrorsa XYZ. Si assume l'asse Z verticale ed orientato verso l'alto.

Di seguito si riportano le immagini del modello strutturale:

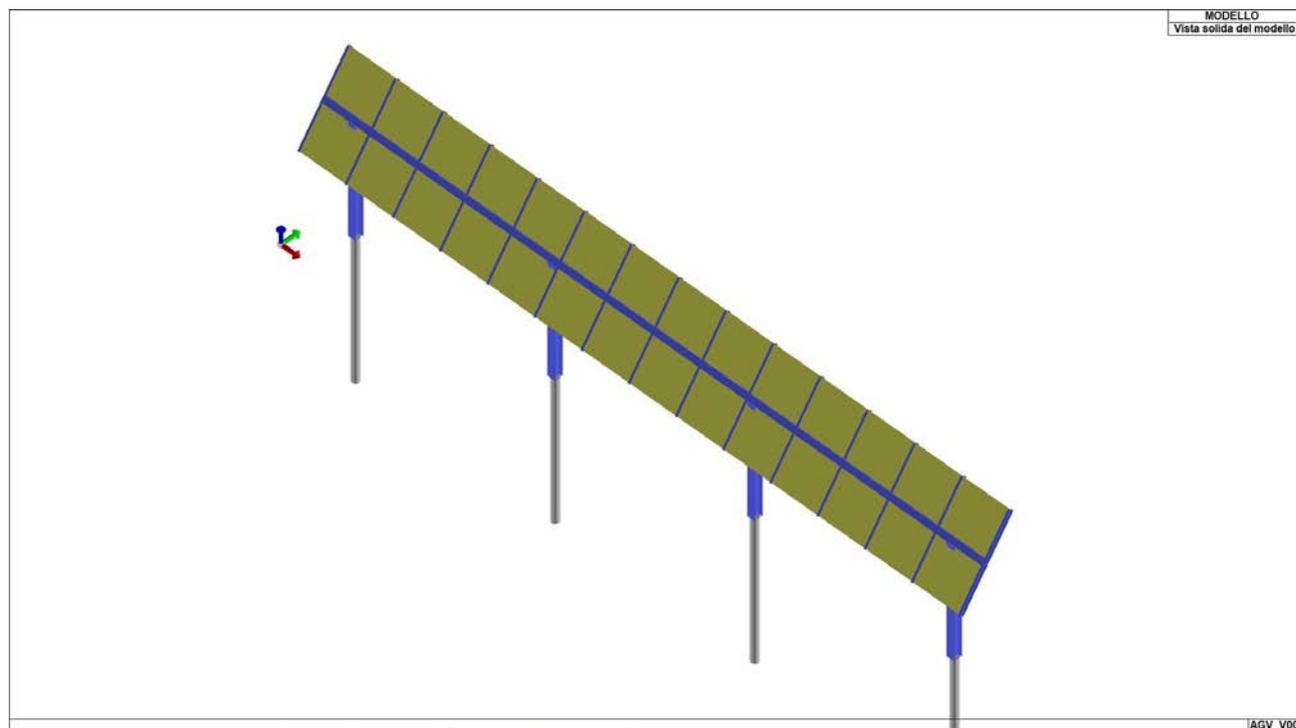
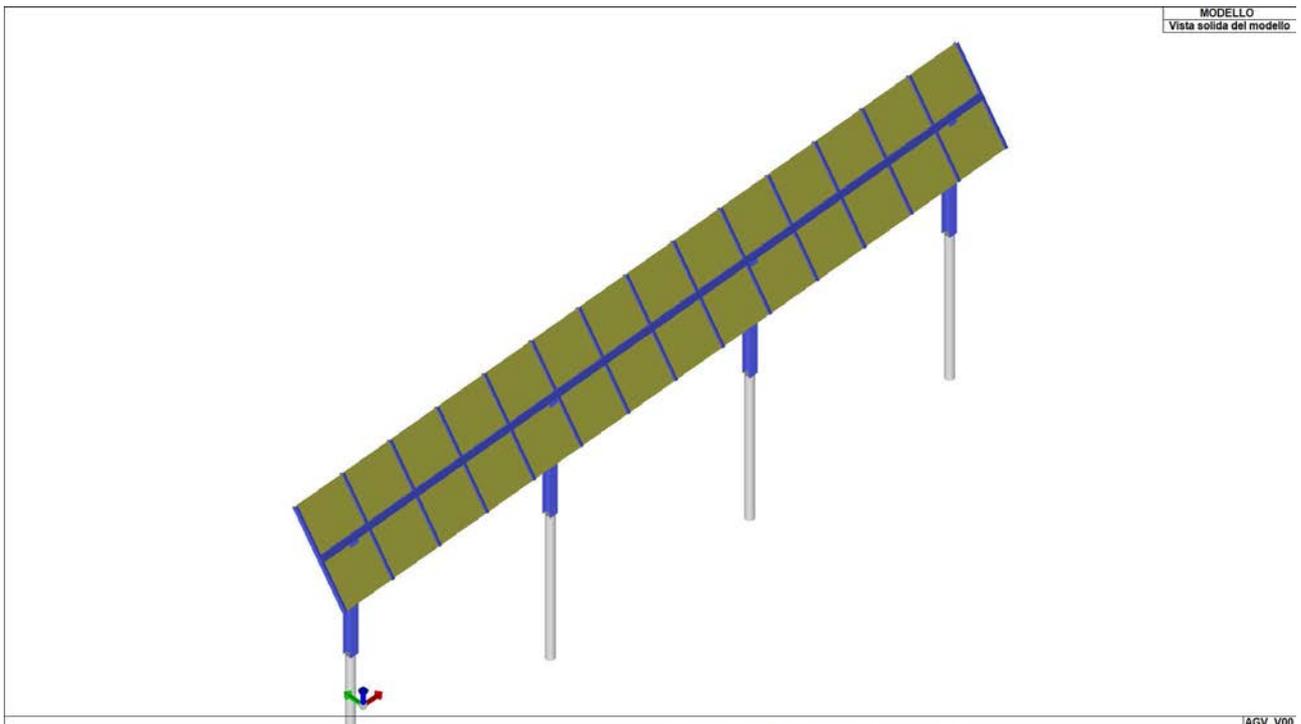
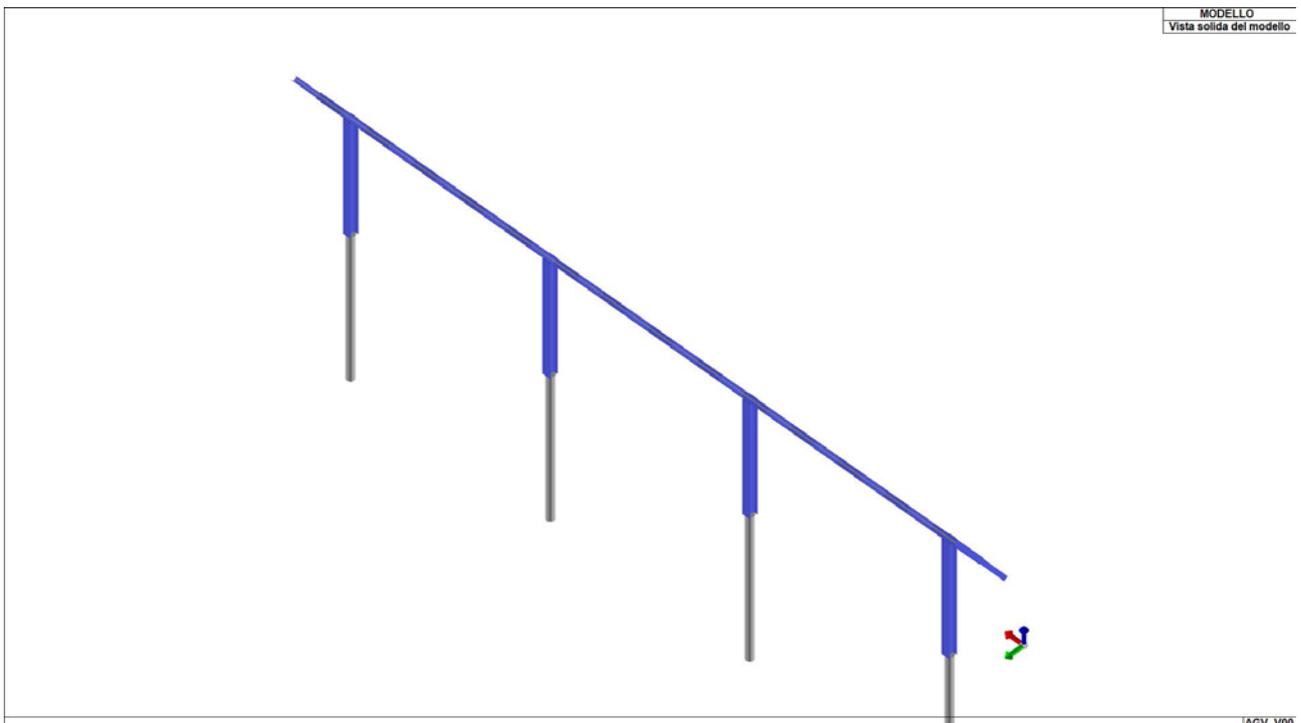


Immagine 8

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**

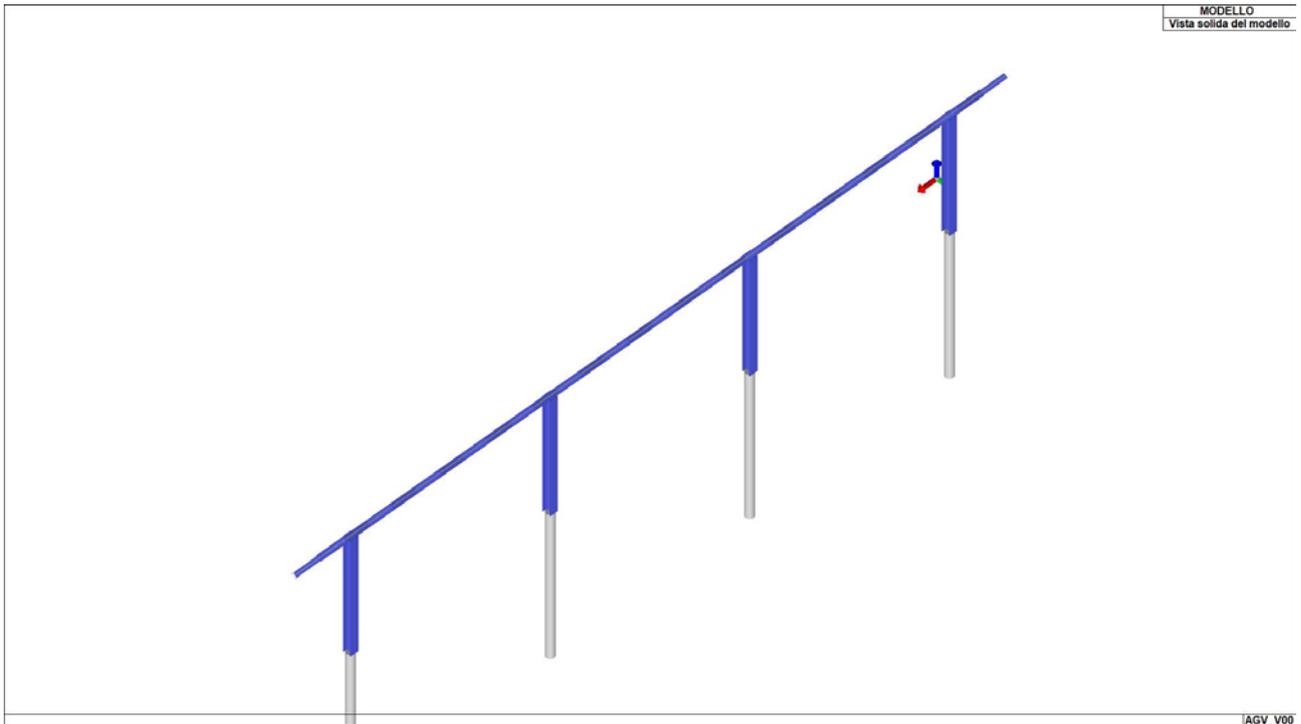


*Immagine 9*



*Immagine 10*

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**



*Immagine 11*

## 2.8 ELEMENTI FINITI – SEZIONI E SPESSORI

A seguire si riportano le immagini relative alle numerazioni di interesse:

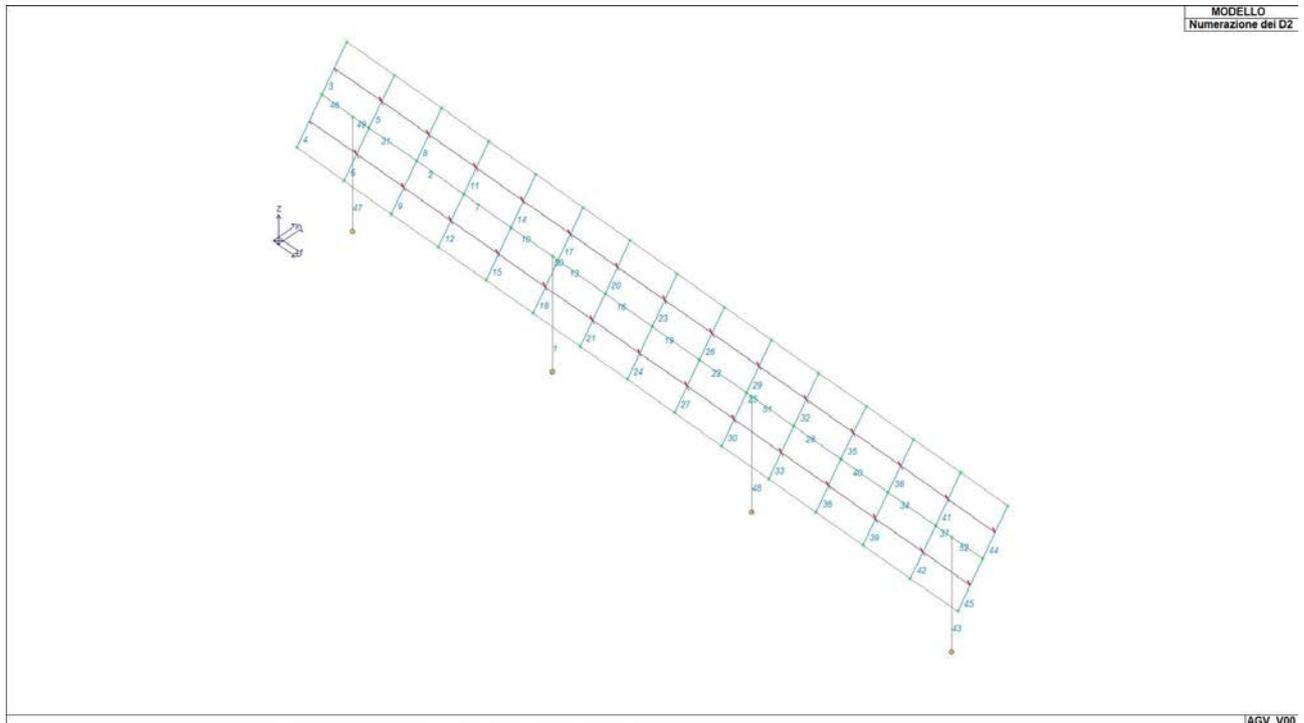


Immagine 12

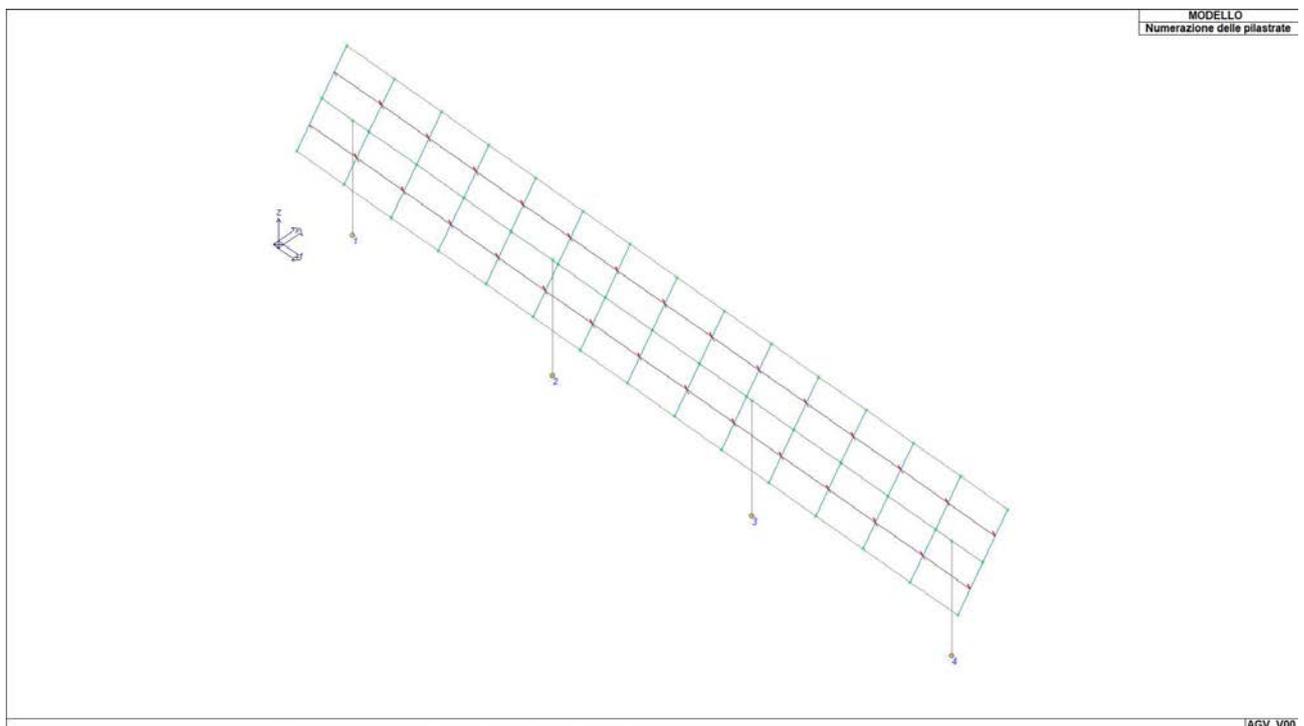


Immagine 13

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**

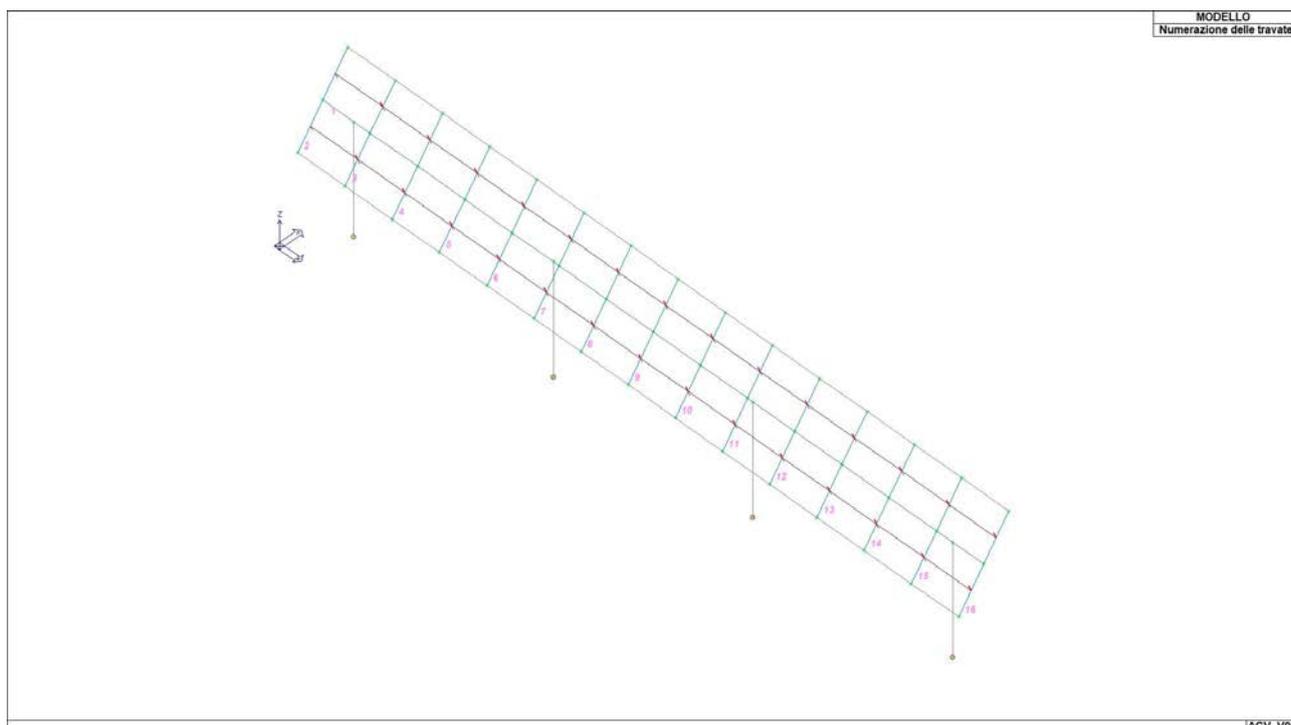


Immagine 14

Si riportano di seguito le caratteristiche di sezioni e spessori degli elementi strutturali, in formato tabellare e immagini:

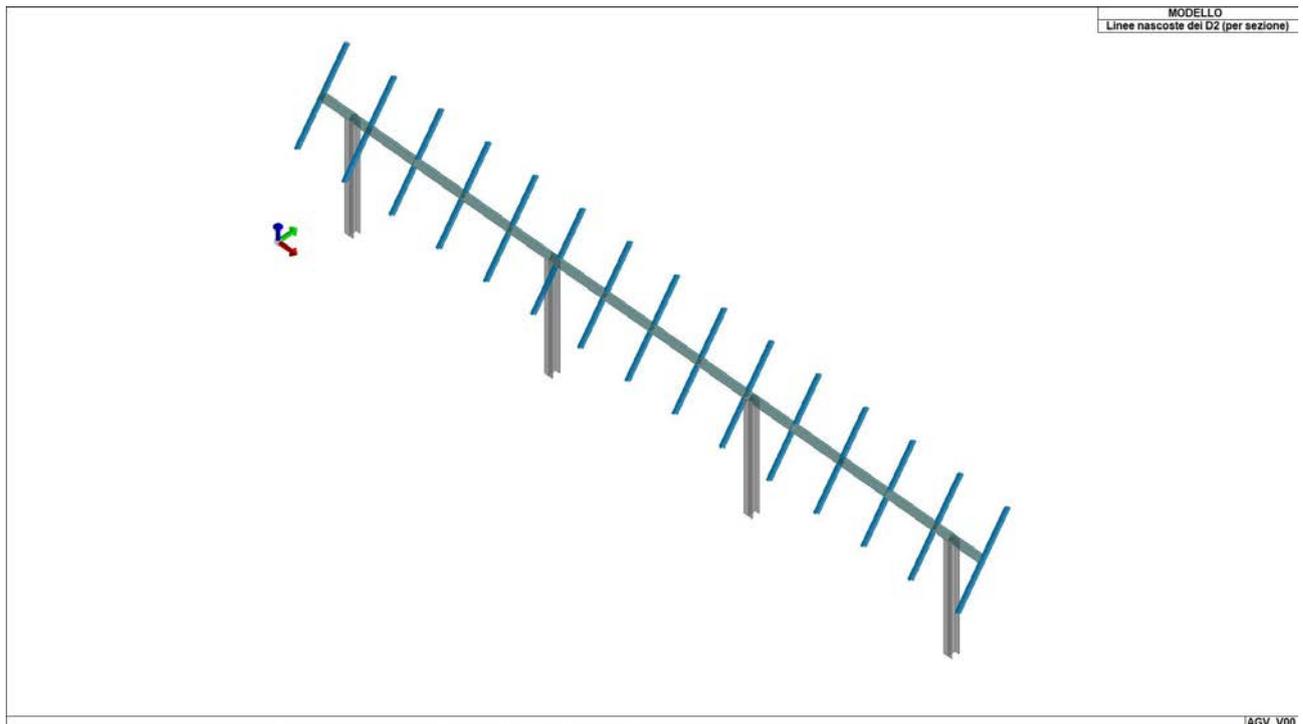
TABELLA\_SEZIONI

Id	Tipo SEZ	Area	A V2	A V3	Jt	J 2-2	J 3-3	W 2-2	W 3-3	Wp 2-2	Wp 3-3
-	-	cm2	cm2	cm2	cm4	cm4	cm4	cm3	cm3	cm3	cm3
1	HEA 220	64.30	0.0	0.0	28.50	1955.00	5410.00	177.70	515.20	270.60	568.50
2	UNP 120	17.00	0.0	0.0	4.15	43.10	364.00	11.10	60.70	21.20	72.60
3	T.QU 150x150x5	28.36	0.0	0.0	1554.13	982.12	982.12	130.95	130.95	152.98	152.98

Legenda

- Tipo SEZ Indica il nome identificativo e la tipologia di sezione
- Area Area della sezione
- A V2 Area della sezione/Fattore di taglio (direzione 2)
- A V3 Area della sezione/Fattore di taglio (direzione 3)
- Jt Momento di inerzia torsionale della sezione
- J 2-2 Momento di inerzia della sezione riferito all'Asse 2
- J 3-3 Momento di inerzia della sezione riferito all'Asse 3
- W 2-2 Modulo di resistenza della sezione riferito all'Asse 2
- W 3-3 Modulo di resistenza della sezione riferito all'Asse 3
- Wp 2-2 Modulo di resistenza plastico della sezione riferito all'Asse 2
- Wp 3-3 Modulo di resistenza plastico della sezione riferito all'Asse 3

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**



*Immagine 15*

## 2.9 CARATTERISTICHE MATERIALI UTILIZZATI

Nell'esecuzione delle opere oggetto della presente relazione è previsto l'utilizzo dei seguenti materiali con le relative caratteristiche:

[13]- MATERIALE PER ELEVAZIONE -

Acciaio Fe510 - S355-acciaio Fe510-S355			
Id	-	-	u.m.
13		< MATERIALE NUOVO >	
		Tensione ft	5100.0 daN/cm2
		Tensione fy	3550.0 daN/cm2
		Coefficiente gammaM0 (resistenza)	1.1
		Coefficiente gammaM1 (stabilità)	1.1
		Coefficiente gammaM2 (frattura)	1.2

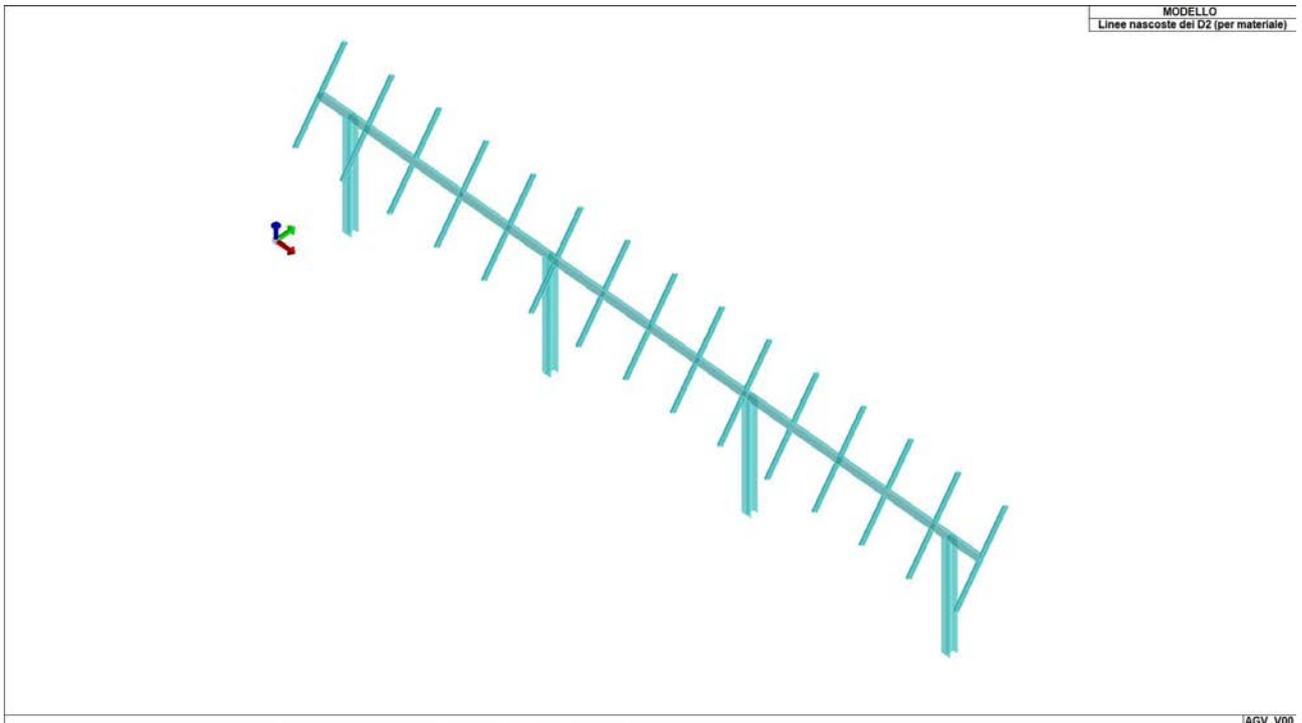


Immagine 16

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni****2.10 SCHEMATIZZAZIONE DEI CASI DI CARICO**

E' possibile definire i casi di carico scegliendo fra le dodici tipologie elencate nella tabella seguente:

	Tipo CDC	Descrizione
1	Ggk	caso di carico comprensivo del peso proprio struttura
2	Gk	caso di carico con azioni permanenti
3	Qk	caso di carico con azioni variabili
4	Gsk	caso di carico comprensivo dei carichi permanenti sui solai e sulle coperture
5	Qsk	caso di carico comprensivo dei carichi variabili sui solai
6	Qnk	caso di carico comprensivo dei carichi di neve sulle coperture
7	Qtk	caso di carico comprensivo di una variazione termica agente sulla struttura
8	Qvk	caso di carico comprensivo di azioni da vento sulla struttura
9	Esk	caso di carico sismico con analisi statica equivalente
10	Edk	caso di carico sismico con analisi dinamica
11	Etk	caso di carico comprensivo di azioni derivanti dall' incremento di spinta delle terre in condizione sismica
12	Pk	caso di carico comprensivo di azioni derivanti da coazioni, cedimenti e precompressioni

I casi di carico utilizzati nella modellazione oggetto della presente relazione sono i seguenti:

TABELLA\_CASI\_DI\_CARICO

CDC	Tipo CDC	Sigla Id	Note
1	Ggk	CDC=Ggk (peso proprio della struttura)	
2	Edk	CDC=Ed (dinamico SLU) alfa=0.0 (ecc. +)	
3	Edk	CDC=Ed (dinamico SLU) alfa=0.0 (ecc. -)	
4	Edk	CDC=Ed (dinamico SLU) alfa=90.00 (ecc. +)	
5	Edk	CDC=Ed (dinamico SLU) alfa=90.00 (ecc. -)	
6	Edk	CDC=Ed (dinamico SLD) alfa=0.0 (ecc. +)	
7	Edk	CDC=Ed (dinamico SLD) alfa=0.0 (ecc. -)	
8	Edk	CDC=Ed (dinamico SLD) alfa=90.00 (ecc. +)	
9	Edk	CDC=Ed (dinamico SLD) alfa=90.00 (ecc. -)	
10	Qvk	Vento Cf<0_P1	
11	Qvk	Vento Cf<0_P2	
12	Qvk	Vento Cf>0_P1	
13	Qvk	Vento Cf>0_P2	
14	Qtk	CDC=Qtk (carico termico) dT= 20.00	variazione termica:20.00
15	Gk	Pannelli FV	

E' possibile definire i casi di carico scegliendo fra le dodici tipologie elencate nella tabella seguente:

	Tipo CDC	Descrizione
1	Ggk	caso di carico comprensivo del peso proprio struttura
2	Gk	caso di carico con azioni permanenti
3	Qk	caso di carico con azioni variabili
4	Gsk	caso di carico comprensivo dei carichi permanenti sui solai e sulle coperture
5	Qsk	caso di carico comprensivo dei carichi variabili sui solai
6	Qnk	caso di carico comprensivo dei carichi di neve sulle coperture
7	Qtk	caso di carico comprensivo di una variazione termica agente sulla struttura
8	Qvk	caso di carico comprensivo di azioni da vento sulla struttura
9	Esk	caso di carico sismico con analisi statica equivalente
10	Edk	caso di carico sismico con analisi dinamica
11	Etk	caso di carico comprensivo di azioni derivanti dall' incremento di spinta delle terre in condizione sismica
12	Pk	caso di carico comprensivo di azioni derivanti da coazioni, cedimenti e precompressioni



Autorizzazione Unica ai sensi del D.Lgs. 29 dicembre 2003, n. 387 per un impianto agrovoltaiico di superficie pari a 107,38 ha costituito da coltivazioni di patata novella, asparago, cavolo a foglia e erbai integrate ad un impianto fotovoltaico con tracker monoassiali (60 MWp) sito in località Vaccareccia nel Comune di Viterbo (VT)

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**

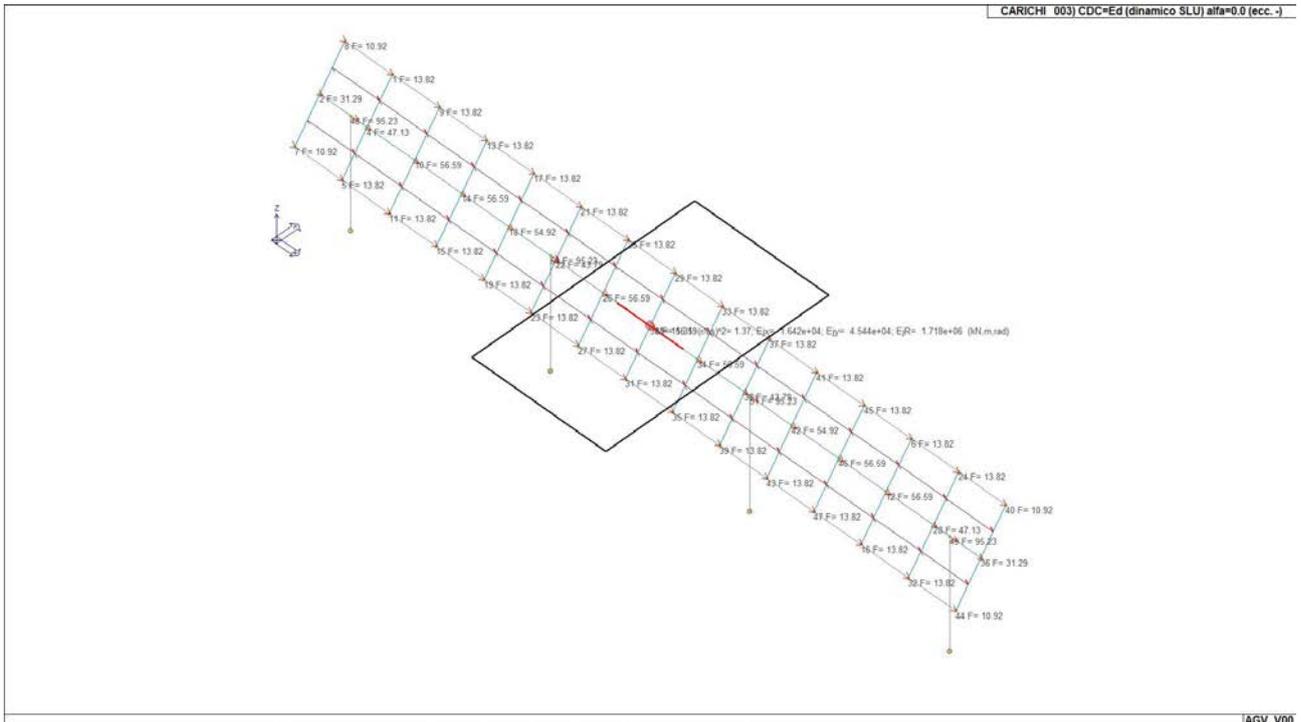


Immagine 19

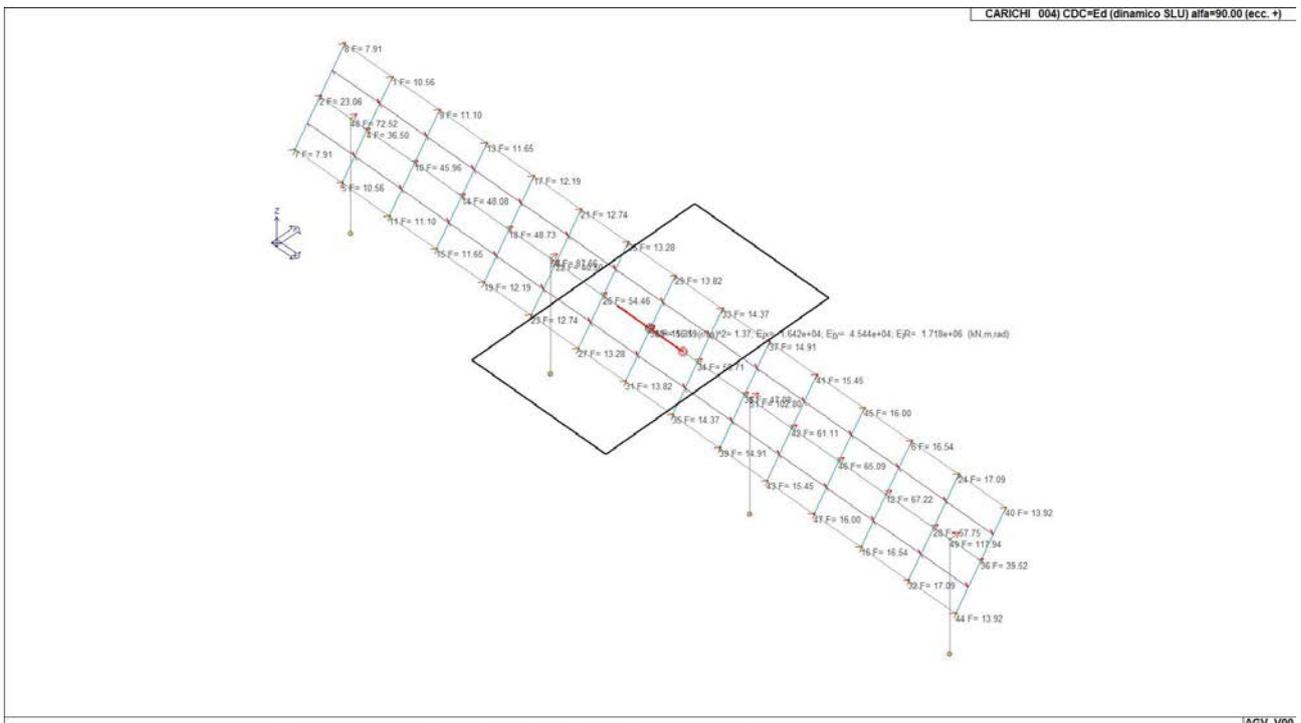


Immagine 20

AGROVOLTAICO VITERBO - VITERBO (VT)

Autorizzazione Unica ai sensi del D.Lgs. 29 dicembre 2003, n. 387 per un impianto agrovoltaiico di superficie pari a 107,38 ha costituito da coltivazioni di patata novella, asparago, cavolo a foglia e erbai integrate ad un impianto fotovoltaico con tracker monoassiali (60 MWp) sito in località Vaccareccia nel Comune di Viterbo (VT)

R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni

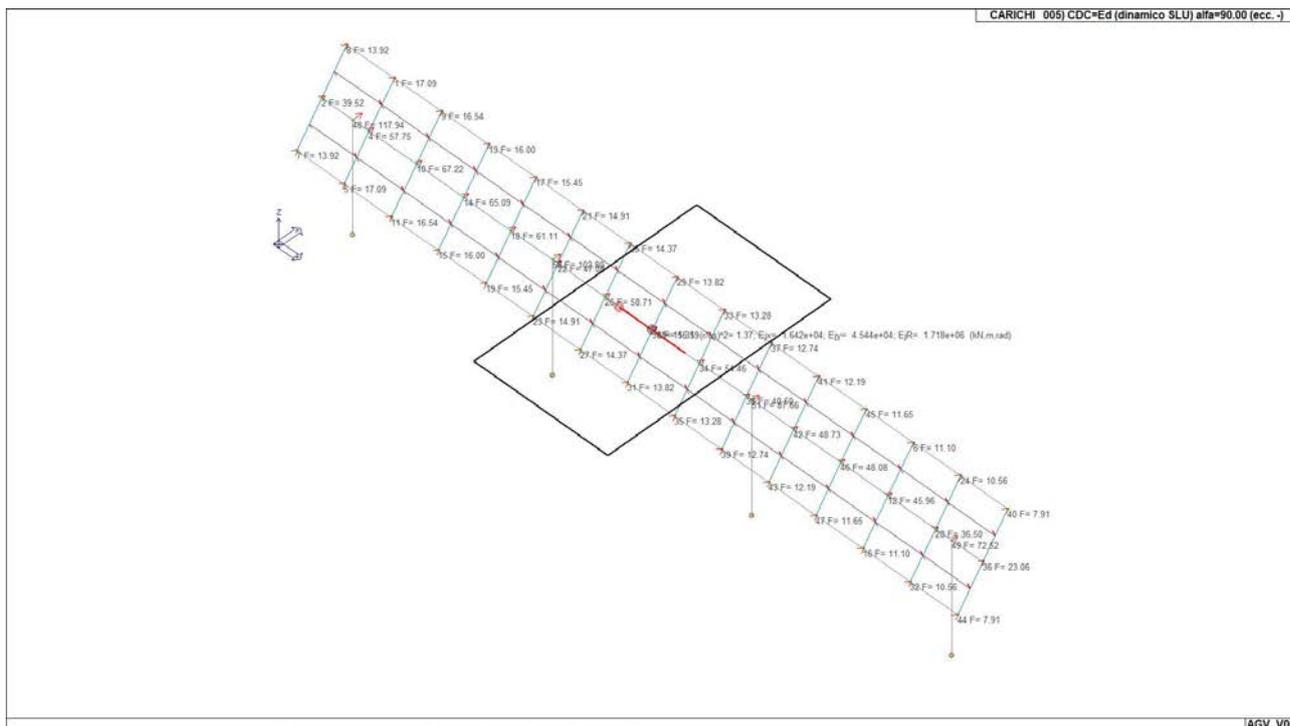


Immagine 21

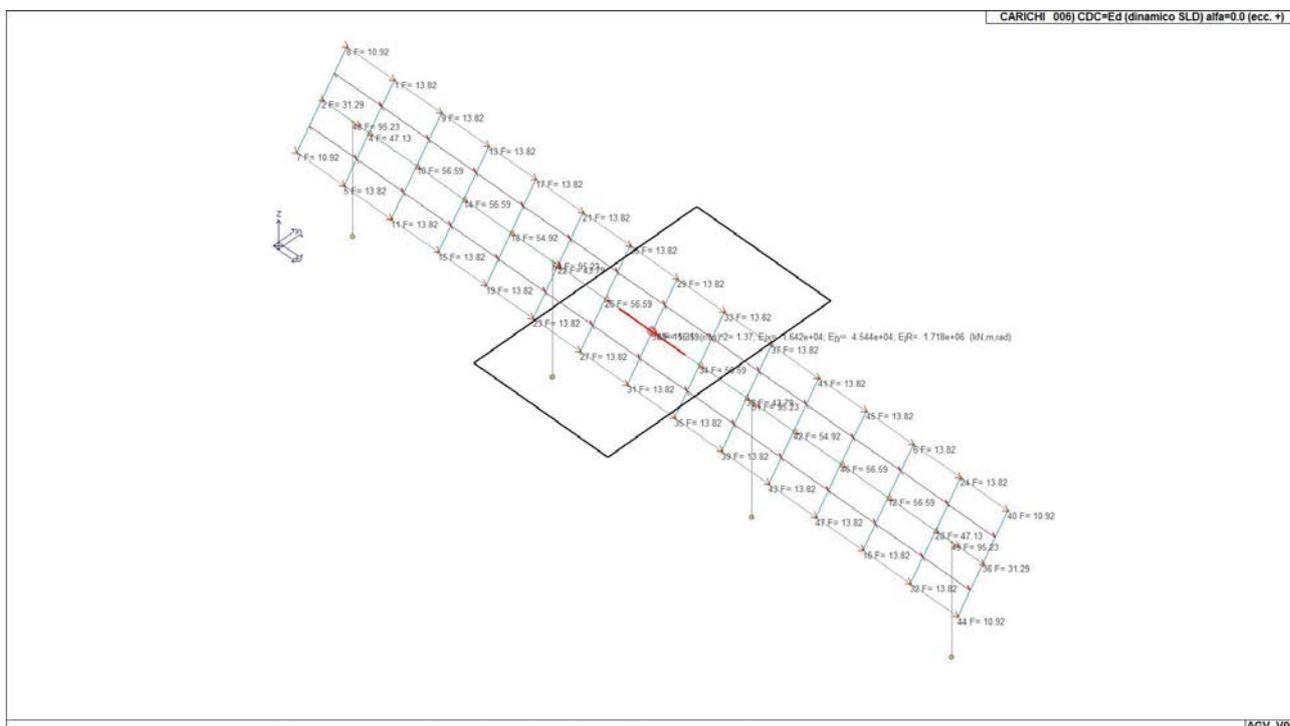


Immagine 22

Autorizzazione Unica ai sensi del D.Lgs. 29 dicembre 2003, n. 387 per un impianto agrovoltaiico di superficie pari a 107,38 ha costituito da coltivazioni di patata novella, asparago, cavolo a foglia e erbai integrate ad un impianto fotovoltaico con tracker monoassiali (60 MWp) sito in località Vaccareccia nel Comune di Viterbo (VT)

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**

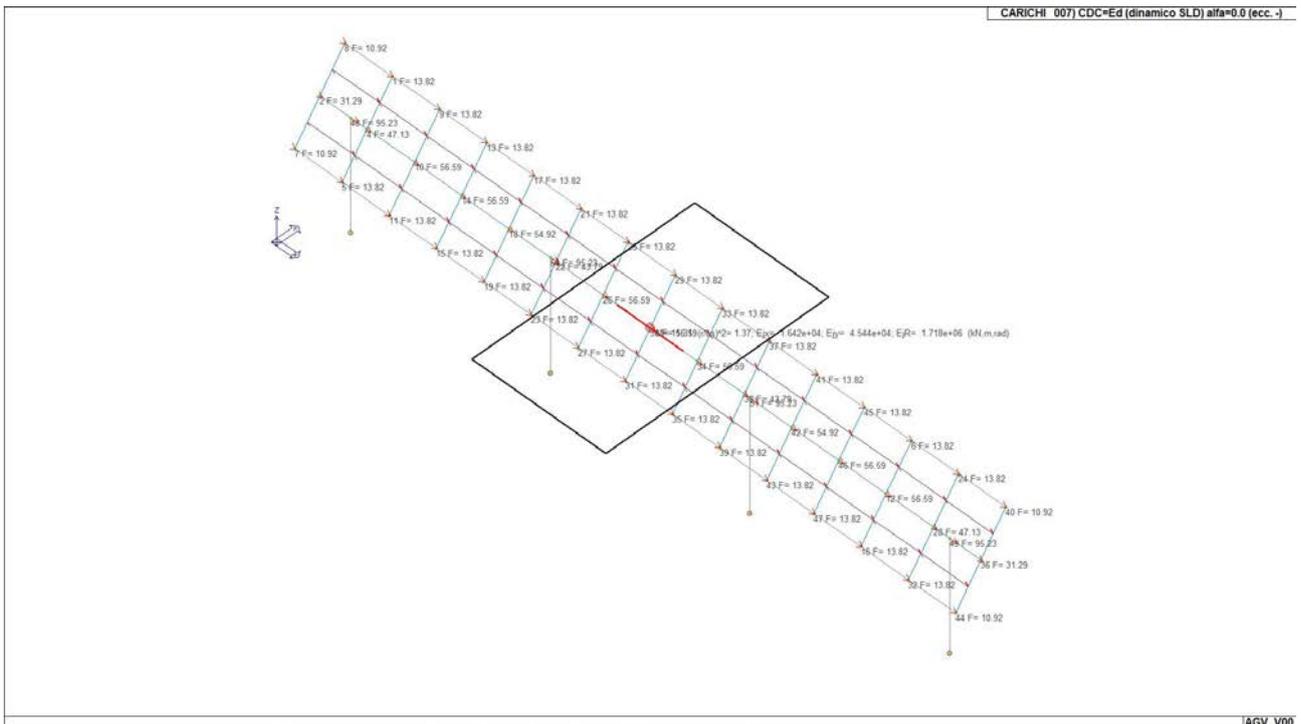


Immagine 23

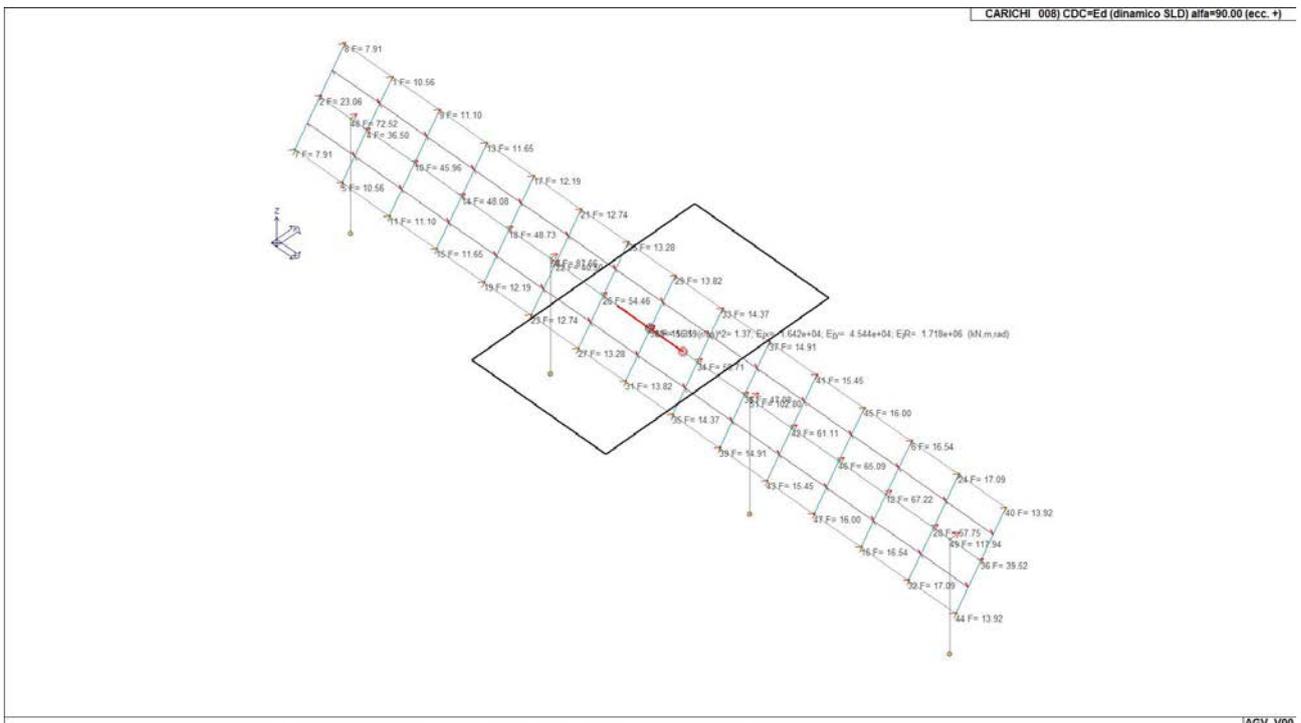


Immagine 24

Autorizzazione Unica ai sensi del D.Lgs. 29 dicembre 2003, n. 387 per un impianto agrovoltaiico di superficie pari a 107,38 ha costituito da coltivazioni di patata novella, asparago, cavolo a foglia e erbai integrate ad un impianto fotovoltaico con tracker monoassiali (60 MWp) sito in località Vaccareccia nel Comune di Viterbo (VT)

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**

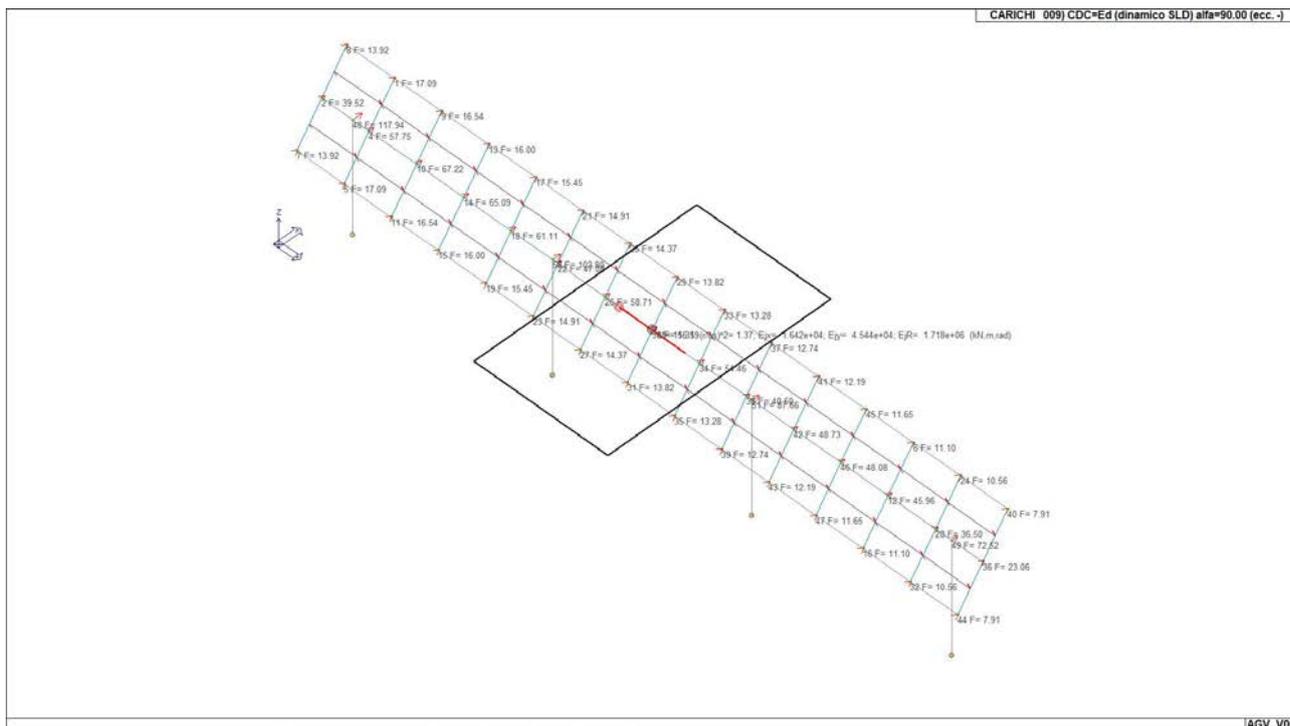


Immagine 25

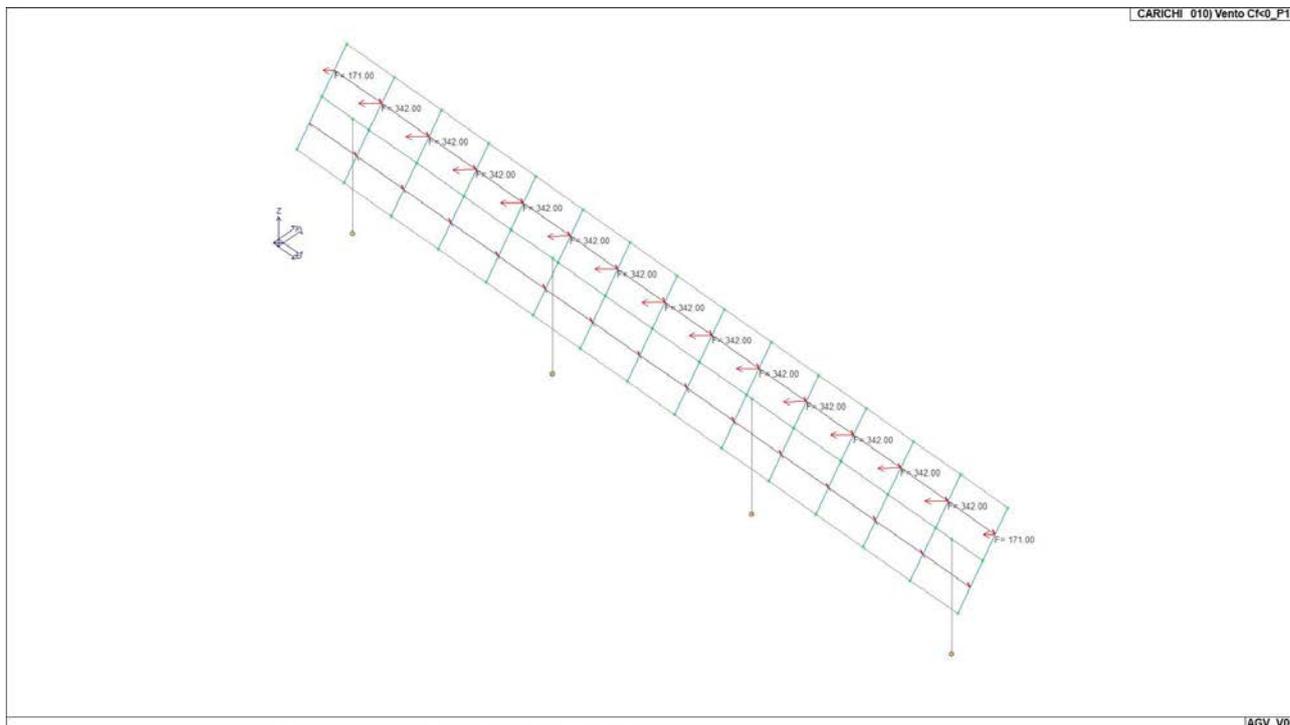


Immagine 26

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**

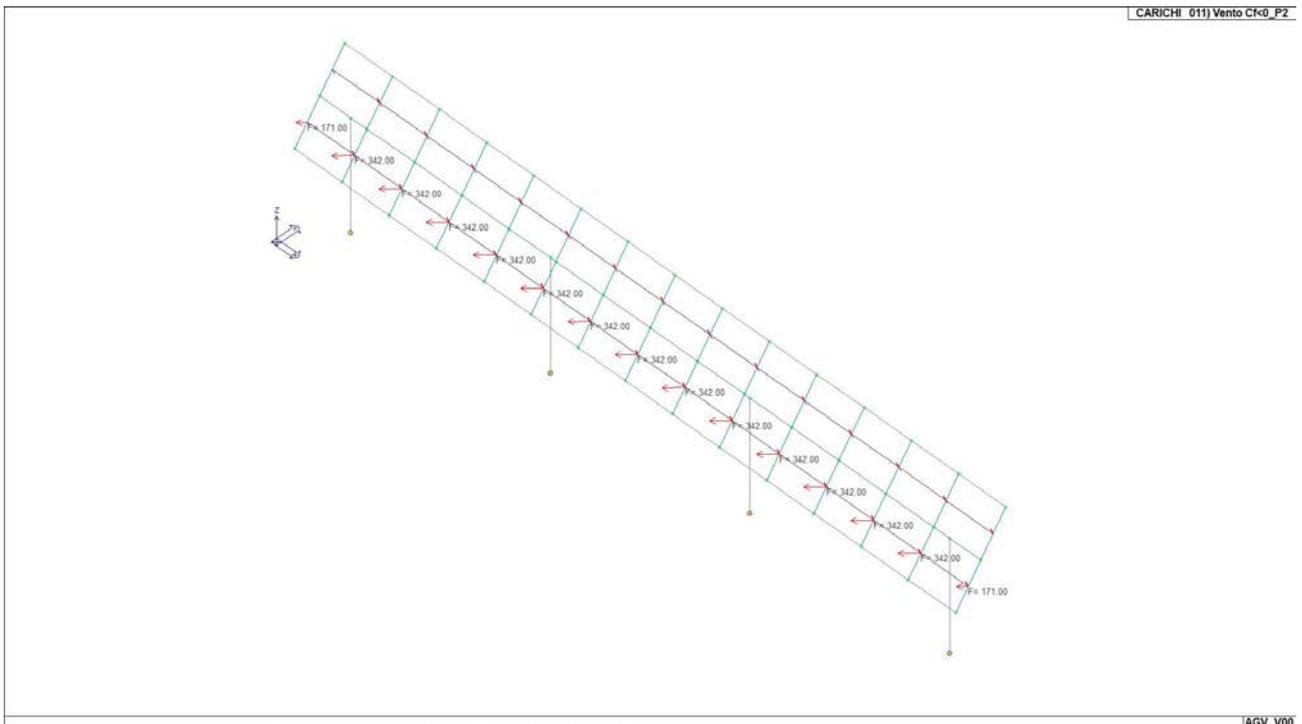


Immagine 27

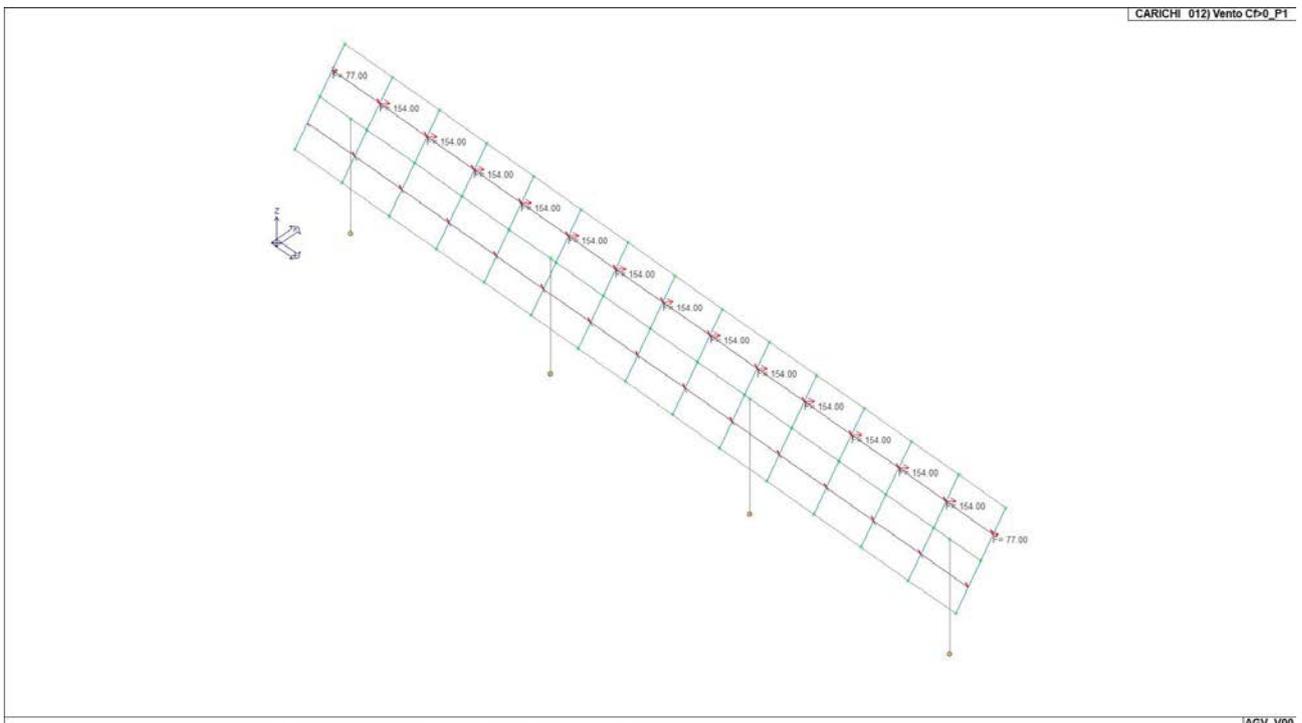


Immagine 28

AGROVOLTAICO VITERBO - VITERBO (VT)

Autorizzazione Unica ai sensi del D.Lgs. 29 dicembre 2003, n. 387 per un impianto agrovoltaiico di superficie pari a 107,38 ha costituito da coltivazioni di patata novella, asparago, cavolo a foglia e erbai integrate ad un impianto fotovoltaico con tracker monoassiali (60 MWp) sito in località Vaccareccia nel Comune di Viterbo (VT)

R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni

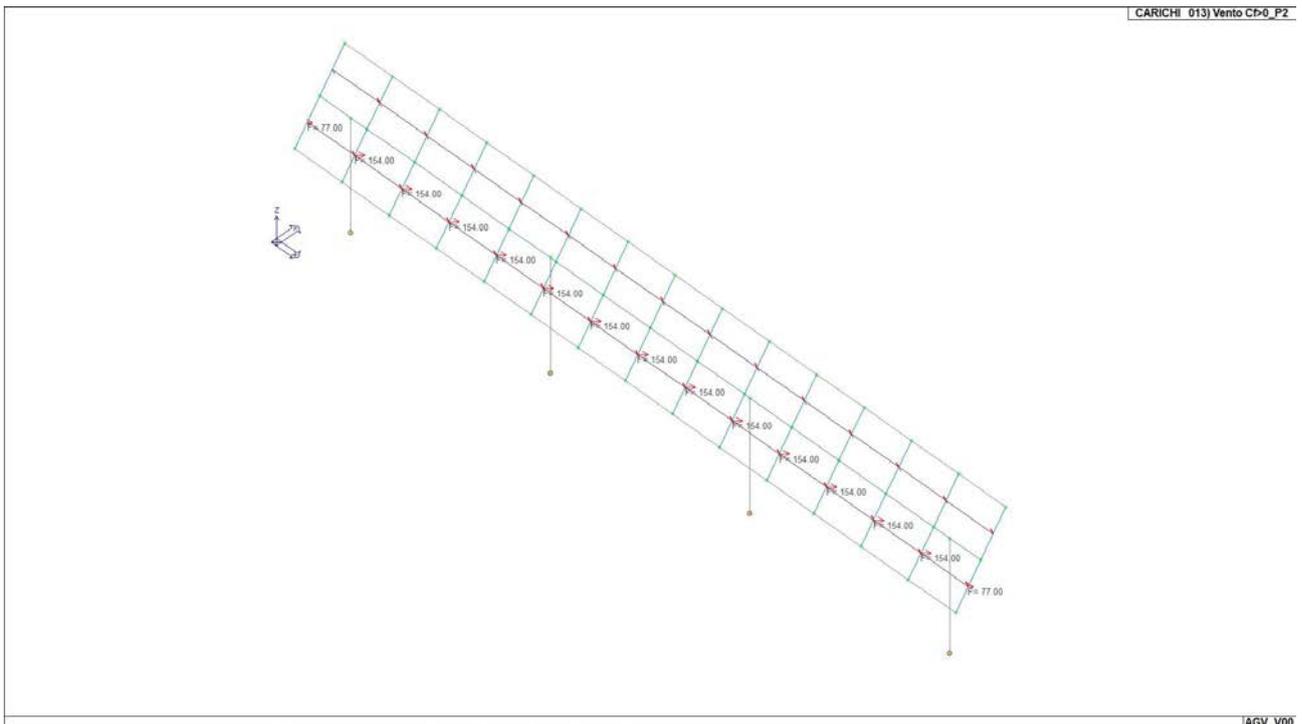


Immagine 29

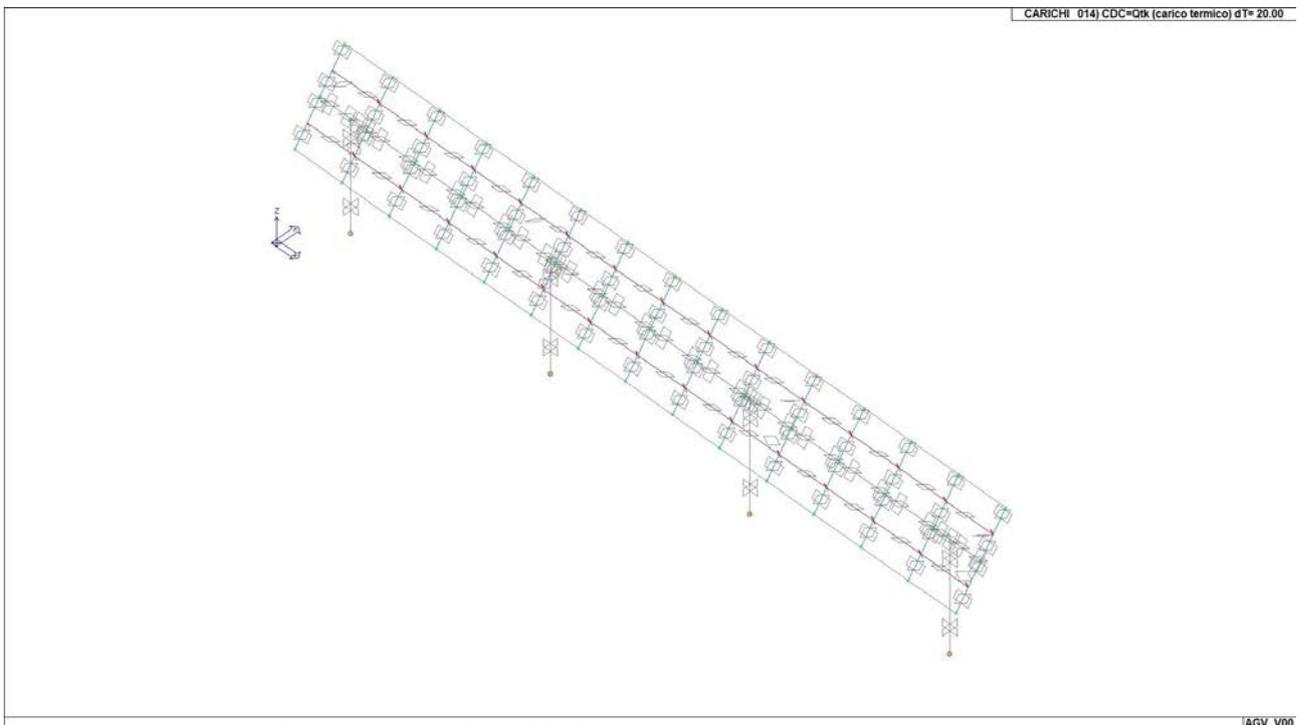


Immagine 30

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**

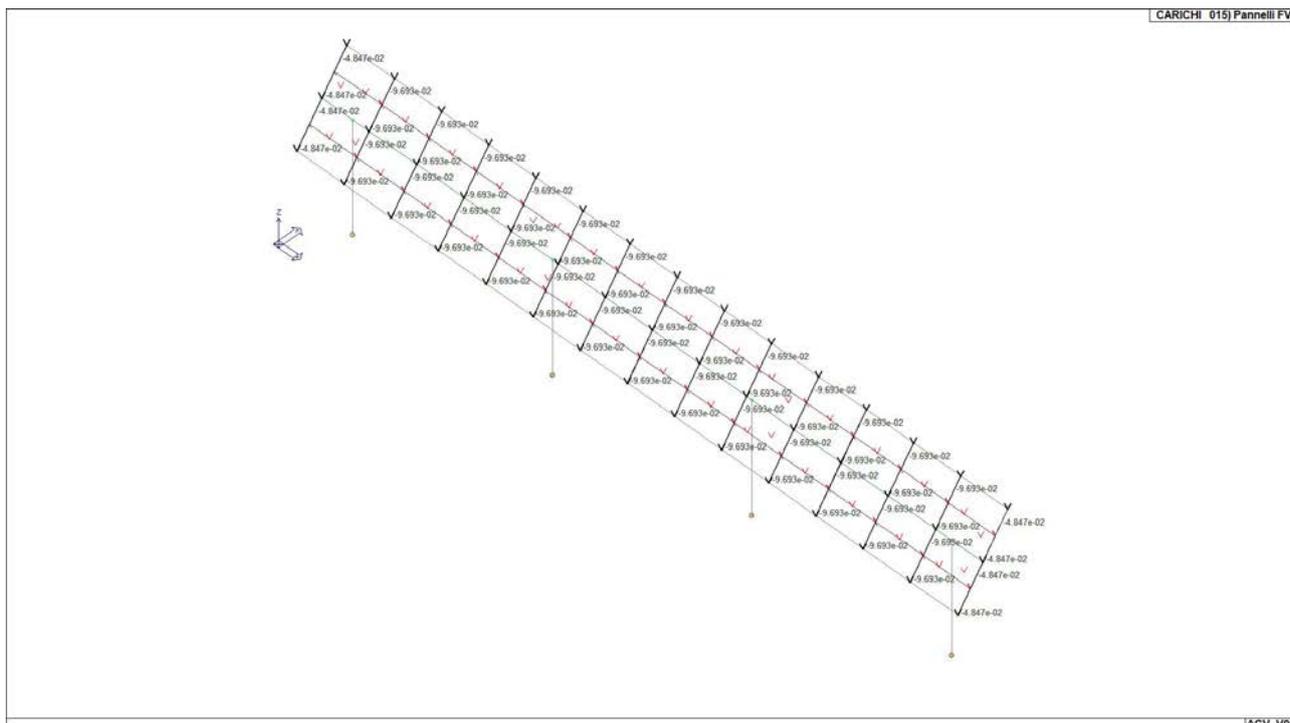


Immagine 31

**2.11 DEFINIZIONE DELLE COMBINAZIONI**

Le combinazioni previste per i diversi casi di carico (CDC) seguono le regole previste dalla Normativa vigente e sono destinate al controllo di sicurezza della struttura e alla verifica degli spostamenti e delle sollecitazioni.

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

**Combinazione fondamentale SLU**

$$\gamma G_1 \cdot G_1 + \gamma G_2 \cdot G_2 + \gamma P \cdot P + \gamma Q_1 \cdot Q_{k1} + \gamma Q_2 \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma Q_3 \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

**Combinazione caratteristica (rara) SLE**

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

**Combinazione frequente SLE**

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

**Combinazione quasi permanente SLE**

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

**Combinazione sismica**, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E  
 $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$

**Combinazione eccezionale**, impiegata per gli stati limite connessi alle azioni eccezionali

$$A_d + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Dove:

NTC 2018 Tabella 2.5.I

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**

Destinazione d'uso/azione	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Categoria A residenziali	0,70	0,50	0,30
Categoria B uffici	0,70	0,50	0,30
Categoria C ambienti suscettibili di affollamento	0,70	0,70	0,60
Categoria D ambienti ad uso commerciale	0,70	0,70	0,60
Categoria E biblioteche, archivi, magazzini,...	1,00	0,90	0,80
Categoria F Rimesse e parcheggi (autoveicoli $\leq 30\text{kN}$ )	0,70	0,70	0,60
Categoria G Rimesse e parcheggi (autoveicoli $> 30\text{kN}$ )	0,70	0,50	0,30
Categoria H Coperture	0,00	0,00	0,00
Vento	0,60	0,20	0,00
Neve a quota $\leq 1000$ m	0,50	0,20	0,00
Neve a quota $> 1000$ m	0,70	0,50	0,20
Variazioni Termiche	0,60	0,50	0,00

Nelle verifiche possono essere adottati in alternativa due diversi approcci progettuali:

- per l'approccio 1 si considerano due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti di sicurezza parziali per le azioni, per i materiali e per la resistenza globale (combinazione 1 con coefficienti A1 e combinazione 2 con coefficienti A2),
- per l'approccio 2 si definisce un'unica combinazione per le azioni, per la resistenza dei materiali e per la resistenza globale (con coefficienti A1).

NTC 2018 Tabella 2.6.I

		Coefficiente $\gamma_F$	EQU	A1	A2
Carichi permanenti	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali (Non compiutamente definiti)	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	Favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

Combinazioni dei casi di carico	
APPROCCIO PROGETTUALE	Approccio 2
SLU	SI
SLV (SLU con sisma)	SI
SLC	NO
SLD	SI
SLO	NO
SLU GEO A2 (per approccio 1)	NO
SLU EQU	NO
Combinazione caratteristica (rara)	SI
Combinazione frequente	SI
Combinazione quasi permanente (SLE)	SI
SLA (accidentale quale incendio)	NO

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**

TABELLA\_COMBINAZIONI

Tipo CMB	Da Id	Da Nome	A Id	A Nome
-	1	Comb. SLU A1 1	56	Comb. SLU A1 56
SLU	57	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 57	88	Comb. SLU A1 (SLV sism.) 88
SLD	89	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 89	120	Comb. SLE (SLD Danno sism.) 120
SLE frequente	121	Comb. SLE(freq.) 121	127	Comb. SLE(freq.) 127
SLE quasi permanente	128	Comb. SLE(perm.) 128		
SLE rara	129	Comb. SLE(rara) 129	156	Comb. SLE(rara) 156

Tabella 4: Combinazioni di carico più gravose.

## 2.12 PRINCIPALI RISULTATI

Nelle immagini seguenti sono gli involuipi delle sollecitazioni agenti sugli elementi strutturali.

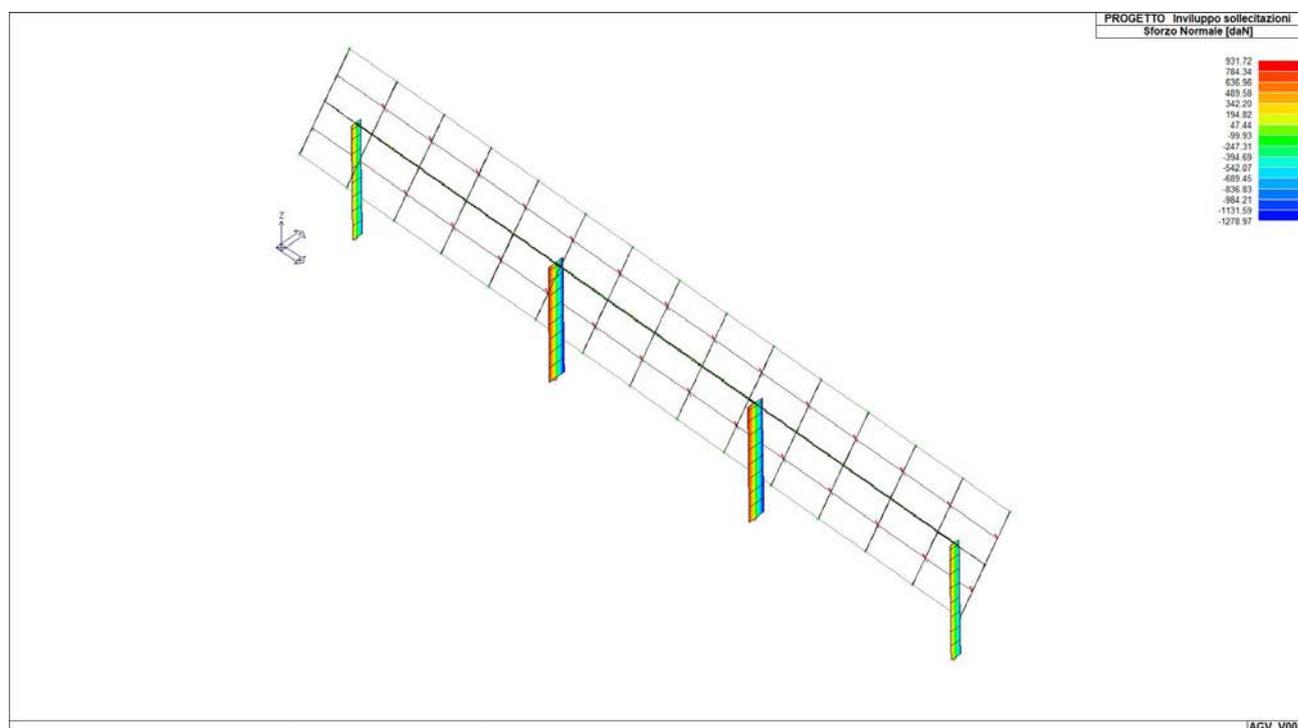


Immagine 32

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**

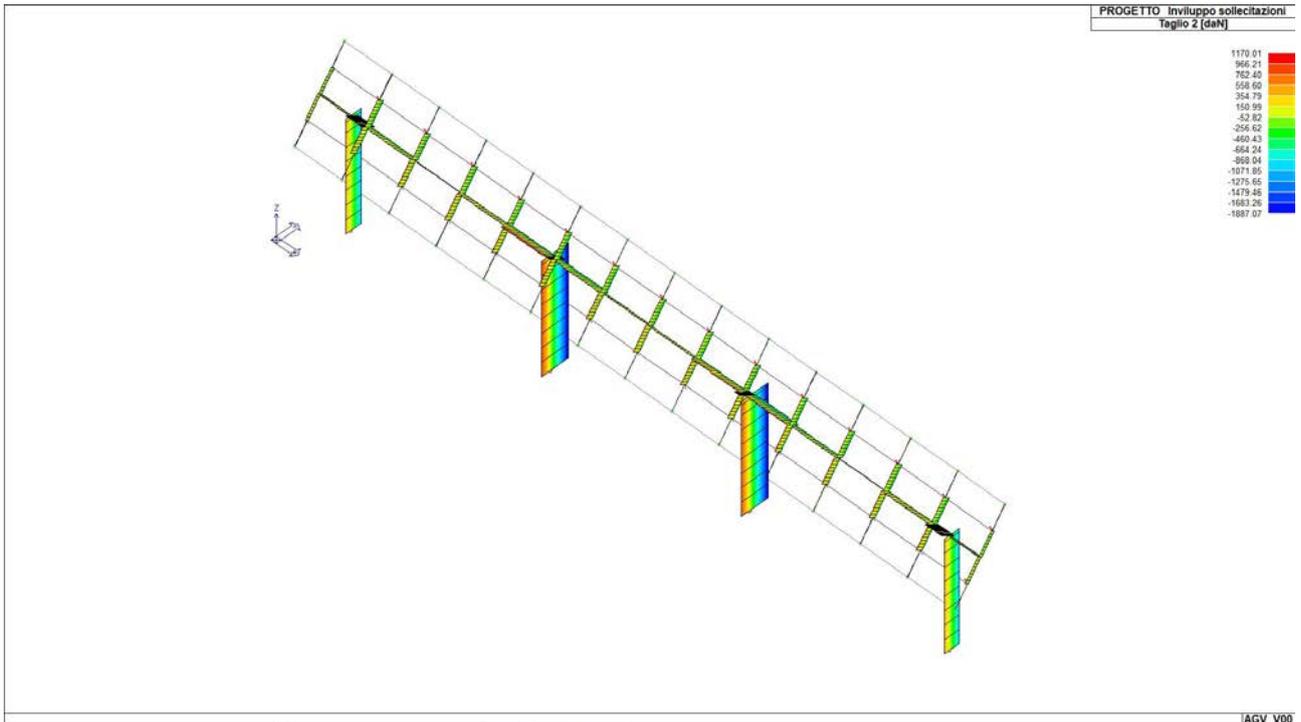


Immagine 33

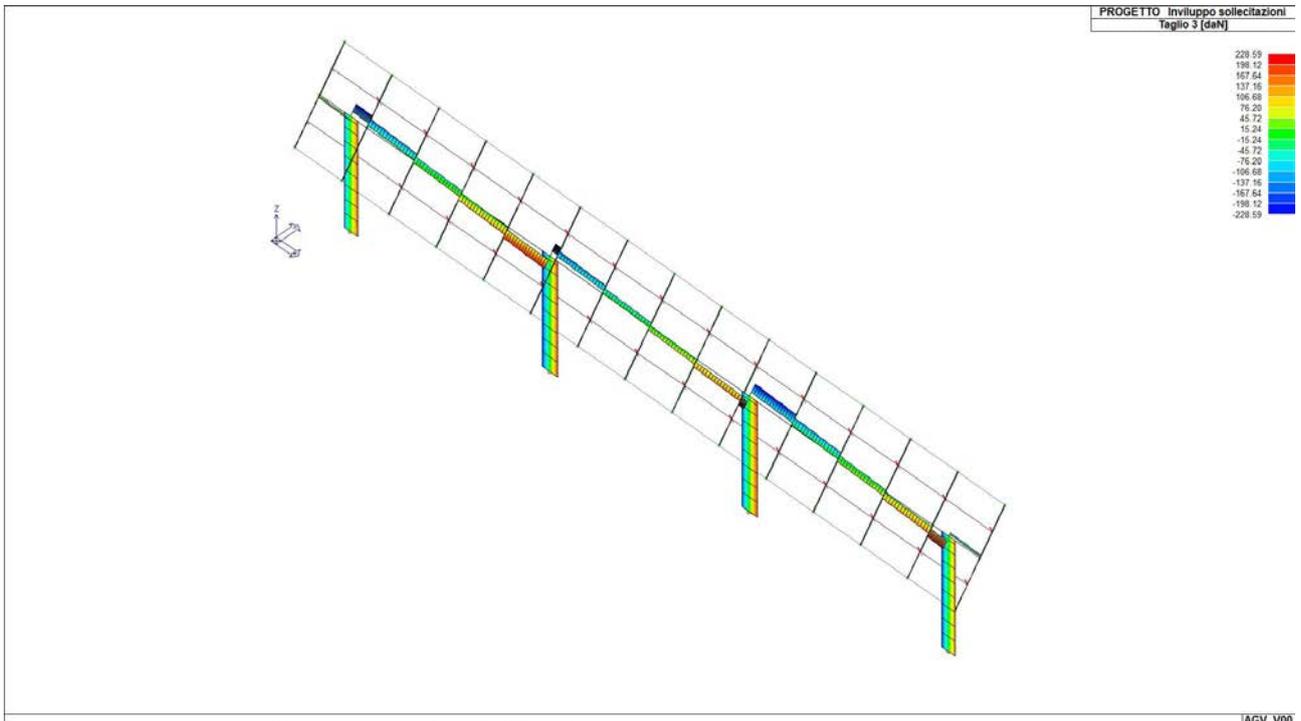


Immagine 34

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**

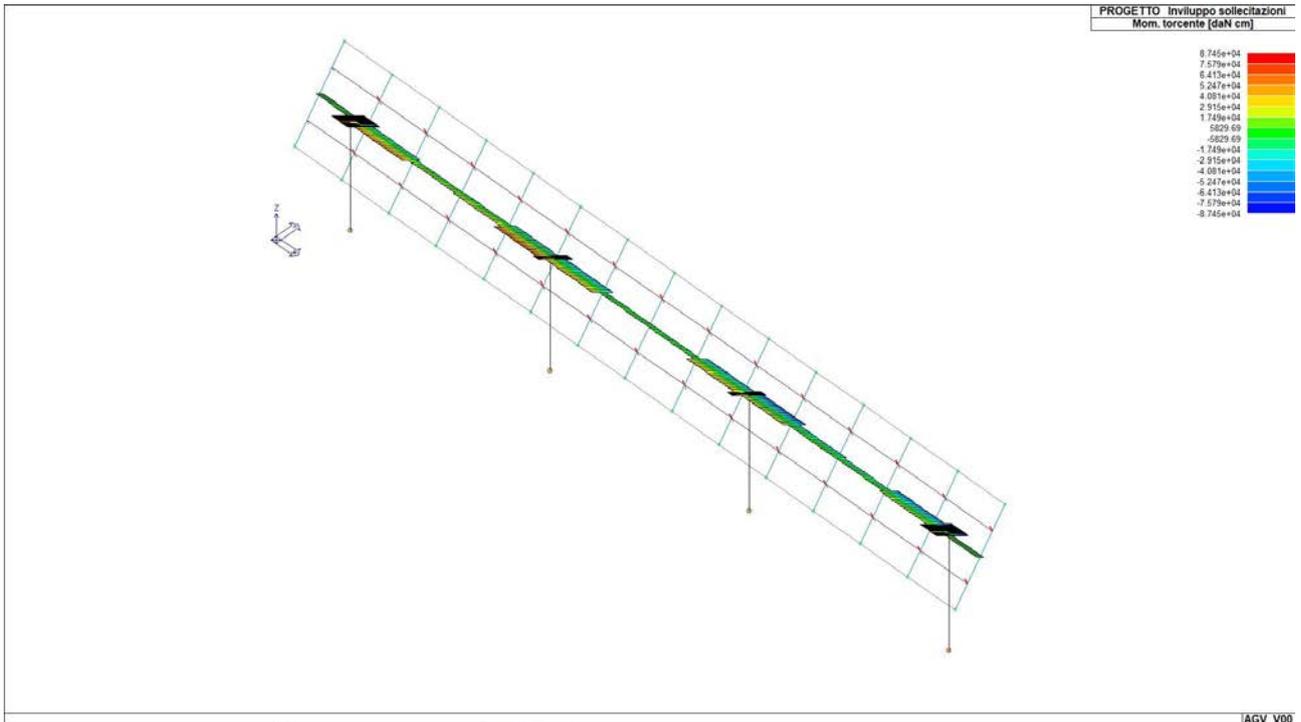


Immagine 35

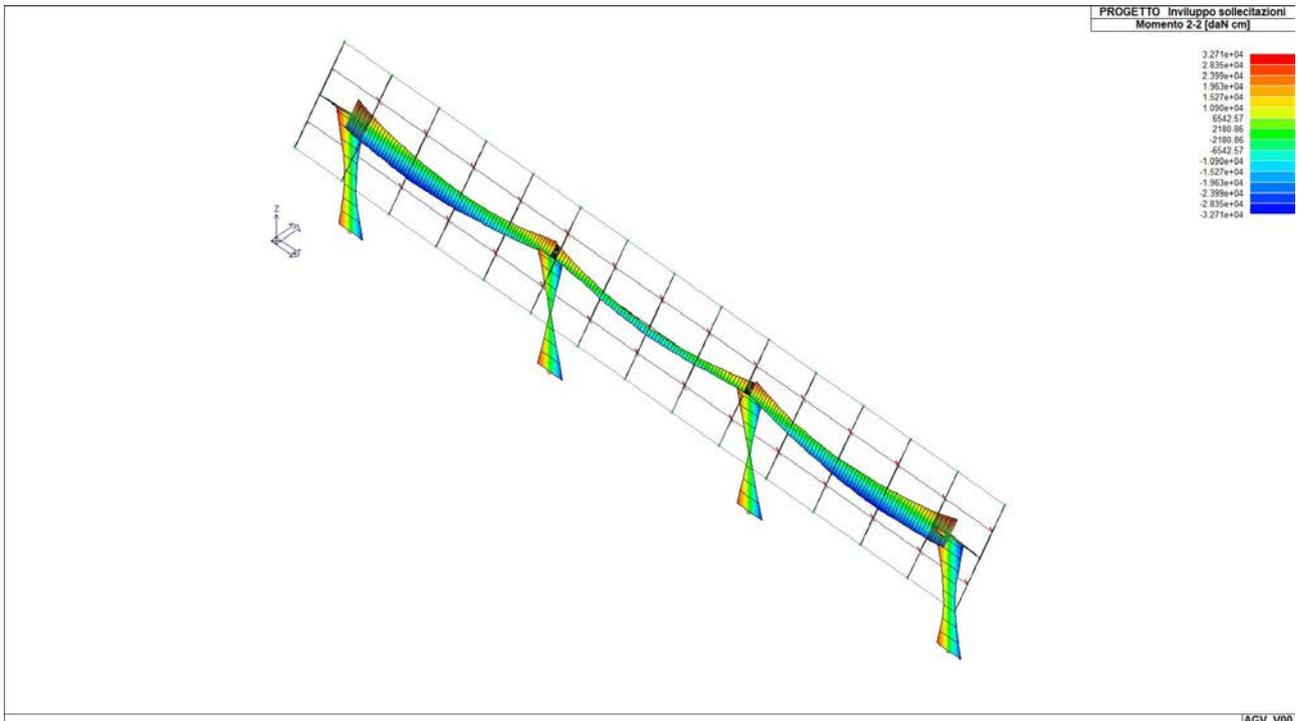


Immagine 36

## 2.13 SINTESI DELLE VERIFICHE DI SICUREZZA

Si riportano a seguire i risultati della progettazione e delle verifiche effettuate. Gli stati di progetto *ciano* o *verde* indicano che le verifiche svolte sono interamente soddisfatte, gli stati di progetto *rossi*, al contrario, indicano che le verifiche non sono soddisfatte.

Laddove possibile le verifiche sono state normalizzate. Significa che se i valori indicati in mappa sono inferiori all'unità, la verifica può ritenersi soddisfatta.

Per tutte le altre verifiche i valori riportati vanno confrontati con i valori limite indicati da Normativa.

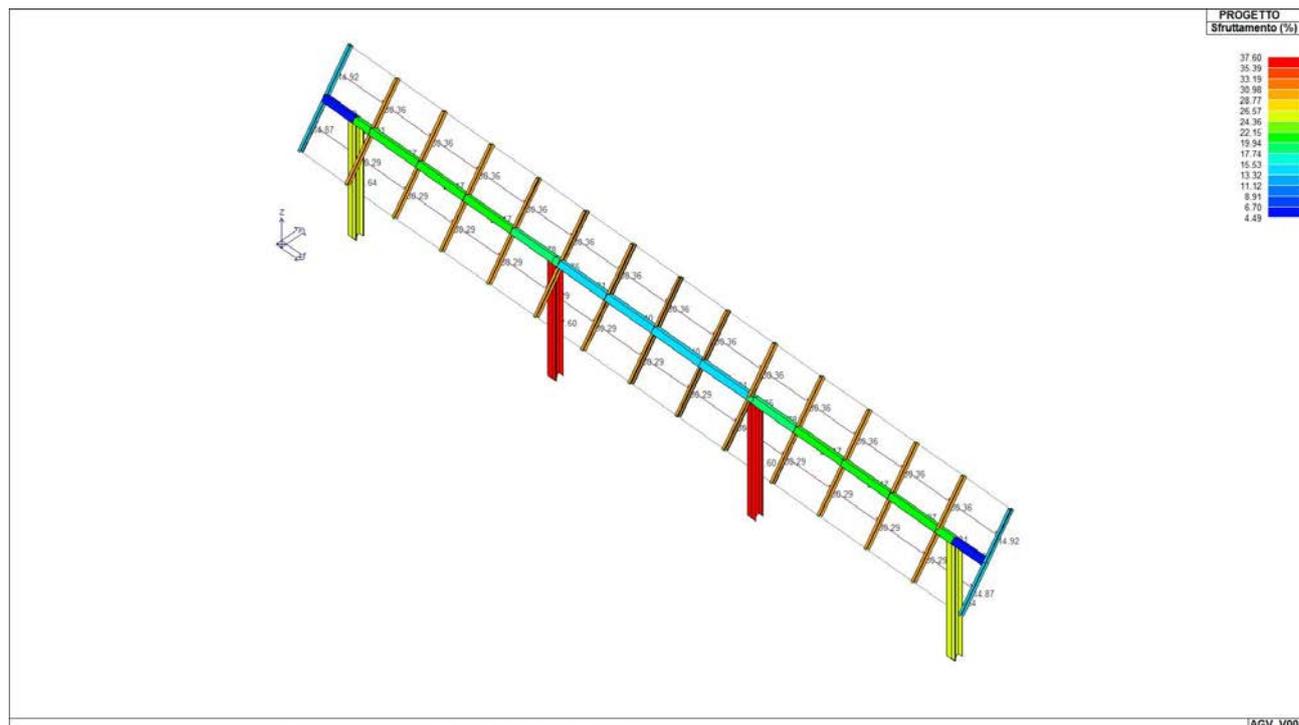


Immagine 37

AGROVOLTAICO VITERBO - VITERBO (VT)

Autorizzazione Unica ai sensi del D.Lgs. 29 dicembre 2003, n. 387 per un impianto agrovoltaiico di superficie pari a 107,38 ha costituito da coltivazioni di patata novella, asparago, cavolo a foglia e erbai integrate ad un impianto fotovoltaico con tracker monoassiali (60 MWp) sito in localit  Vaccareccia nel Comune di Viterbo (VT)

R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni

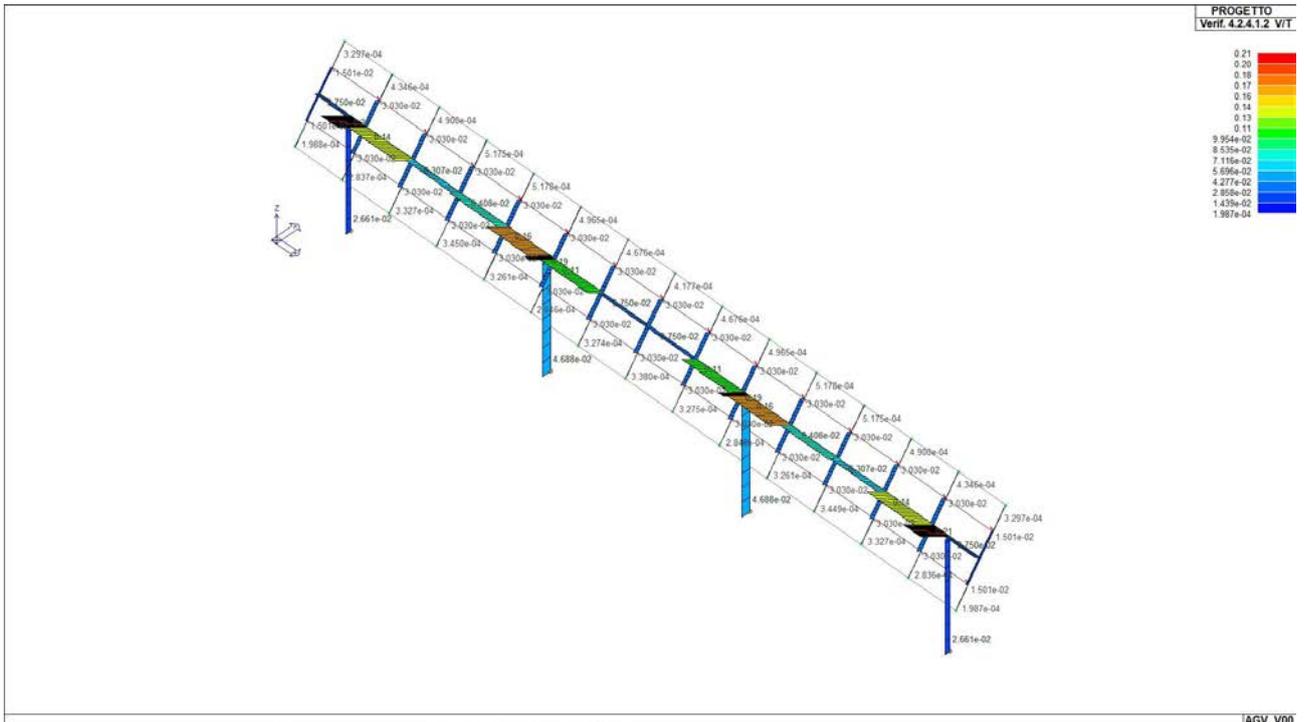


Immagine 38

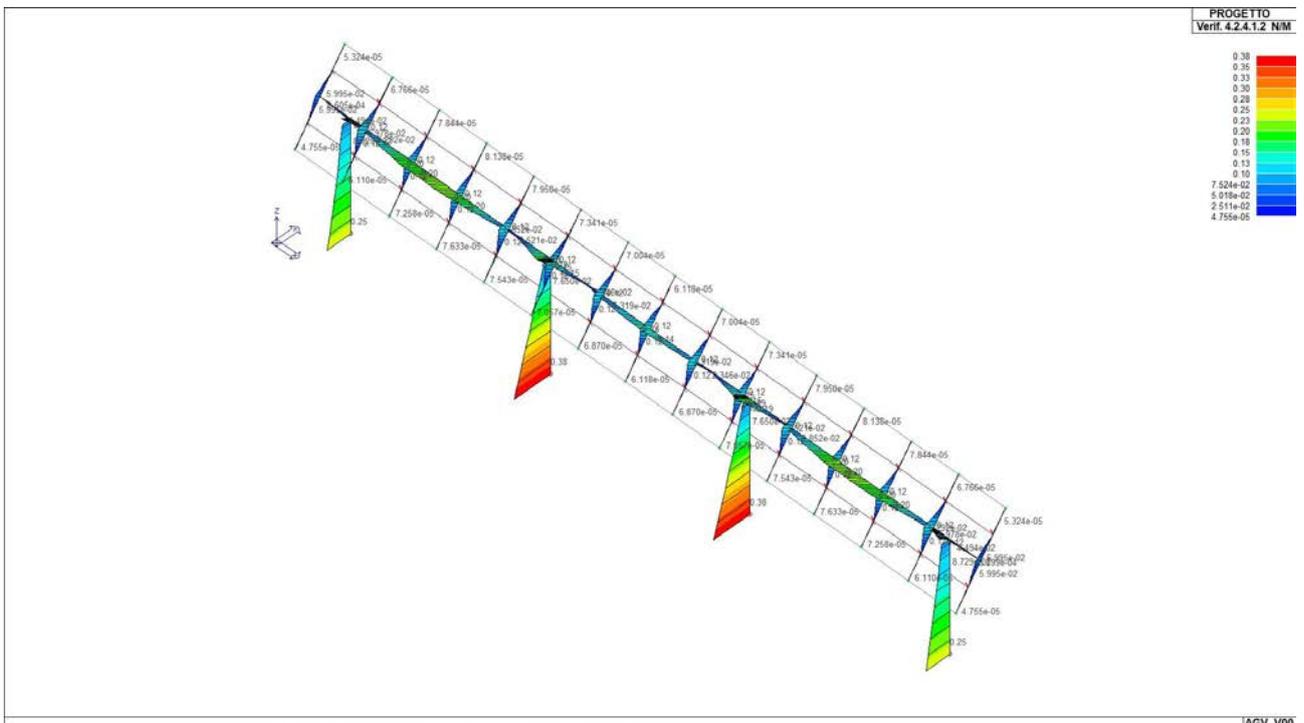


Immagine 39

AGROVOLTAICO VITERBO - VITERBO (VT)

Autorizzazione Unica ai sensi del D.Lgs. 29 dicembre 2003, n. 387 per un impianto agrovoltaiico di superficie pari a 107,38 ha costituito da coltivazioni di patata novella, asparago, cavolo a foglia e erbai integrate ad un impianto fotovoltaico con tracker monoassiali (60 MWp) sito in località Vaccareccia nel Comune di Viterbo (VT)

R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni

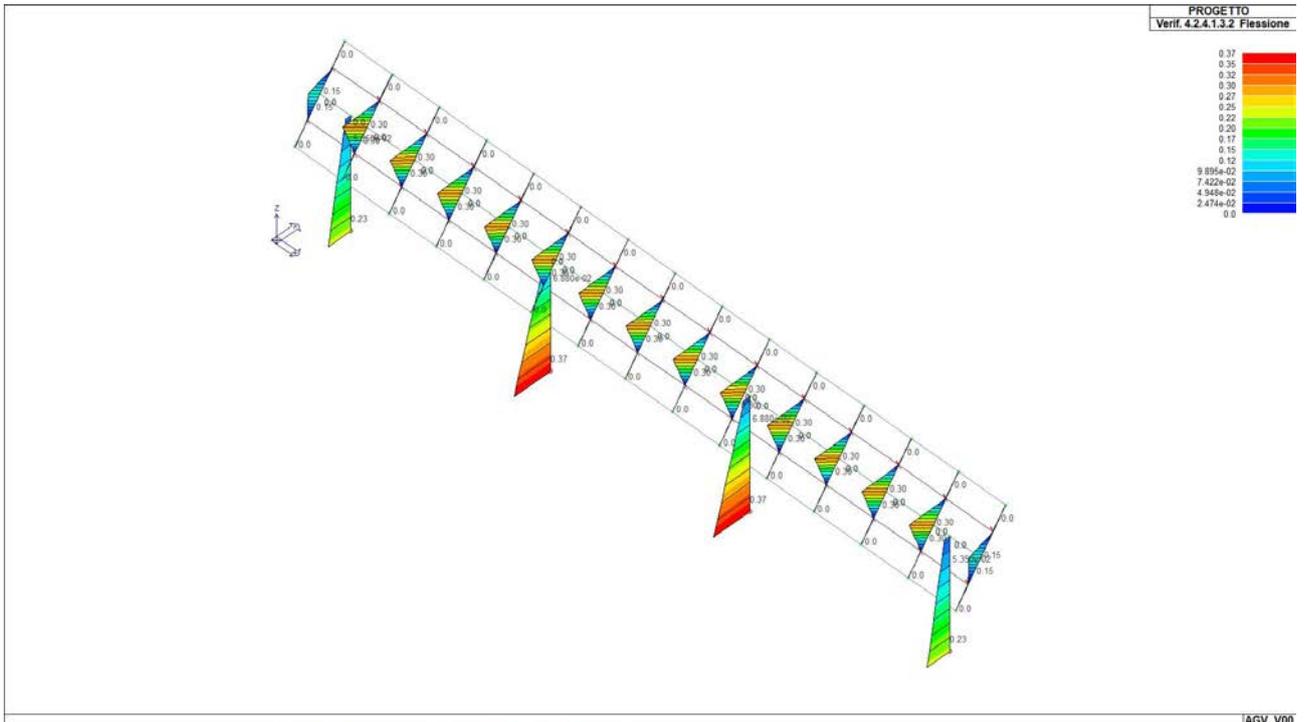


Immagine 40

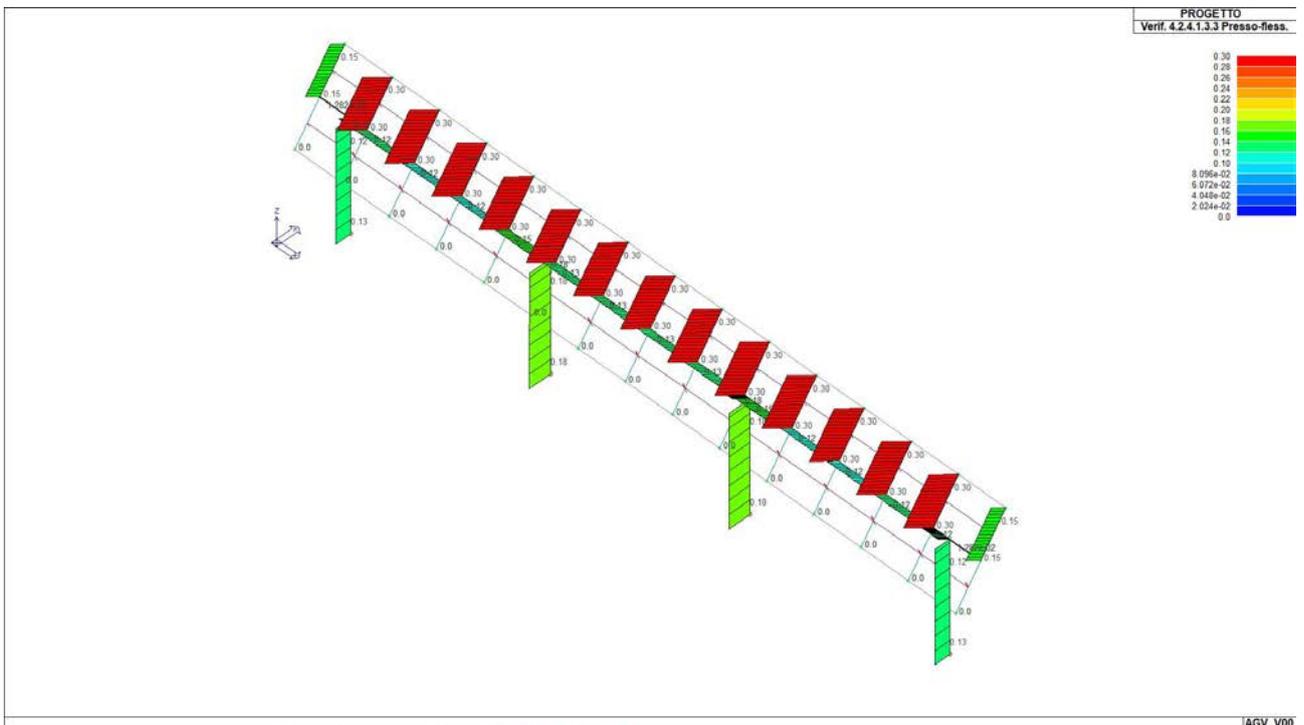


Immagine 41

AGROVOLTAICO VITERBO - VITERBO (VT)

Autorizzazione Unica ai sensi del D.Lgs. 29 dicembre 2003, n. 387 per un impianto agrovoltico di superficie pari a 107,38 ha costituito da coltivazioni di patata novella, asparago, cavolo a foglia e erbai integrate ad un impianto fotovoltaico con tracker monoassiali (60 MWp) sito in località Vaccareccia nel Comune di Viterbo (VT)

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**

		Elementi in acciaio	
Elementi in acciaio		Valore minimo	Valore massimo
Sfruttamento (%)		4.49	37.60
Verif. 4.2.4.1.2 V/T		1.99e-04	0.21
Verif. 4.2.4.1.2 N/M		4.75e-05	0.38
Verif. 4.2.4.1.3.2 Flessione		0.0	0.37
Verif. 4.2.4.1.3.3 Presso-fless.		0.0	0.30

*Immagine 42: Coefficienti di sicurezza.*

### 3 RELAZIONE GEOTECNICA

Le fondazioni dei tracker saranno realizzate mediante pali in acciaio infissi nel terreno. I pali saranno sollecitati principalmente ad azione orizzontali e flettenti, derivanti della forza del vento agente sulle strutture in elevazione.

Si riportano di seguito le verifiche della portanza dei pali di fondazione eseguite per azioni laterali, flettenti e di trazione.

#### 3.1 MODELLO GEOTECNICO DEL TERRENO

Per determinare le caratteristiche geotecniche del terreno e realizzare un modello del suolo per la verifica delle fondazioni, è stato condotto uno studio geologico dell'area.

Si riportano di seguito le caratteristiche geotecniche del modello di terreno che è stato utilizzato per la verifica delle fondazioni.

	Spessore [m]	Peso di volume [kN/mc]	Peso di volume saturo [kN/mc]	Angolo di attrito [°]	Coesione drenata [kPa]	Coesione non drenata [kPa]	Modulo edometrico [Mpa]
Unità 1	3	15	17	28	0	--	4
Unità 2	15	15	16	32	30	--	40

Tabella 5: Parametri geotecnici del terreno di fondazione.

Per maggiori dettagli sulla natura e caratteristiche dei terreni si rimanda alla Relazione Geologica.

#### 3.2 DETERMINAZIONE DELLA PORTANZA VERTICALE DI FONDAZIONI PROFONDE

Per la determinazione della portanza verticale di fondazioni profonde si fa riferimento a due contributi: la "portanza di punta" e la "portanza per attrito laterale". Queste due componenti in genere sono calcolate in maniera autonoma dato che risulta molto difficoltoso, tranne che in poche situazioni, stabilire quanta parte del carico è assorbita dall'attrito laterale e quanta dalla resistenza alla punta. Nel seguito, ai fini del calcolo della portanza verticale, si assumeranno le seguenti espressioni generali valide per il caso di palo soggetto a compressione e per il caso di palo soggetto a trazione (nel calcolo della portanza verticale è possibile tenere in conto tutti o solo uno dei contributi su definiti):

$$Q_C = \frac{Q_P}{\eta_P} + \frac{Q_L}{\eta_L} - W_{ATT.NEG.} - W_P \quad (\text{caso di palo in compressione}) \quad Q_T$$

$$= \frac{Q_L}{\eta_L} + W_P \quad (\text{caso di palo in trazione})$$

dove i simboli su riportati hanno il seguente significato:

- $Q_C$  resistenza a compressione del palo
- $Q_T$  resistenza a trazione del palo
- $Q_P$  carico limite verticale alla punta del palo
- $Q_L$  carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo
- $W_{ATT.NEG.}$  attrito negativo agente sul palo
- $W_P$  peso totale del palo
- $h_P$  coefficiente di sicurezza per carico limite verticale alla punta del palo
- $h_L$  coefficiente di sicurezza per carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo

I valori del carico limite verticale alla punta del palo " $Q_p$ " e del carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo " $Q_L$ " sono determinati con le note "formule statiche". Queste esprimono i valori di cui sopra in funzione della geometria del palo, delle caratteristiche geotecniche del terreno in cui è immerso, della modalità esecutiva e dell'interfaccia palo-terreno.

Di seguito si illustrano le metodologie con le quali saranno determinati i valori prima citati; è necessario tenere presente che tali metodi sono riferiti al calcolo del "singolo palo" e per estendere tale modalità computazione al caso di "pali in gruppo" si farà ricorso ai "coefficienti d'efficienza", in questo modo si potrà tenere in debito conto l'interferenza reciproca che i pali esercitano.

### 3.2.1 CARICO LIMITE VERTICALE ALLA PUNTA DEL PALO

Il valore del carico limite verticale alla punta del palo, indipendentemente dal metodo utilizzato per la sua determinazione, è condizionato dalla modalità esecutiva. Esso varia notevolmente a seconda che il palo sia del tipo "infisso" o "trivellato" poiché le caratteristiche fisico-meccaniche del terreno circostante il palo variano in seguito alle operazioni d'installazione. Di conseguenza, per tenere conto della modalità esecutiva nel calcolo dei coefficienti di portanza, si propone di modificare il valore dell'angolo di resistenza a taglio secondo quanto suggerito da Kishida (1967):

$$\phi_{cor} = \frac{\phi + 40}{2} \quad (\text{per pali infissi}) \quad \phi_{cor} = \phi - 3^\circ \quad (\text{per pali trivellati})$$

Con la correzione di cui sopra si determineranno i fattori adimensionali di portanza che sono presenti nella relazione per la determinazione del carico limite verticale alla punta che assume la seguente espressione:

$$Q_p = A_p \cdot (q_p \cdot N_q^* + c \cdot N_c^*)$$

dove i simboli su riportati hanno il seguente significato:

- $A_p$  superficie portante efficace della punta del palo
- $q_p$  pressione del terreno presente alla punta del palo
- $c$  coesione del terreno alla punta del palo (nel caso di condizione non drenata  $c = c_u$ )
- $N_q^*, N_c^*$  fattori adimensionali di portanza funzione dell'angolo d'attrito interno  $j_{cor}$  del terreno già corretti

### 3.2.2 CARICO LIMITE VERTICALE LUNGO LA SUPERFICIE LATERALE DEL PALO

Il valore del carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo è dato dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali che si sviluppano all'interfaccia palo-terreno in condizioni limite:

$$Q_L = \int_{\Gamma} \tau_{lim} \cdot d\Gamma = \int_0^L (c_a + \sigma_h \cdot \text{tg}(\delta)) \cdot P_{lat} \cdot dz$$

dove i simboli sopra riportati hanno il seguente significato:

- $c_a$  adesione all'interfaccia terreno-palo alla generica profondità "z"
- $\sigma_h$  tensione orizzontale alla generica profondità "z"
- $\delta$  angolo di resistenza a taglio all'interfaccia terreno-palo alla generica profondità "z"
- $P_{lat}$  perimetro della sezione trasversale del palo alla generica profondità "z"
- $L$  sviluppo longitudinale del palo

Analogamente al carico limite alla punta, anche il valore del carico limite verticale lungo la superficie laterale del palo varia notevolmente a seconda che esso sia del tipo "infisso" o "trivellato" a causa del diverso comportamento del terreno circostante in palo. Conseguentemente i parametri sopra riportati

possono essere correlati da leggi diverse in funzione delle modalità di esecuzione del palo. Di seguito si descrivono quelle che sono state implementate.

Il valore della tensione orizzontale " $s_h$ " è correlato al valore della pressione verticale " $s_v$ " per mezzo del coefficiente di spinta orizzontale " $K_s$ " secondo la seguente relazione:

$$\sigma_h = \sigma_v \cdot K_s$$

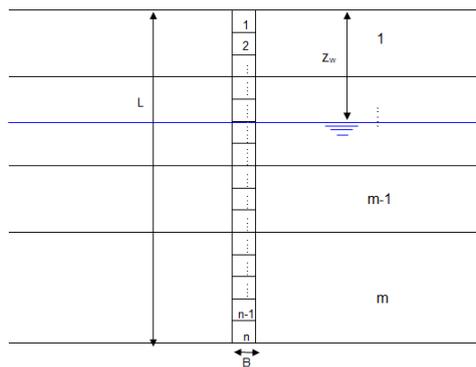
Il valore di " $K_s$ " dipende essenzialmente dal tipo di terreno e dal suo stato d'addensamento nonché dalla tecnologia utilizzata per l'installazione.

### 3.2.3 DETERMINAZIONE DEI CEDIMENTI DI FONDAZIONI PROFONDE

Per la determinazione del comportamento del palo singolo sottoposto a carichi applicati alla sommità, si fa riferimento all'approccio semiempirico delle curve di trasferimento (Coyle e Reese (1966)). Il metodo delle curve di trasferimento è basato su dati provenienti da prove di carico su pali strumentati; elaborando tali dati è possibile costruire le curve di trasferimento che legano la tensione tangenziale mobilitata all'interfaccia palo-terreno lungo un concio del palo con lo spostamento relativo.

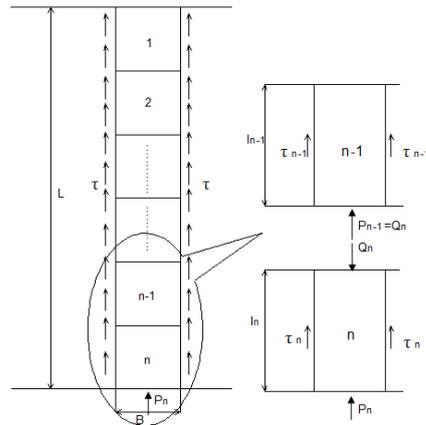
La curva di trasferimento si ottiene con una procedura che prevede i seguenti passi:

1. Suddivisione del palo in n conci



2. Definizione della resistenza limite del palo sulla base delle caratteristiche geometriche e delle caratteristiche del terreno. In presenza di terreno stratificato la resistenza sarà uguale alla sommatoria delle resistenze limite di ogni strato di terreno attraversato dal palo.
3. Si assegna all'estremità inferiore del palo (concio n) un cedimento  $W_p$ .
4. Si considera la curva di trasferimento appropriata (carico alla punta-cedimento) in base alla tecnologia costruttiva e al tipo di terreno presente e, noto il cedimento  $W_p$ , si ricava il carico alla punta  $P_n$ .

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**



5. Si ipotizza che il cedimento alla base del concio  $W_p$  sia uguale al cedimento  $W_n$  che si verifica a metà del concio ( $W_p = W_n$ ).
6. Con il valore di  $W_n$  si entra nell'appropriata curva di trasferimento (carico laterale-cedimento) e, nota la resistenza tangenziale limite, si ricava la tensione tangenziale mobilitata.
7. Il carico  $Q_n$  agente sulla sommità del concio n-esimo è dato da:

$$Q_n = P_n + t_n \pi B l$$

Dove:

$$l = \frac{L}{n}$$

8. Si calcola l'abbassamento elastico in corrispondenza della metà del concio n

$$V_n = \frac{Q_n + P_n}{2} \frac{2l}{\pi B^2 E_p}$$

9. Si somma il valore calcolato di  $V_n$  con il valore di cedimento  $W_p$  ipotizzato inizialmente:

$$W_n' = V_n + W_p$$

10. Se il valore  $W_n'$  differisce in maniera significativa dal valore di  $W_n$  si riparte da passo 3 entrando nella curva di trasferimento con il valore di  $W_n'$ .
11. Quando si ottiene la giusta convergenza si passa a considerare il concio (n-1) e così via fino ad arrivare alla testa del palo.

Il risultato di questa procedura è una curva carico-cedimento con la quale è possibile ricavare i cedimenti sulla base del carico applicato.

### 3.2.4 SIMBOLOGIA ADOTTATA NEI TABULATI DI CALCOLO

Per maggior chiarezza nella lettura dei tabulati di calcolo viene riportata la descrizione dei simboli principali utilizzati nella stesura degli stessi. Per comodità di lettura la legenda è suddivisa in paragrafi con la stessa modalità in cui sono stampati i tabulati di calcolo.

#### **Dati geometrici degli elementi costituenti le fondazioni profonde**

---

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**


---

- X elem.	ascissa nel riferimento globale dell'elemento
- Y elem.	ordinata nel riferimento globale dell'elemento
- Profon.	profondità del piano di posa dell'elemento a partire dal piano campagna
- Base	larghezza della sezione trasversale dell'elemento
- Lungh.	dimensione dello sviluppo longitudinale dell'elemento
- Altez.	altezza della sezione trasversale dell'elemento
- Rotaz.	rotazione dell'elemento rispetto al suo baricentro
- Grup. ap.	nel caso cui l'elemento faccia parte di una palificata, rappresenta il numero identificativo della stessa
- Ind. Strat.	indice della stratigrafia associata all'elemento
- Tip. iniez.	tipologia d'iniezione dei micropali ai fini del calcolo della portanza secondo le raccomandazioni di Bustamante e Doix (No iniez. = assenza d'iniezione, Iniez.uni. = iniezione unica, Iniez.rip. = iniezione ripetuta)
- Tip. ter.	tipologia di terreno ai fini del calcolo della portanza secondo le raccomandazioni di Bustamante e Doix (Coes. = coesivo, Inc. = incoerente)
- Dia. P.	diametro fusto del palo
- Lun. P.	lunghezza totale del palo
- Lun. L.	lunghezza tratto del palo senza contributo di terreno
- Dis. P.	distanza del baricentro del palo dal bordo del plinto
- In. Px	interasse principale del palo
- In. Py	interasse secondario del palo
- Dia. B.	diametro bulbo del palo
- Lun. B.	lunghezza della sbulbatura del palo
- E.C.V.	coefficiente d'efficienza per carico limite verticale del singolo palo
- E.C.C.	coefficiente d'efficienza per carico critico verticale del singolo palo
- E.C.T.	coefficiente d'efficienza per carico limite trasversale del singolo palo
- Svin. testa	codice di svincolo alla rotazione in testa al palo (0 = non attivo, 1 = attivo)
- Vin. piede	codici di vincolo rispettivamente alla rotazione orizzontale, traslazione orizzontale e traslazione verticale applicabili al piede del palo (0 = non attivo, 1 = attivo)
- Asc. X'	ascissa del baricentro del singolo palo dell'elemento nel riferimento locale con origine nel baricentro del plinto
- Asc. Y'	ordinata del baricentro del singolo palo dell'elemento nel riferimento locale con origine nel baricentro del plinto
- Peso spec.	peso specifico del palo
- Mod. El. Pa.	modulo elastico normale del palo

***Dati di carico degli elementi costituenti le fondazioni profonde***

- Cmb	numero della combinazione di carico
- Tipologia	tipologia della combinazione di carico
- Sismica	flag per l'applicazione della riduzione sismica alle caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione per la combinazione di carico in esame
- S. Normale	sollecitazione normale agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)
- S. Tagliante X'	sollecitazione tagliante lungo l'asse X' agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)
- S. Tagliante Y'	sollecitazione tagliante lungo l'asse Y' agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)
- S. Flessionale X'	sollecitazione flessionale lungo l'asse X' agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)

---

---

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**


---

- S. Flessionale Y' sollecitazione flessionale lungo l'asse Y' agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)
- S. Torsionale sollecitazione torsionale agente alla quota del piano di fondazione dell'elemento (riferimento locale con origine nel baricentro del plinto)

**Valori di calcolo per le fondazioni profonde**

- Port. punta carico limite verticale alla punta del palo (valore su singolo palo corretto dal relativo coefficiente d'efficienza)
- Port. lat. carico limite verticale lungo la superficie laterale del fusto del palo (valore su singolo palo corretto dal relativo coefficiente d'efficienza)
- Port. bulbo carico limite verticale lungo la superficie laterale del bulbo del palo (valore su singolo palo corretto dal relativo coefficiente d'efficienza)
- C. Critico carico critico per l'instabilità del palo (valore su singolo palo corretto dal relativo coefficiente d'efficienza)
- Attr. Neg. attrito negativo agente sul palo (valore su singolo palo)
- Peso Palo peso totale del singolo palo
- Cmb numero e tipologia della combinazione di carico
- S. Norm. sollecitazione normale agente alla testa del palo in esame
- V. V. Com. resistenza a compressione del palo in esame (corretto dal relativo coefficiente di sicurezza)
- V. V. Tra. resistenza a trazione del palo in esame (corretto dal relativo coefficiente di sicurezza)
- Ver. Com. rapporto tra la sollecitazione normale agente alla testa del palo e la sua resistenza a compressione (verifica positiva se il rapporto è  $< 1.0$ )
- Ver. Tra. rapporto tra la sollecitazione normale agente alla testa del palo e la sua resistenza a trazione (verifica positiva se il rapporto è  $< 1.0$ )
- S. Tagl. sollecitazione tagliante agente alla testa del palo
- S. Fles. sollecitazione flessionale agente alla testa del palo
- V. V. Trs. resistenza trasversale del palo in esame (corretto dal relativo coefficiente di sicurezza)
- Ver. Tra. rapporto tra la sollecitazione tagliante agente alla testa del palo e la sua resistenza trasversale (verifica positiva se il rapporto è  $< 1.0$ )
- Ced. V. cedimento verticale in corrispondenza della testa del palo
- Ced. H. cedimento orizzontale in corrispondenza della testa del palo

### 3.2.5 PARAMETRI DI CALCOLO

**Modalità di calcolo della portanza verticale per fondazioni profonde:**

Per elementi con pali: Portanza di punta e laterale

Per elementi con micropali: Portanza di punta e laterale

**Metodi di calcolo della portanza di punta per fondazioni profonde:**

Per terreni sciolti: Vesic

Riduzione della tensione litostatica: No

Per terreni lapidei: Terzaghi

Riduzione di Kishida per pali battuti o trivellati: Si

Metodo di calcolo del coefficiente di spinta orizzontale Ks: Tomlinson

**Coefficienti parziali e totali di sicurezza per Tensioni Ammissibili e S.L.E. nel calcolo della portanza per fondazioni profonde:**

Coeff. di sicurezza alla punta: 2,50  
 Coeff. di sicurezza lungo il fusto: 2,50  
 Coeff. di sicurezza lungo il bulbo: 2,50  
 Coeff. di sicurezza per palo in trazione: 2,50

**Combinazioni di carico:****APPROCCIO PROGETTUALE TIPO 2 - Comb. (A1+M1+R3)**

Coefficienti parziali e totali di sicurezza per S.L.U. nel calcolo della portanza per pali infissi:

I coeff. A1 risultano combinati secondo lo schema presente nella relazione di calcolo della struttura.

- Coeff. M1 per Tan  $\phi$  (statico): 1
- Coeff. M1 per c' (statico): 1,00
- Coeff. M1 per Cu (statico): 1,00
- Coeff. M1 per Tan  $\phi$  (sismico): 1,00
- Coeff. M1 per c' (sismico): 1,00
- Coeff. M1 per Cu sismico): 1,00
- Coeff. R3 base: 1,15
- Coeff. R3 laterale in compressione: 1,15
- Coeff. R3 laterale in trazione: 1,25
- Coeff. R3 trasversale: 1,30

Fattore di correlazione Verticale: 1,21

Fattore di correlazione Trasversale: 1,21

**ARCHIVIO STRATIGRAFIE**

Indice / Descrizione: 001 / Stratigrafia V00

Numero strati: 2

Profondità falda: 1500,00 cm

Strato n.	Quota di riferimento	Spessore	Indice / Descrizione terreno	Attrito Neg.
1	da 0,0 a -300,0 cm	300,0 cm	001 / Unità 1	Assente
2	da -300,0 a -1800,0 cm	1500,0 cm	002 / Unità 2	Assente

**ARCHIVIO TERRENI**

Indice / Descrizione terreno: **001 / Unità 1**

Comportamento del terreno: condizione drenata

Peso Spec.	P. Spec. Sat.	Angolo Res.	Coesione	Mod.Elast.	Mod.Edom.	Dens.Rel.	Poisson	C. Ades.
daN/cmc	daN/cmc	Gradi°	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	%	%	
1,500 E-3	1,700 E-3	28,000	0,000	25,249	40,000	60,0	0,347	1,00

Indice / Descrizione terreno: **002 / Unità 2**

Comportamento del terreno: condizione drenata

Peso Spec.	P. Spec. Sat.	Angolo Res.	Coesione	Mod.Elast.	Mod.Edom.	Dens.Rel.	Poisson	C. Ades.
daN/cmc	daN/cmc	Gradi°	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	%	%	
1,500 E-3	1,600 E-3	32,000	0,300	400,000	400,000	60,0	0,350	1,00

Autorizzazione Unica ai sensi del D.Lgs. 29 dicembre 2003, n. 387 per un impianto agrovoltico di superficie pari a 107,38 ha costituito da coltivazioni di patata novella, asparago, cavolo a foglia e erbai integrate ad un impianto fotovoltaico con tracker monoassiali (60 MWp) sito in località Vaccareccia nel Comune di Viterbo (VT)

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**

**DATI GEOMETRICI DEGLI ELEMENTI COSTITUENTI LE FONDAZIONI PROFONDE**

**Elemento: 3 - Palo singolo - Tipologia pali: infissi**

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.					
cm	cm	cm	cm	cm	cm	Gradi°	n.	n.					
635,0	120,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	3	001					
Dia. P.	Lun. P.	Lun. L.	Dist.P.	In. Px	In. Py	Dia. B.	Lun. B.	E.C.V.	E.C.C.	E.C.T.	Svin.testa	Vin.piede	
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm				codice	codice	
22,0	400,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00	0	0; 0; 0	
Palo	Asc. X'	Ord. Y'											
n.	cm	cm											
1	0,0	0,0											

**Elemento: 20 - Palo singolo - Tipologia pali: infissi**

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.					
cm	cm	cm	cm	cm	cm	Gradi°	n.	n.					
1735,0	120,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	20	001					
Dia. P.	Lun. P.	Lun. L.	Dist.P.	In. Px	In. Py	Dia. B.	Lun. B.	E.C.V.	E.C.C.	E.C.T.	Svin.testa	Vin.piede	
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm				codice	codice	
22,0	400,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00	0	0; 0; 0	
Palo	Asc. X'	Ord. Y'											
n.	cm	cm											
1	0,0	0,0											

**Elemento: 52 - Palo singolo - Tipologia pali: infissi**

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.					
cm	cm	cm	cm	cm	cm	Gradi°	n.	n.					
85,0	120,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	52	001					
Dia. P.	Lun. P.	Lun. L.	Dist.P.	In. Px	In. Py	Dia. B.	Lun. B.	E.C.V.	E.C.C.	E.C.T.	Svin.testa	Vin.piede	
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm				codice	codice	
22,0	400,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00	0	0; 0; 0	
Palo	Asc. X'	Ord. Y'											
n.	cm	cm											
1	0,0	0,0											

**Elemento: 53 - Palo singolo - Tipologia pali: infissi**

X elem.	Y elem.	Prof.	Base	Lungh.	Altez.	Rot.	Grup.ap.	Ind.strat.					
cm	cm	cm	cm	cm	cm	Gradi°	n.	n.					
1185,0	120,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	53	001					
Dia. P.	Lun. P.	Lun. L.	Dist.P.	In. Px	In. Py	Dia. B.	Lun. B.	E.C.V.	E.C.C.	E.C.T.	Svin.testa	Vin.piede	
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm				codice	codice	
22,0	400,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,00	1,00	1,00	0	0; 0; 0	
Palo	Asc. X'	Ord. Y'											
n.	cm	cm											
1	0,0	0,0											

**VALORI DI CALCOLO DELLA PORTANZA VERTICALE PER FONDAZIONI PROFONDE**

**Elemento: 3 - Palo singolo**

$N_q = 119.664$ ,  $spunta = 0.600$ ,  $\phi = 36.0$ ,  $N_c = 163.327$ ,  $c punta = 0.300$

Port. lat. = 4455.3 daN, Port. punta = 45918.7 daN, P.P.Palo = 215.2 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
012	SLU STR	1	0.000	0.000	770.2	3160.8	0,244	Ok

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
012	SLU STR	No	770.2	-37.4	-1876.9	713200.0	-4518.6

**Elemento: 20 - Palo singolo**

$N_q = 119.664$ ,  $Spunta = 0.600$ ,  $\phi = 36.0$ ,  $N_c = 163.327$ ,  $c punta = 0.300$

Port. lat. = 4455.3 daN, Port. punta = 45918.7 daN, P.P.Palo = 215.2 daN

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	N	N lim	Ver.N	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	daN		

Autorizzazione Unica ai sensi del D.Lgs. 29 dicembre 2003, n. 387 per un impianto agrovoltaiico di superficie pari a 107,38 ha costituito da coltivazioni di patata novella, asparago, cavolo a foglia e erbai integrate ad un impianto fotovoltaico con tracker monoassiali (60 MWp) sito in località Vaccareccia nel Comune di Viterbo (VT)

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**

011	SLU STR	1	0.000	0.000	400.1	3160.8	0,127	Ok
Sollecitazioni:								
<b>Cmb</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sism.</b>	<b>N</b>	<b>Tx</b>	<b>Ty</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm	
011	SLU STR	No	400.1	-141.2	-1064.7	443500.0	-14290.0	

**Elemento: 52 - Palo singolo**

$N_q = 119.664$ ,  $Spunta = 0.600$ ,  $\varphi = 36.0$ ,  $N_c = 163.327$ ,  $c punta = 0.300$

Port. lat. = 4455.3 daN, Port. punta = 45918.7 daN, P.P.Palo = 215.2 daN

<b>Cmb.</b>	<b>Tipo</b>	<b>Palo</b>	<b>coord.X</b>	<b>coord.Y</b>	<b>N</b>	<b>N lim</b>	<b>Ver.N</b>	<b>Stato</b>
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
011	SLU STR	1	0.000	0.000	400.1	3160.8	0,127	Ok
Sollecitazioni:								
<b>Cmb</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sism.</b>	<b>N</b>	<b>Tx</b>	<b>Ty</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm	
011	SLU STR	No	400.1	141.2	-1064.7	443500.0	14290.0	

**Elemento: 53 - Palo singolo**

$N_q = 119.664$ ,  $Spunta = 0.600$ ,  $\varphi = 36.0$ ,  $N_c = 163.327$ ,  $c punta = 0.300$

Port. lat. = 4455.3 daN, Port. punta = 45918.7 daN, P.P.Palo = 215.2 daN

<b>Cmb.</b>	<b>Tipo</b>	<b>Palo</b>	<b>coord.X</b>	<b>coord.Y</b>	<b>N</b>	<b>N lim</b>	<b>Ver.N</b>	<b>Stato</b>
n.		n.	cm	cm	daN	daN		
012	SLU STR	1	0.000	0.000	770.2	3160.8	0,244	Ok
Sollecitazioni:								
<b>Cmb</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sism.</b>	<b>N</b>	<b>Tx</b>	<b>Ty</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm	
012	SLU STR	No	770.2	37.4	-1876.9	713200.0	4518.6	

**VALORI DI CALCOLO DEI CEDIMENTI PER FONDAZIONI PROFONDE**

**Elemento: 3 - Palo singolo**

<b>Cmb. (Tipo)</b>	<b>Palo</b>	<b>coord.X</b>	<b>coord.Y</b>	<b>N</b>	<b>Ced.Vert</b>		
n.	n.	cm	cm	daN	cm		
147 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-922.8	0.016		
Sollecitazioni:							
<b>Cmb</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sism.</b>	<b>N</b>	<b>Tx</b>	<b>Ty</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
147	SLE rare	No	-922.8	26.0	563.4	-214100.0	3045.5

**Elemento: 20 - Palo singolo**

<b>Cmb. (Tipo)</b>	<b>Palo</b>	<b>coord.X</b>	<b>coord.Y</b>	<b>N</b>	<b>Ced.Vert</b>		
n.	n.	cm	cm	daN	cm		
148 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-650.4	0.012		
Sollecitazioni:							
<b>Cmb</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sism.</b>	<b>N</b>	<b>Tx</b>	<b>Ty</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
148	SLE rare	No	-650.4	102.2	319.6	-133100.0	9750.4

**Elemento: 52 - Palo singolo**

<b>Cmb. (Tipo)</b>	<b>Palo</b>	<b>coord.X</b>	<b>coord.Y</b>	<b>N</b>	<b>Ced.Vert</b>		
n.	n.	cm	cm	daN	cm		
148 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-650.4	0.012		
Sollecitazioni:							
<b>Cmb</b>	<b>Tipo</b>	<b>Sism.</b>	<b>N</b>	<b>Tx</b>	<b>Ty</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
148	SLE rare	No	-650.4	-102.2	319.6	-133100.0	-9750.4

**Elemento: 53 - Palo singolo**

<b>Cmb. (Tipo)</b>	<b>Palo</b>	<b>coord.X</b>	<b>coord.Y</b>	<b>N</b>	<b>Ced.Vert</b>
n.	n.	cm	cm	daN	cm
147 (SLE rare)	1	0.000	0.000	-922.8	0.016
Sollecitazioni:					

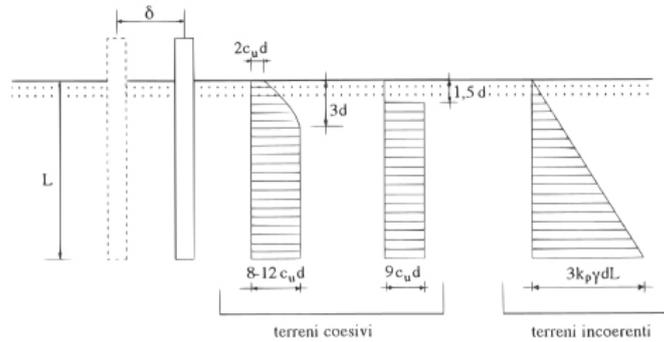
**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**

Cmb n.	Tipo	Sism.	N daN	Tx daN	Ty daN	Mx daN cm	My daN cm
147	SLE rare	No	-922.8	-26.0	563.4	-214100.0	-3045.5

**3.3 VALORI DI CALCOLO DELLA PORTANZA ORIZZONTALE PER FONDAZIONI PROFONDE**

L'analisi del carico limite dei pali di fondazione sotto un'azione orizzontale è stata eseguita utilizzando il metodo proposto da BROMS

La valutazione del carico limite per effetto di un'azione orizzontale dipende anche dalla resistenza strutturale. Supponendo che il palo trasli rigidamente di una quantità  $\delta$ , ai fini delle analisi, la reazione del terreno può essere assunta costante con la profondità (si veda immagine seguente).



Il carico orizzontale ultimo secondo il modello di Broms viene ricavato imponendo l'equilibrio delle forze e dei momenti. Sotto queste ipotesi meccanismi di rottura che si possono verificare sono di due tipi:

- rottura a palo lungo;
- rottura a palo corto.

La condizione di palo corto, che va verificata, si ha nel caso in cui il momento flettente massimo  $M_{max}$  agente sul palo sia minore del momento di plasticizzazione  $M_y$  del palo stesso. Nel caso in cui tale condizione non sia rispettata si ha che il cinematismo di collasso è "a palo lungo".

**Elemento: 3 - Palo singolo**

Cmb n.	Tipo	Palo n.	coord.X cm	coord.Y cm	Ved daN	Mecc.	Mu daN cm	V lim daN	Ver.V	Stato
012	SLU STR	1	0.000	0.000	1877.3	P. Lungo	2018175.0	2592.5	0,724	Ver. OK

Sollecitazioni:

Cmb n.	Tipo	Sism.	N daN	Tx daN	Ty daN	Mx daN cm	My daN cm
012	SLU STR	No	770.2	-37.4	-1876.9	713200.0	-4518.6

**Elemento: 20 - Palo singolo**

Cmb n.	Tipo	Palo n.	coord.X cm	coord.Y cm	Ved daN	Mecc.	Mu daN cm	V lim daN	Ver.V	Stato
011	SLU STR	1	0.000	0.000	1074.0	P. Lungo	2018175.0	2444.7	0,439	Ver. OK

Sollecitazioni:

Cmb n.	Tipo	Sism.	N daN	Tx daN	Ty daN	Mx daN cm	My daN cm
011	SLU STR	No	400.1	-141.2	-1064.7	443500.0	-14290.0

AGROVOLTAICO VITERBO - VITERBO (VT)

Autorizzazione Unica ai sensi del D.Lgs. 29 dicembre 2003, n. 387 per un impianto agrovoltaiico di superficie pari a 107,38 ha costituito da coltivazioni di patata novella, asparago, cavolo a foglia e erbai integrate ad un impianto fotovoltaico con tracker monoassiali (60 MWp) sito in località Vaccareccia nel Comune di Viterbo (VT)

**R.3 - Calcoli preliminari dimensionamento strutture e fondazioni**

**Elemento: 52 - Palo singolo**

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	Ved	Mecc.	Mu	V lim	Ver.V	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	-	daN cm	daN		
011	SLU STR	1	0.000	0.000	1074.0	P. Lungo	2018175.0	2444.7	0,439	Ver. OK

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
011	SLU STR	No	400.1	141.2	-1064.7	443500.0	14290.0

**Elemento: 53 - Palo singolo**

Cmb.	Tipo	Palo	coord.X	coord.Y	Ved	Mecc.	Mu	V lim	Ver.V	Stato
n.		n.	cm	cm	daN	-	daN cm	daN		
012	SLU STR	1	0.000	0.000	1877.3	P. Lungo	2018175.0	2592.5	0,724	Ver. OK

Sollecitazioni:

Cmb	Tipo	Sism.	N	Tx	Ty	Mx	My
n.			daN	daN	daN	daN cm	daN cm
012	SLU STR	No	770.2	37.4	-1876.9	713200.0	4518.6