



REGIONE DEL VENETO



Provincia di Rovigo



Comune di Adria

Proponente:

SUNCO SUN RED S.r.l.

Via Melchiorre Gioia, 8 - 20124 Milano - Italy
pec: suncosunredsr@legalmail.it

SUNCO.
CAPITAL

Progetto Definitivo

Denominazione progetto:

REALIZZAZIONE IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"

Potenza nominale complessiva = 39.195 kWp

Sito in:

COMUNE DI ADRIA (RO)

Titolo elaborato:

Relazione preliminare di calcolo delle strutture



Elaborato n. T-CST0

Scala -

Responsabile Coordinamento progetto : dott.ssa agr. Eliana Santoro

TIMBRI E FIRME:

Progettisti :



FLYREN
THE CULTURE OF CLEAN ENERGY

Collaboratori :



REV.:	REDAZIONE:	CONTROLLO:	APPROVAZIONE :	DATA:
00	Ing. Mauro Aires / Ing. Stefano Corrù	Ing. Laura Maria Conti	Ing. Massimiliano Marchica	13/03/2024
01				
02				
03				
04				
05				

FIRMA/TIMBRO
COMMITTENTE:

SUNCO.
CAPITAL



FLYREN
THE CULTURE OF CLEAN ENERGY

Flyren Development S.r.l.
Lungo Po Antonelli, 21 - 10153 Torino (TO)
tel: 011/ 8123575 - fax: 011/ 8127528
email: info@flyren.eu
web: www.flyren.eu
C.F. / P. IVA n. 12062400010

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 1 di 60

SOMMARIO

PREMESSA	2
1. NORMATIVE	3
2. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	3
3. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEI MODULI FOTOVOLTAICI	3
4. AZIONI AGENTI SUI MODULI FOTOVOLTAICI	6
4.1. AZIONE DEL VENTO	6
4.2. AZIONE DELLA NEVE	8
4.3. AZIONE SISMICA	10
5. CARATTERISTICHE PROGRAMMA DI CALCOLO	11
5.1. DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA SISMICAD	11
5.2. VERIFICA DELLE MEMBRATURE IN ACCIAIO	12
6. PREDIMENSIONAMENTO DEI PALI DI FONDAZIONE	13
6.1. FORZE DI CALCOLO AGENTI SULLE FONDAZIONI	13
6.2. VERIFICHE PRELIMINARI DEI PALI	14
7. ALLEGATO 01 - DATI DI DEFINIZIONE STRUTTURE PANNELLI FOTOVOLTAICI	15
7.1. DATI DI DEFINIZIONE	16
7.1.1. SPETTRI D.M. 17-01-18	16
7.1.2. PREFERENZE DI VERIFICA	20
7.1.3. PREFERENZE FEM	20
7.1.4. MULTIPLICATORI INERZIALI	21
7.1.5. PREFERENZE DI ANALISI NON LINEARE FEM	21
7.1.6. PREFERENZE DI ANALISI CARICHI SUPERFICIALI	21
7.1.7. PREFERENZE DEL SUOLO	21
7.2. QUOTE	23
7.2.1. LIVELLI	23
7.2.2. FALDE	23
7.2.3. TRONCHI	23
8. ALLEGATO 02 - SEZIONI E MATERIALI	25
8.1. DATI GENERALI	26
8.1.1. MATERIALI	26
8.1.1.1. Acciai	26
8.2. SEZIONI	28
8.2.1. SEZIONI IN ACCIAIO	28
9. ALLEGATO 03 - VERIFICHE STRUTTURE DI SOSTEGNO PANNELLI FOTOVOLTAICI	31
9.1. VERIFICHE	32
9.1.1. VERIFICHE SUPERELEMENTI ASTE ACCIAIO LAMINATE	32
9.2. VERIFICHE VELA IN POSIZIONE ORIZZONTALE	34
9.2.1. SUPERELEMENTO IN ACCIAIO "FONDAZIONE" - "TESTA MONTANTE" FILO 30	34
9.2.2. SUPERELEMENTO IN ACCIAIO A "TESTA MONTANTE" 8-30	38
9.2.3. SUPERELEMENTO IN ACCIAIO A "FONDAZIONE" - "TESTA MONTANTE"	41
9.2.4. SUPERELEMENTO IN ACCIAIO A "TESTA MONTANTE" 22-23	44
9.3. VERIFICHE VELA IN POSIZIONE INCLINATA	47
9.3.1. SUPERELEMENTO IN ACCIAIO "FONDAZIONE" - "TESTA MONTANTE" FILO 28	47
9.3.2. SUPERELEMENTO IN ACCIAIO A "TESTA MONTANTE" 28-36	51
9.3.3. SUPERELEMENTO IN ACCIAIO A "FONDAZIONE" - "TESTA MONTANTE"	54
9.3.4. SUPERELEMENTO IN ACCIAIO A "FONDAZIONE" - "TESTA MONTANTE"	56
10. ALLEGATO 04 - VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PALI	60

Premessa

Il progetto in questione prevede la realizzazione, attraverso la società di scopo SUNCO SUN RED S.r.L., di un impianto di produzione energetica sostenibile da realizzarsi sul territorio del Comune di Adria, nella frazione Bellombra (RO).

Il terreno interessato dall'intervento, situato nella zona Sud del territorio comunale, è collocato in un'area ad uso agricolo: il progetto in esame prevede la realizzazione di un impianto esteso su una superficie pari a 61,46 ettari circa, suddiviso in due sottoaree.

L'impianto immetterà energia elettrica in rete a 36 kV attraverso i punti di connessione di cui alle STMG del Gestore di Rete Terna aventi codici di rintracciabilità 202301974 e 202301975.



Figura 1. Ubicazione dell'impianto, (verde=perimetro aree impianto; rosso=tracciato di connessione)

La tecnologia impiantistica prevede l'installazione di moduli fotovoltaici bifacciali che saranno installati su strutture mobili (tracker) di tipo monoassiale mediante palo infisso nel terreno.

Le strutture saranno posizionate in maniera da consentire un eventuale sfruttamento agricolo ottimale del terreno. Le strutture presentano un passo di 12,00 m per garantire la giusta illuminazione al terreno, mentre i pannelli sono distribuiti in maniera da limitare al massimo l'ombreggiamento. Sarà utilizzata una sola tipologia di strutture da 30 moduli.

La presente relazione ha come scopo il predimensionamento delle strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici e delle relative opere di fondazione.

Il proponente dell'iniziativa è la Società SUNCO SUN RED S.r.l.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 3 di 60

1. Normative

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 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.

Eurocodice 3 UNI ENV 1993-1-1:1994, Eurocodice 3 UNI EN 1993-1-1:2014 Luglio 2014, Eurocodice 3 UNI ENV 1993-1-3:2000, Eurocodice 3 UNI EN 1993-1-3:2007 Gennaio 2007, Eurocodice 3 EN 1993-1-8:2005

2. Caratteristiche dei Materiali

Le caratteristiche dei materiali impiegati nei calcoli sono le seguenti:

- Acciaio strutturale per strutture di sostegno pannelli fotovoltaici: S235.

3. Caratteristiche Geometriche dei Moduli Fotovoltaici

I moduli fotovoltaici previsti nel sito di progetto sono costituiti da pannelli fotovoltaici di dimensioni indicative 1303 mm x 2384 mm predisposti lungo il lato corto su doppia fila. Il portale adottato presenta uno sviluppo complessivo pari a 20,55 mentre la parte interessata dalla posa dei pannelli fotovoltaici presenta uno sviluppo complessivo pari a 20,55 m per un numero complessivo di pannelli pari a 30. La vela così ottenuta risulta del tipo mobile con una inclinazione variabile da - 60° a + 60°. Si adotta una sola tipologia di portale al fine di ottimizzare al massimo l'efficienza dell'impianto.

L'altezza massima dei montanti risulta pari a 252,7 cm. Nella posizione con vela inclinata (inclinazione 60°) l'altezza da terra del punto più basso della struttura risulta essere di 0,494 m con un'altezza massima della vela di 4,761 m. [rif. **Figura 2:** Geometria portale di sostegno pannelli fotovoltaici; **Figura 3:** Sezione trasversale portale].

Struttura 2x15

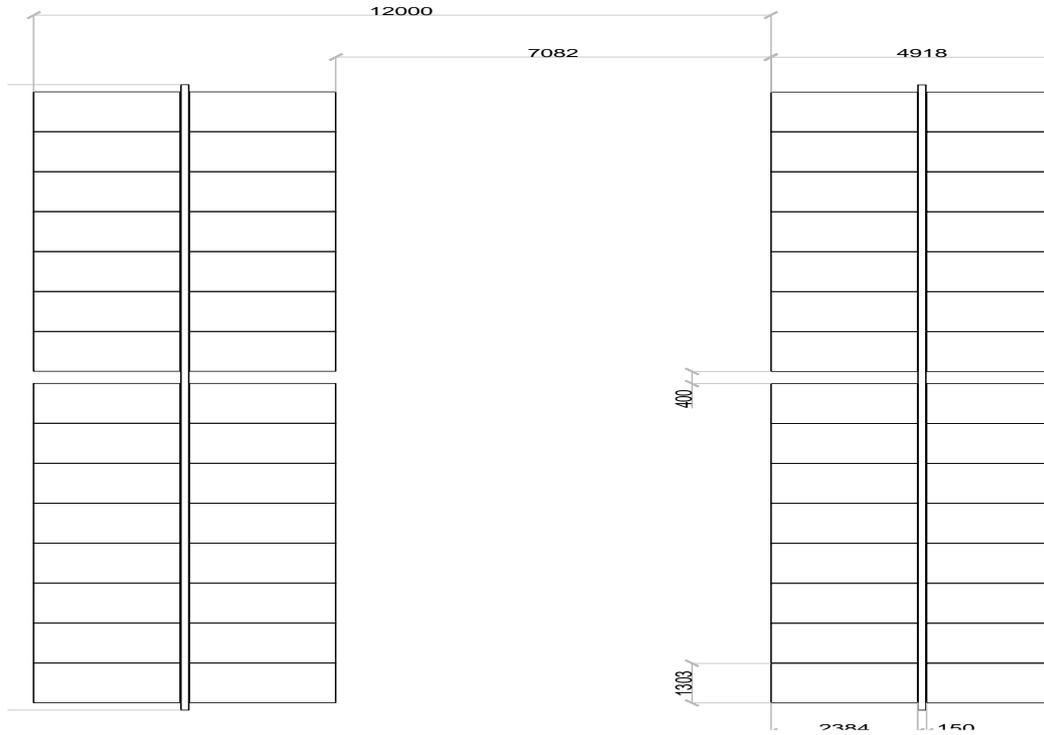


Figura 2. Geometria del portale di sostegno pannelli fotovoltaici

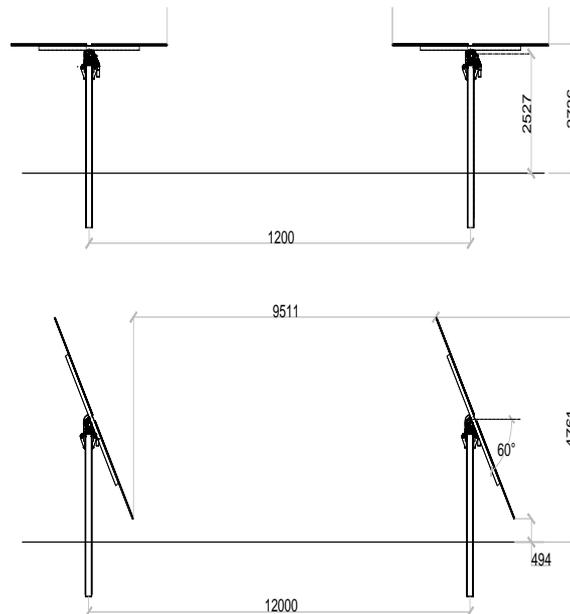


Figura 3. Sezione trasversale portale

La fondazione della struttura di sostegno dei pannelli fotovoltaici sarà costituita da profili in acciaio infissi nel terreno per una profondità minima come da verifiche nel seguito riportate e comunque tale da garantire la stabilità della "vela" costituita dall'insieme dei pannelli e della struttura a sostegno.

Lo schema statico utilizzato per le verifiche, che presenta caratteristiche tecnico-costruttive analoghe a quelle desumibili dai prodotti commerciali più comunemente utilizzati per impianti FV simili a quello in oggetto, risulta essere il seguente:

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 5 di 60

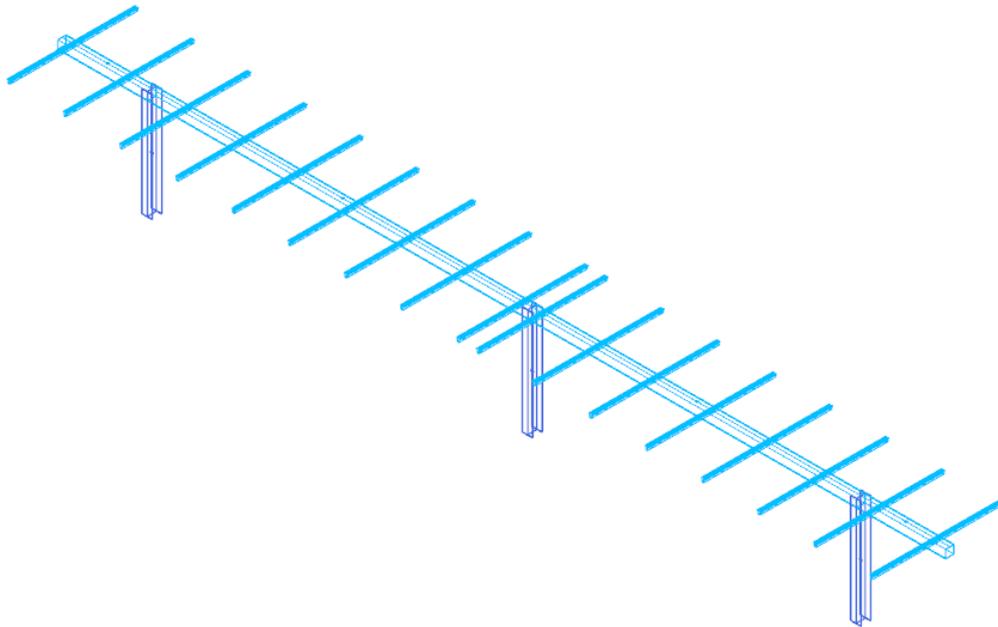


Figura 4. Vista assonometrica modello strutturale con posizione della "vela" orizzontale

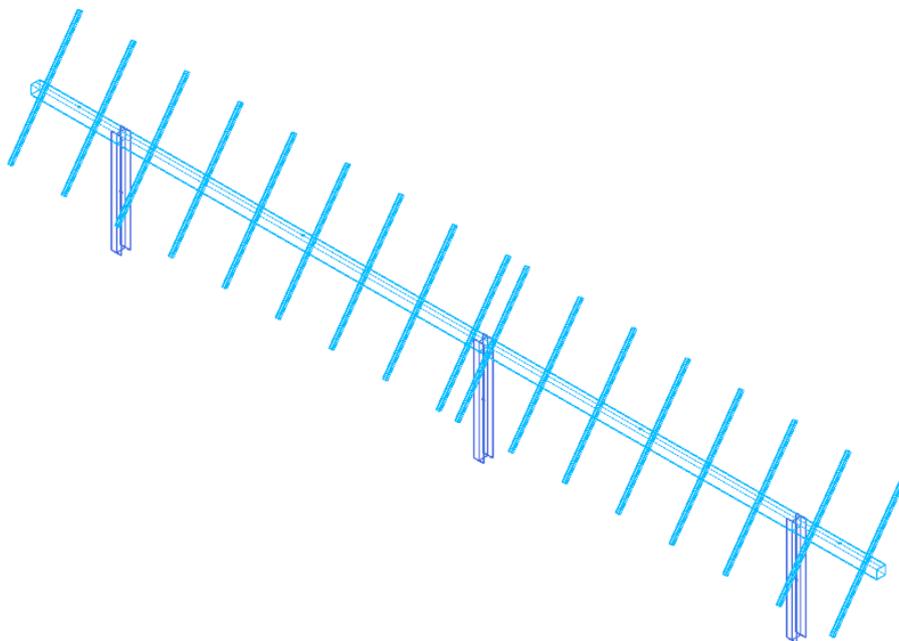


Figura 5. Vista assonometrica modello strutturale con posizione della "vela" inclinata di 60°

La struttura di sostegno dei pannelli mobile è costituita dai seguenti profilati riportati in Tabella 1

Tabella 1 – Dati geometrici profili in acciaio struttura di sostegno pannelli

Elemento	Sezione	Materiale
Montanti	HEB 240	Acciaio S235
Traversi	Tubi rettangolari 220x220x10 [dimensioni in mm]	Acciaio S235
Elementi di sostegno pannelli	Profili OMEGA 80x40x25x3 [dimensioni in mm]	Acciaio S235

Il portale in progetto presenta tre montanti con interassi pari a 8,80 m e 7,60 mt.

4. Azioni agenti sui moduli fotovoltaici

4.1. Azione del Vento

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando effetti dinamici.

Per le costruzioni tali azioni sono generalmente ricondotte alle azioni statiche equivalenti descritte in seguito.

Velocità di Riferimento

La determinazione dell'azione del vento sulla costruzione parte dall'individuazione della velocità di riferimento v_b , definita come il valore caratteristico della velocità misurata a 10 metri dal suolo su un intervallo di tempo di 10 minuti del vento; tale velocità corrisponde ad un periodo di ritorno di $T = 50$ anni.

Otterremo quindi, dai dati forniti dalla tabella relativa i parametri di macrozonazione per il vento, tratta dalle "Norme tecniche per le costruzioni", il seguente valore:

$v_b = 25$ m/s (valore per la ZONA 1)

Coefficiente di esposizione (microzonazione)

Il coefficiente di esposizione C_e dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge l'impianto fotovoltaico.

Per altezze sul suolo non maggiori di $z = 200$ m, esso è dato dalla seguente formula:

- $C_e(z) = C_e(z_{min})$ per $z < z_{min}$
- $C_e(z) = k_{r2} * C_{t0} * \ln(z/z_0) * [7 + C_{t0} * \ln(z/z_0)]$ per $z \geq z_{min}$

dove k_r , z_0 e z_{min} sono assegnati nella seguente tabella:

Tabella 2. Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

Categoria di esposizione del sito	k_r	z_0 (m)	z_{min} (m)
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

In mancanza di analisi specifiche che tengano conto sia della direzione di provenienza del vento sia delle variazioni di rugosità e topografia del terreno, la categoria di esposizione è assegnata in funzione della posizione geografica dell'area di progetto e della classe di rugosità definita nella tabella seguente.

Tabella 3. Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 metri
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri recinzioni,); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	Aree prive di ostacoli (aperta campagna aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi, ...)

Prendendo atto che il sito è caratterizzato da classe di rugosità D e in prossimità della costa, per la Zona 1 le tabelle delle "Norme tecniche per le costruzioni" ci indicano, per l'area di progetto, una categoria di esposizione di classe I.

Dalle curve per il calcolo del coefficiente di esposizione contenute nelle "Norme tecniche per le costruzioni" si giunge quindi alla conclusione che C_e risulterà pari a 1,87 nel punto più alto, ovvero 4,761 mt con vela inclinata di 60°, e 1,80 lungo lo sviluppo del montante.

Coefficiente dinamico

Il coefficiente dinamico C_d tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura.

Esso, nel caso in oggetto, può essere assunto pari a 1.

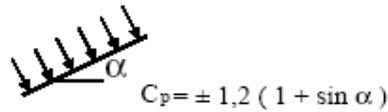
Coefficiente di Forma

Il coefficiente di forma C_p è stato determinato considerando che la vela può essere assimilata a una tettoia o pensilina ad un solo spiovente piano con angolo di inclinazione pari a 60°.

$$C_p = \pm 1.2 (1 + \sin \alpha)$$

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 8 di 60

Uno spiovente piano



Esso, nel caso in oggetto, può essere assunto pari a $\pm 2,24$.

Pressione cinetica di riferimento

La pressione cinetica di riferimento q_b è data dall'espressione:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho * (v_b)^2$$

dove:

- v_b è la velocità di riferimento del vento [m/s]
- ρ è la densità dell'aria che può essere assunta pari a $1,25 \text{ Kg/m}^3$

Nel nostro caso avremo **$q_b = 391,20 \text{ N/mq}$** .

Pressione del Vento

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_b * c_e * c_p * c_d$$

dove:

- q_b è la pressione cinetica di riferimento [N/m²]
- c_e è il coefficiente di esposizione
- c_d è il coefficiente dinamico
- c_p è il coefficiente di forma

Nel nostro caso avremo un valore **$p = \pm 1,64 \text{ kN/m}^2$** .

Azioni statiche equivalenti.

Le azioni statiche del vento sono costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono l'impianto.

L'azione del vento sul singolo elemento, scomposta secondo la direzione verticale e orizzontale, viene determinata considerando la condizione più gravosa della pressione agente sulla superficie esterna o della pressione agente sulla superficie interna dell'elemento incrementando la pressione esercitata dal vento.

4.2. Azione della neve

Il carico provocato dalla neve sui pannelli sarà valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i * q_{sk} * C_e * C_t$$

dove:

- q_s è il carico neve sulla copertura
- μ_i è il coefficiente di forma della copertura
- q_{sk} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m²] per un periodo di ritorno di 50 anni

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 9 di 60

- CE è il coefficiente di esposizione
- Ct è il coefficiente termico

Si ipotizza che il carico neve agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

Valore caratteristico del carico neve al suolo

Il carico neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona.

Per la determinazione del carico neve si fa riferimento ai seguenti valori, indicativi per la zona nella quale ricade l'area di progetto:

- $q_{sk} = 1,00 \text{ [kN/m}^2\text{]}$ $as \leq 200 \text{ m}$
- $q_{sk} = 0,85 * [1 + (as / 481)^2] \text{ [kN/m}^2\text{]}$ $as \geq 200 \text{ m}$

dove as rappresenta la quota sul livello del mare.

Per il sito in esame si ha un valore di q_{sk} pari a **1,00 kN/m²**.

Coefficiente di esposizione

Il coefficiente di esposizione CE può essere utilizzato per modificare il valore del carico neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'impianto.

Valori consigliati del coefficiente di esposizione per diverse classi di topografia sono forniti nella tabella seguente. Nel caso in questione si assegna a CE un valore pari a 0,9.

Tabella 4. Valori di Ce per diverse classi di topografia

Topografia	Descrizione	C_E
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati senza costruzioni o alberi più alti	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o accerchiata da costruzioni o alberi più bassi	1,1

Coefficiente Termico

Il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione.

Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. Nel caso in esame viene utilizzato CT = 1

Coefficiente di Forma

Il coefficiente di forma μ_i , determinato in riferimento all'angolo formato dai moduli con l'orizzontale. Considerando che i pannelli risultano fissi rispetto all'orizzontale con inclinazione di 25° si è determinato un valore μ_i pari a 0,80.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 10 di 60

Calcolo del Carico Neve

Considerando tutti i parametri utili al calcolo del carico neve, definito in precedenza dalla formula:

$$q_s = \mu_i * q_{sk} * CE * Ct$$

avremo un valore di pari a **0,80 kN/m²**.

4.3. Azione Sismica

Ai fini dell'analisi sismica i parametri utilizzati per la determinazione dell'azione sismica sono:

Metodo di analisi	D.M. 17-01-18 (N.T.C.)
Tipo di costruzione	2 - Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari
Vn	50
Classe d'uso	II
Vr	50
Tipo di analisi	Lineare dinamica
Considera sisma Z	Solo se $A_g \geq 0.15$ g, conformemente a §3.2.3.1
Località	Rovigo, Adria, Corcreva'; Latitudine ED50 45,0322° (45° 1' 56"); Longitudine ED50 12,0354° (12° 2' 7"); Altitudine s.l.m. -2,51 m.
Categoria del suolo	C – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti
Categoria topografica	T1 - Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
Ss orizzontale SLD	1,5
Tb orizzontale SLD	0.141 [s]
Tc orizzontale SLD	0.422 [s]
Td orizzontale SLD	1.729 [s]
Ss orizzontale SLV	1,5
Tb orizzontale SLV	0.176 [s]
Tc orizzontale SLV	0.527 [s]
Td orizzontale SLV	1.843 [s]
St	1
PVr SLD (%)	63
Tr SLD	50
Ag/g SLD	0.0322
Fo SLD	2.512
Tc* SLD	0.256 [s]
PVr SLV (%)	10
Tr SLV	475
Ag/g SLV	0.0606
Fo SLV	2.75
Tc * SLV	0.353

Gli spettri di risposta utilizzati per le verifiche sismiche conseguenti alle assunzioni sopra evidenziate sono riportati in "ALLEGATO 1 – Dati di definizione delle strutture"

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 11 di 60

5. CARATTERISTICHE PROGRAMMA DI CALCOLO

5.1. Descrizione del Programma Sismicad

Si tratta di un programma di calcolo strutturale che nella versione più estesa è dedicato al progetto e verifica degli elementi in cemento armato, acciaio, muratura e legno di opere civili. Il programma utilizza come analizzatore e solutore del modello strutturale un proprio solutore agli elementi finiti tridimensionale fornito col pacchetto. Il programma è sostanzialmente diviso in tre moduli: un pre processore che consente l'introduzione della geometria e dei carichi e crea il file dati di input al solutore; il solutore agli elementi finiti; un post processore che a soluzione avvenuta elabora i risultati eseguendo il progetto e la verifica delle membrature e producendo i grafici ed i tabulati di output.

Denominazione del software: Sismicad 12.22

Produttore del software: Concrete

Concrete srl, via della Pieve, 19, 35121 PADOVA - Italy

<http://www.concrete.it>

Rivenditore: CONCRETE SRL - Via della Pieve 19 - 35121 Padova - tel.049-8754720

Versione: 12.22

Identificatore licenza: SW-8672175

Intestatario della licenza: Montana S.p.a. - Via A. Fumagalli, 6 - Milano

Versione regolarmente licenziata

Il programma schematizza la struttura attraverso l'introduzione nell'ordine di fondazioni, poste anche a quote diverse, platee, platee nervate, plinti e travi di fondazione poggianti tutte su suolo elastico alla Winkler, di elementi verticali, pilastri e pareti in c.a. anche con fori, di orizzontamenti costituiti da solai orizzontali e inclinati (falde), e relative travi di piano e di falda; è ammessa anche l'introduzione di elementi prismatici in c.a. di interpiano con possibilità di collegamento in inclinato a solai posti a quote diverse. I nodi strutturali possono essere connessi solo a travi, pilastri e pareti, simulando così impalcati infinitamente deformabili nel piano, oppure a elementi lastra di spessore dichiarato dall'utente simulando in tal modo impalcati a rigidità finita. I nodi appartenenti agli impalcati orizzontali possono essere connessi rigidamente ad uno o più nodi principali giacenti nel piano dell'impalcato; generalmente un nodo principale coincide con il baricentro delle masse. Tale opzione, oltre a ridurre significativamente i tempi di elaborazione, elimina le approssimazioni numeriche connesse all'utilizzo di elementi lastra quando si richiede l'analisi a impalcati infinitamente rigidi. Per quanto concerne i carichi, in fase di immissione dati, vengono definite, in numero a scelta dell'utente, condizioni di carico elementari le quali, in aggiunta alle azioni sismiche e variazioni termiche, vengono combinate attraverso coefficienti moltiplicativi per fornire le combinazioni richieste per le verifiche successive. L'effetto di disassamento delle forze orizzontali, indotto ad esempio dai torcenti di piano per costruzioni in zona sismica, viene simulato attraverso l'introduzione di eccentricità planari aggiuntive le quali costituiscono ulteriori condizioni elementari di carico da cumulare e combinare secondo i criteri del paragrafo precedente. Tipologicamente sono ammessi sulle travi e sulle pareti carichi uniformemente distribuiti e carichi trapezoidali; lungo le aste e nei nodi di incrocio delle membrature sono anche definibili componenti di forze e coppie concentrate comunque dirette nello spazio. Sono previste distribuzioni di temperatura, di intensità a scelta dell'utente, agenti anche su singole porzioni di struttura. Il calcolo delle sollecitazioni si basa sulle seguenti ipotesi e modalità: - travi e pilastri deformabili a sforzo normale, flessione deviata, taglio deviato e momento torcente. Sono previsti coefficienti riduttivi dei momenti di inerzia a scelta dell'utente

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 12 di 60

per considerare la riduzione della rigidità flessionale e torsionale per effetto della fessurazione del conglomerato cementizio. È previsto un moltiplicatore della rigidità assiale dei pilastri per considerare, se pure in modo approssimato, l'accorciamento dei pilastri per sforzo normale durante la costruzione. - le travi di fondazione su suolo alla Winkler sono risolte in forma chiusa tramite uno specifico elemento finito; - le pareti in c.a. sono analizzate schematizzandole come elementi lastra-piastra discretizzati con passo massimo assegnato in fase di immissione dati; - le pareti in muratura possono essere schematizzate con elementi lastra-piastra con spessore flessionale ridotto rispetto allo spessore membranale.- I plinti su suolo alla Winkler sono modellati con la introduzione di molle verticali elastoplastiche. La traslazione orizzontale a scelta dell'utente è bloccata o gestita da molle orizzontali di modulo di reazione proporzionale al verticale. - I pali sono modellati suddividendo l'asta in più aste immerse in terreni di stratigrafia definita dall'utente. Nei nodi di divisione tra le aste vengono inserite molle assialsimmetriche elastoplastiche precaricate dalla spinta a riposo che hanno come pressione limite minima la spinta attiva e come pressione limite massima la spinta passiva modificabile attraverso opportuni coefficienti. - i plinti su pali sono modellati attraverso aste di rigidità elevata che collegano un punto della struttura in elevazione con le aste che simulano la presenza dei pali;- le piastre sono discretizzate in un numero finito di elementi lastra-piastra con passo massimo assegnato in fase di immissione dati; nel caso di platee di fondazione i nodi sono collegati al suolo da molle aventi rigidità alla traslazione verticale ed richiesta anche orizzontale.- La deformabilità nel proprio piano di piani dichiarati non infinitamente rigidi e di falde (piani inclinati) può essere controllata attraverso la introduzione di elementi membranali nelle zone di solaio. - I disassamenti tra elementi asta sono gestiti automaticamente dal programma attraverso la introduzione di collegamenti rigidi locali.- Alle estremità di elementi asta è possibile inserire svincolamenti tradizionali così come cerniere parziali (che trasmettono una quota di ciò che trasmetterebbero in condizioni di collegamento rigido) o cerniere plastiche.- Alle estremità di elementi bidimensionali è possibile inserire svincolamenti con cerniere parziali del momento flettente avente come asse il bordo dell'elemento.- Il calcolo degli effetti del sisma è condotto, a scelta dell'utente, con analisi statica lineare, con analisi dinamica modale o con analisi statica non lineare, in accordo alle varie normative adottate. Le masse, nel caso di impalcati dichiarati rigidi sono concentrate nei nodi principali di piano altrimenti vengono considerate diffuse nei nodi giacenti sull'impalcato stesso. Nel caso di analisi sismica vengono anche controllati gli spostamenti di interpiano.

5.2. Verifica delle membrature in acciaio

Le verifiche delle membrature in acciaio (solo per utenti Sismicad acciaio) possono essere condotte secondo CNR 10011 (stato limite o tensioni ammissibili), CNR 10022, D.M. 14-01-08, al D.M. 17-01-18 o Eurocodice 3. Sono previste verifiche di resistenza e di instabilità. Queste ultime possono interessare superelementi cioè membrature composte di più aste. Le verifiche tengono conto, ove richiesto, della distinzione delle condizioni di carico in normali o eccezionali (I e II) previste dalle normative adottate.

Negli allegati alla presente relazione sono riportati gli output del programma di calcolo:

- Allegato 1: Dati di definizione delle strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici
- Allegato 2: Sezioni e materiali
- Allegato 3: Verifiche strutture di sostegno pannelli FV

Il dimensionamento e le verifiche strutturali delle membrature in acciaio costituenti il sistema portante dei pannelli fotovoltaici, svolte sia in condizioni statiche sia sismiche per i casi "vela orizzontale" e "vela inclinata di 60°" risultano soddisfatte.

6. PREDIMENSIONAMENTO DEI PALI DI FONDAZIONE

Nel presente capitolo si descrivono le verifiche con le quali è stata determinata la geometria della fondazione di sostegno dei pannelli fotovoltaici, fondazione costituita dal prolungamento del montante della struttura di supporto dei pannelli fotovoltaici. Il parco agrivoltaico, si sviluppa su due superfici di terreno, al fine dei calcoli di dimensionamento dei pali di fondazione verranno quindi considerati i differenti parametri riportati.

I parametri geotecnici dei terreni considerati per il progetto delle opere di fondazione sono i seguenti:

Unità litotecnica "A"

Depositi alluvionali a granulometria fine di origine argillosa-limosa, avente spessore superiore a 10 m, di classificazione A.G.I. moderatamente addensata.

Tabella 5. Caratteristiche elastiche e meccanica dell'unità litologica "A"

CARATTERISTICHE ELASTICHE E MECCANICHE DELL'UNITÀ LITOLOGICA "A"	
Spessore Variabile	H max 10,00 m
Peso volume medio	$\gamma_m = 19 \text{ KN/m}^3$
Angolo di resistenza al taglio medio (tensioni efficaci, a lungo termine)	$\phi_m' = 25^\circ$
Coesione drenata media (tensioni efficaci, a lungo termine)	$c'_m = 35 \text{ kPa}$

Unità litotecnica "B"

Depositi alluvionali a granulometria media di origine sabbiosa, avente spessore superiore a 10 m, di classificazione A.G.I. moderatamente consistente.

Tabella 6. Caratteristiche elastiche e meccanica dell'unità litologica "A"

CARATTERISTICHE ELASTICHE E MECCANICHE DELL'UNITÀ LITOLOGICA "B"	
Spessore Variabile	H max 10,00 m
Peso volume medio	$\gamma_m = 19 \text{ KN/m}^3$
Angolo di resistenza al taglio medio (tensioni efficaci, a lungo termine)	$\phi_m' = 30^\circ$
Coesione drenata media (tensioni efficaci, a lungo termine)	$c'_m = 18 \text{ kPa}$

6.1. Forze di Calcolo agenti sulle fondazioni

Come evidenziato nei capitoli precedenti la struttura di sostegno dei pannelli fotovoltaici risulta essere del tipo "mobile", con un'inclinazione variabile da -60° a $+60^\circ$. Ne consegue che le sollecitazioni sui montanti, e quindi sui pali di fondazione, risultino variare a seconda della posizione della "vela".

Dalle verifiche effettuate si ricava che le massime sollecitazioni agenti sugli elementi di fondazione si riscontrano nella condizione "vela inclinata di 60° " rappresentate nella figura seguente.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 14 di 60

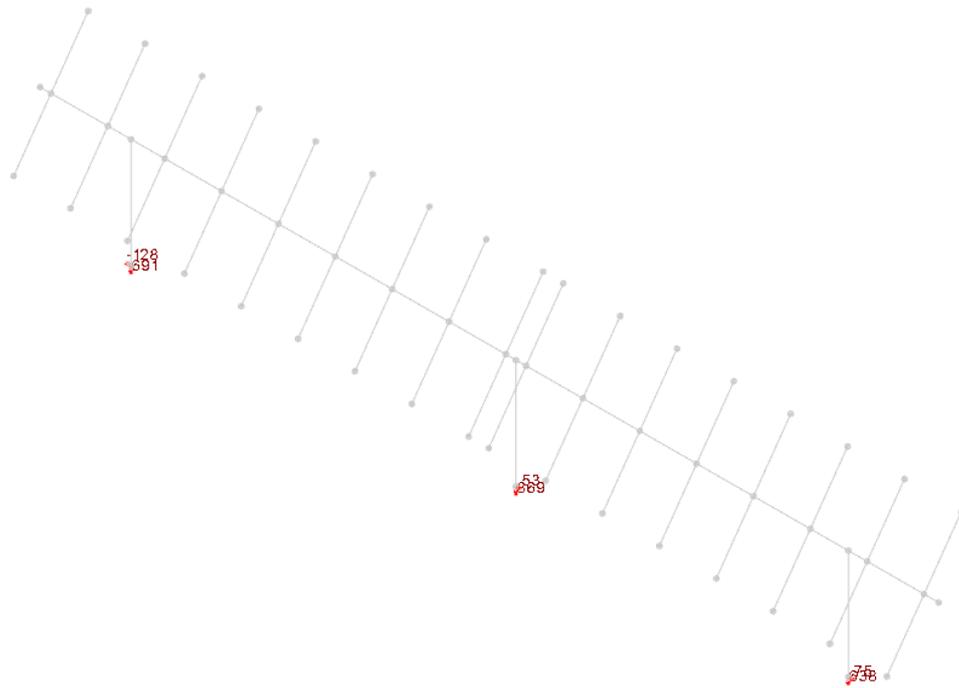


Figura 6. Massime sollecitazioni di sforzo normale sugli elementi di fondazione nella condizione “vela” inclinata di 60°

6.2. Verifiche preliminari dei pali

Come già evidenziato nei capitoli precedenti la stabilità delle strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici sarà ottenuta mediante infissione nel terreno di profili metallici di pari sezione dei montanti dei portali di sostegno. Si tratta di profili HEB 240. Le verifiche su tali elementi di fondazione sono riportate nell'“ALLEGATO 04 – Verifiche geotecniche dei pali”. In sintesi, dalle verifiche effettuate si riscontra quanto segue:

- palo infisso HEB 240: lunghezza complessiva palo 4,00 m, minimo coefficiente di sicurezza in condizione SLU pari 1,27.

La lunghezza di infissione del palo è stata calcolata utilizzando l'unità stratigrafica “A”, siccome risultava la condizione più critica per il dimensionamento. In fase di progettazione esecutiva si prescrive la realizzazione di una campagna di sondaggi geotecnici al fine di definire correttamente la lunghezza del palo in funzione della diversa stratigrafia del suolo, come peraltro evidenziato nei capitoli precedenti.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CST0	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 15 di 60

7. ALLEGATO 01 - DATI DI DEFINIZIONE STRUTTURE PANNELLI FOTOVOLTAICI

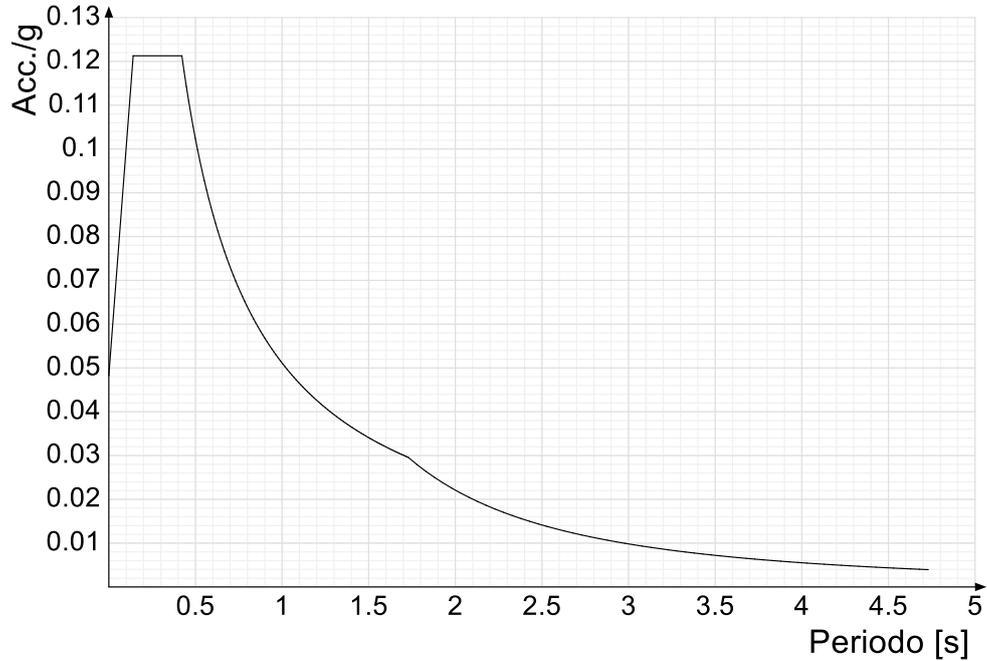
7.1. DATI DI DEFINIZIONE

7.1.1. Spettri D.M. 17-01-18

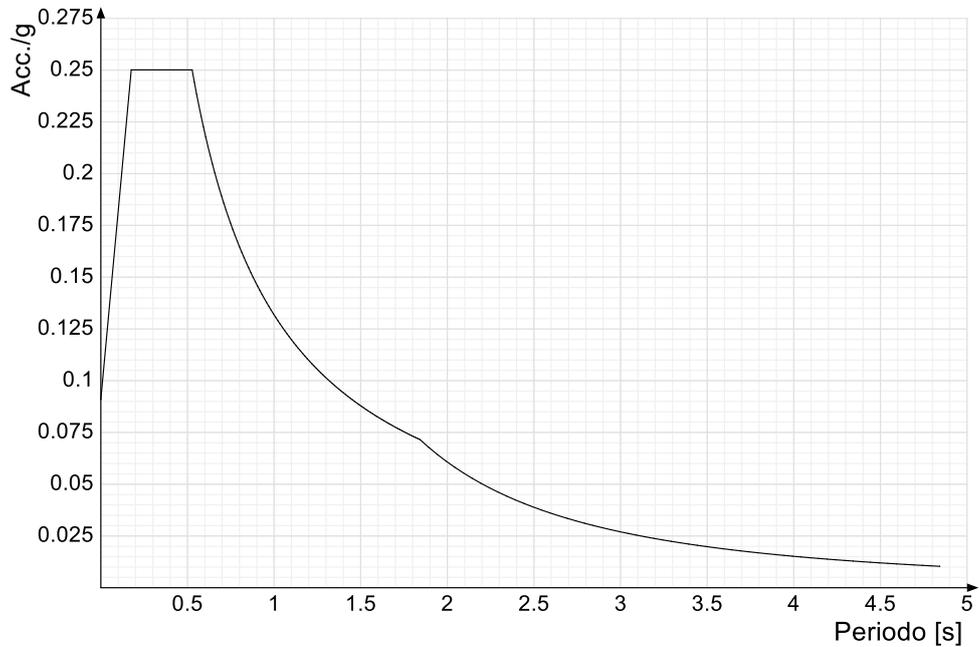
Acc./g: Accelerazione spettrale normalizzata ottenuta dividendo l'accelerazione spettrale per l'accelerazione di gravità.

Periodo: Periodo di vibrazione.

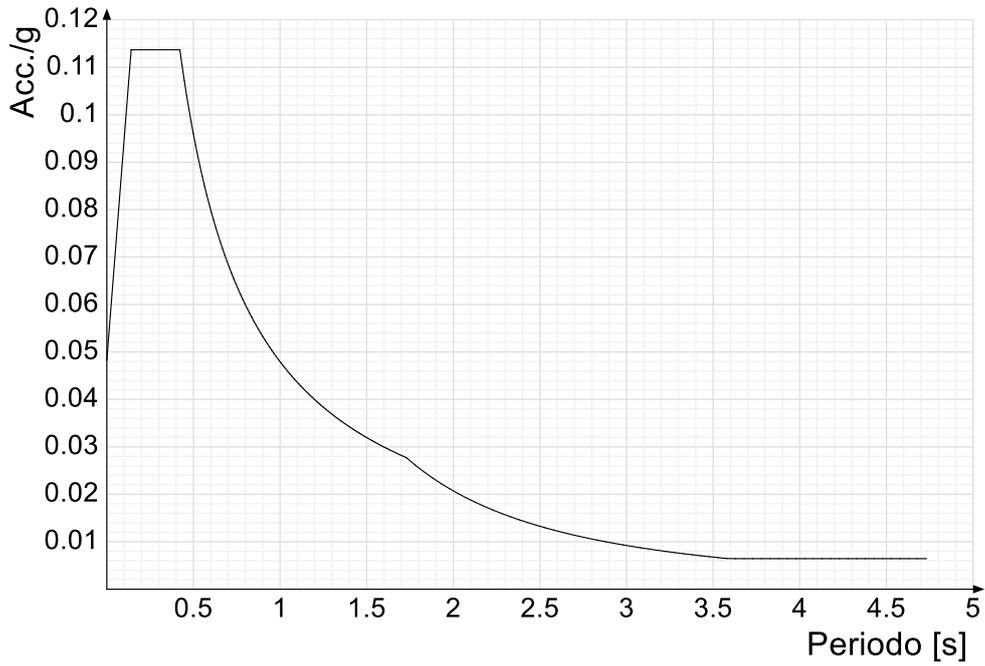
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali SLD § 3.2.3.2.1 [3.2.2]



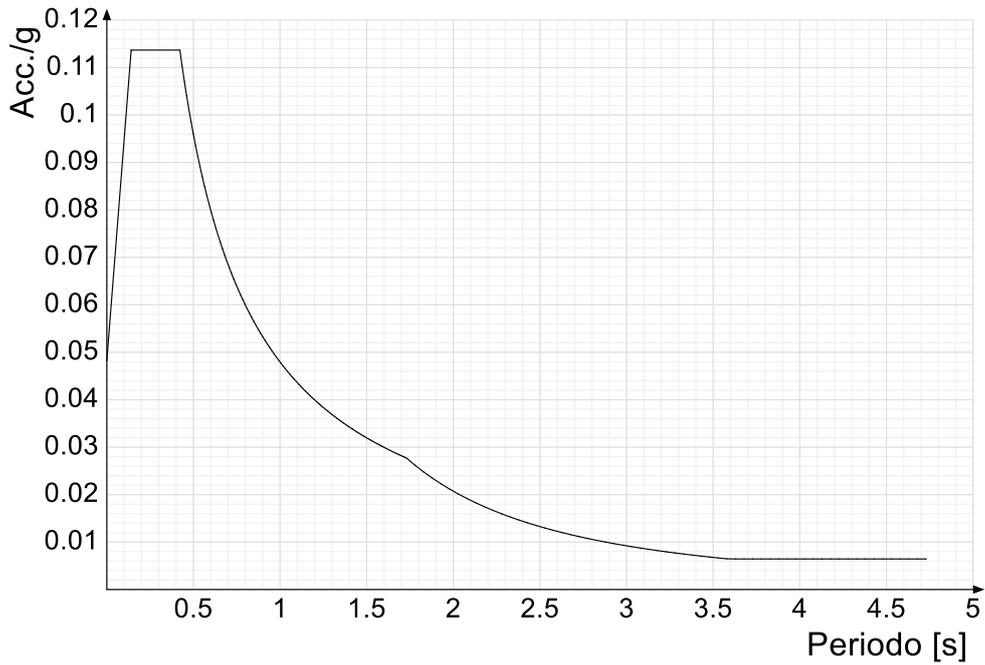
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali SLV § 3.2.3.2.1 [3.2.2]



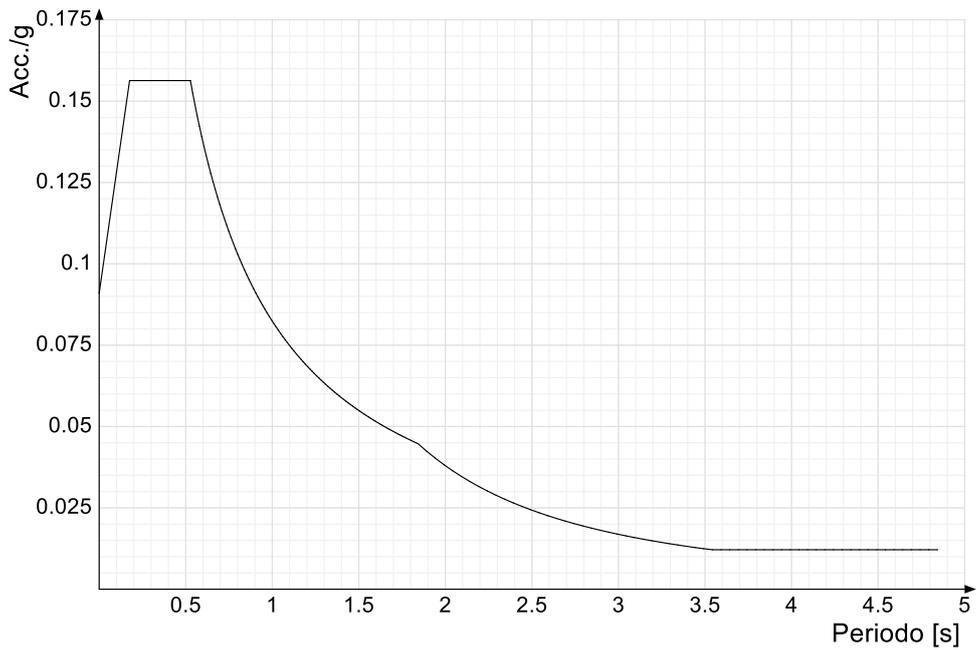
Spettro di risposta di progetto in accelerazione della componente X SLD § 3.2.3.5



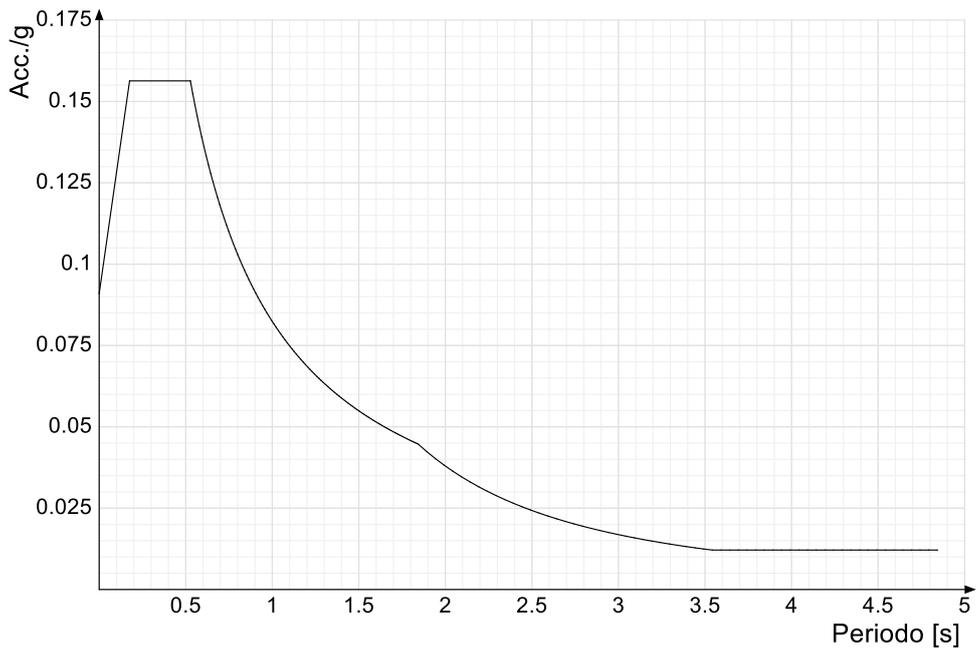
Spettro di risposta di progetto in accelerazione della componente Y SLD § 3.2.3.5



Spettro di risposta di progetto in accelerazione della componente X SLV § 3.2.3.5

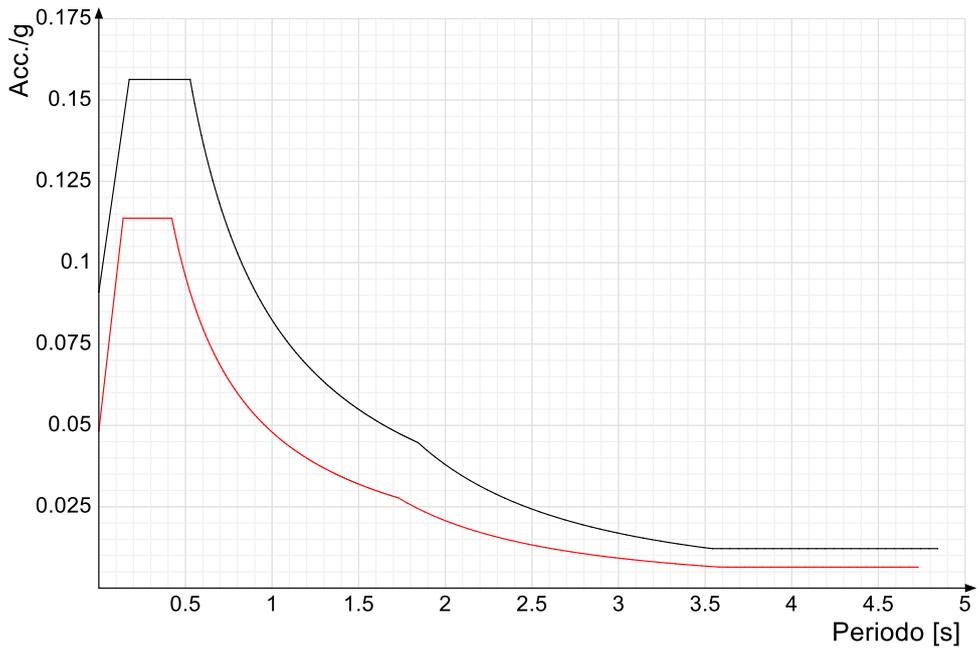


Spettro di risposta di progetto in accelerazione della componente Y SLV § 3.2.3.5

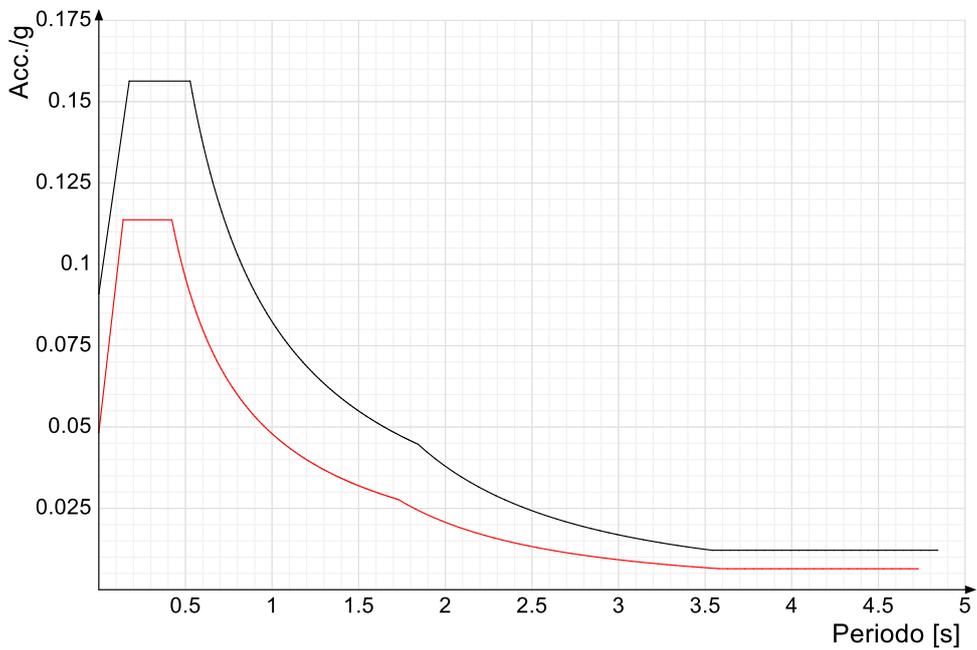


Confronti spettri SLV-SLD

Vengono confrontati lo spettro Spettro di risposta di progetto in accelerazione della componente X SLD § 3.2.3.5 (di colore rosso) e Spettro di risposta di progetto in accelerazione della componente X SLV § 3.2.3.5 (di colore nero).



Vengono confrontati lo spettro Spettro di risposta di progetto in accelerazione della componente Y SLD § 3.2.3.5 (di colore rosso) e Spettro di risposta di progetto in accelerazione della componente Y SLV § 3.2.3.5 (di colore nero).



7.1.2. Preferenze di verifica

Normativa di verifica in uso

Norma di verifica	D.M. 17-01-18 (N.T.C.)
Acciaio	Preferenze di verifica acciaio D.M. 17-01-18 (N.T.C.)

Normativa di verifica acciaio

ym0	1.05
ym1	1.05
ym2	1.25
Coefficiente riduttivo per effetto vettoriale	0.7
Calcolo coefficienti C1, C2, C3 per M _{cr}	automatico
Coefficienti α , β per flessione deviata	unitari
Verifica semplificata conservativa	si
L/e0 iniziale per profili accoppiati compressi	500
Metodo semplificato formula (4.2.82)	si
Escludi 6.2.6.7 e 6.2.6.8 in 7.5.4.3 e 7.5.4.5	si
Applica Nota 1 del prospetto 6.2	si
Riduzione f _y per tubi tondi di classe 4	no
Effettua la verifica secondo 6.2.8 con irrigidimenti superiori (piastra di base)	si
Limite spostamento relativo interpiano e monopiano colonne	0.00333
Limite spostamento relativo complessivo multipiano colonne	0.002
Considera taglio resistente estremità sagomati	no
Fattori parziali di sicurezza unitari per meccanismi duttili di strutture esistenti con fattore q	si

7.1.3. Preferenze FEM

Dimensione massima ottimale mesh pareti (default)	80 [cm]
Dimensione massima ottimale mesh piastre (default)	80 [cm]
Dimensione massima ottimale suddivisioni archi finestre/porte (default)	30 [cm]
Tipo di mesh dei gusci (default)	Quadrilateri o triangoli
Tipo di mesh imposta ai gusci	Specifico dell'elemento
Metodo P-Delta	non utilizzato
Analisi buckling	non utilizzata
Rapporto spessore flessionale/membranale gusci muratura verticali	0.2
Spessori membranale e flessionale pareti XLAM da sole tavole verticali	No
Moltiplicatore rigidità connettori pannelli pareti legno a diaframma	1
Tolleranza di parallelismo	4.99 [deg]
Tolleranza di unicità punti	10 [cm]
Tolleranza generazione nodi di aste	1 [cm]
Tolleranza di parallelismo in suddivisione aste	4.99 [deg]
Tolleranza generazione nodi di gusci	4 [cm]
Tolleranza eccentricità carichi concentrati	100 [cm]
Considera deformabilità a taglio negli elementi guscio	No
Modello elastico pareti in muratura	Gusci
Concentra masse pareti nei vertici	No
Segno risultati analisi spettrale	Analisi statica
Memoria utilizzabile dal solutore	8000000
Metodo di risoluzione della matrice	Intel MKL PARDISO
Scrivi commenti nel file di input	No
Scrivi file di output in formato testo	No
Solidi colle e corpi ruvidi (default)	Solidi reali
Moltiplicatore rigidità molla torsionale applicata ad aste di fondazione	1
Modello trave su suolo alla Winkler nel caso di modellazione lineare	Equilibrio elastico

7.1.4. Moltiplicatori inerziali

Tipologia: tipo di entità a cui si riferiscono i moltiplicatori inerziali.

J2: moltiplicatore inerziale di J2. Il valore è adimensionale.

J3: moltiplicatore inerziale di J3. Il valore è adimensionale.

Jt: moltiplicatore inerziale di Jt. Il valore è adimensionale.

A: moltiplicatore dell'area della sezione. Il valore è adimensionale.

A2: moltiplicatore dell'area a taglio in direzione 2. Il valore è adimensionale.

A3: moltiplicatore dell'area a taglio in direzione 3. Il valore è adimensionale.

Conci rigidi: fattore di riduzione dei tronchi rigidi. Il valore è adimensionale.

Tipologia	J2	J3	Jt	A	A2	A3	Conci rigidi
Trave in acciaio	1	1	1	1	1	1	1
Colonna in acciaio	1	1	1	1	1	1	1
Trave di reticolare in acciaio	1	1	1	1	1	1	1

7.1.5. Preferenze di analisi non lineare FEM

Metodo iterativo	Secante
Tolleranza iterazione	0.00001
Numero massimo iterazioni	50

7.1.6. Preferenze di analisi carichi superficiali

Detrazione peso proprio solai nelle zone di sovrapposizione	non applicata
Metodo di ripartizione	a zone d'influenza
Percentuale carico calcolato a trave continua	0
Esegui smoothing diagrammi di carico	applicata
Tolleranza smoothing altezza trapezi	0.001 [daN/cm]
Tolleranza smoothing altezza media trapezi	0.001 [daN/cm]

7.1.7. Preferenze del suolo

Fondazioni non modellate e struttura bloccata alla base	si
Fondazioni bloccate orizzontalmente	si
Considera peso sismico delle fondazioni	no
Fondazioni superficiali e profonde su suolo elastoplastico	no
Coefficiente di sottofondo verticale per fondazioni superficiali (default)	3 [daN/cm ³]
Rapporto di coefficiente sottofondo orizzontale/verticale	0.5
Pressione verticale limite sul terreno per abbassamento (default)	10 [daN/cm ²]
Pressione verticale limite sul terreno per innalzamento (default)	0.001 [daN/cm ²]
Metodo di calcolo della K verticale	Vesic
Metodo di calcolo della portanza e della pressione limite	Vesic
Terreno laterale di riporto da piano posa fondazioni (default)	Ghiaia
Dimensione massima della discretizzazione del palo (default)	200 [cm]
Moltiplicatore coesione per pressione orizzontale limite nei pali	1
Moltiplicatore spinta passiva per pressione orizzontale pali	1
K punta palo (default)	4 [daN/cm ³]
Pressione limite punta palo (default)	10 [daN/cm ²]
Pressione per verifica schiacciamento fondazioni superficiali	6 [daN/cm ²]
Calcola cedimenti fondazioni superficiali	no
Spessore massimo strato	100 [cm]
Profondità massima	3000 [cm]
Cedimento assoluto ammissibile	5 [cm]

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"

T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 22 di 60
--------	--------------------------------	--------	-----------------	-----------------

Cedimento differenziale ammissibile	5 [cm]
Cedimento relativo ammissibile	5 [cm]
Rapporto di inflessione F/L ammissibile	0.003333
Rotazione rigida ammissibile	0.191 [deg]
Rotazione assoluta ammissibile	0.191 [deg]
Distorsione positiva ammissibile	0.191 [deg]
Distorsione negativa ammissibile	0.095 [deg]
Considera fondazioni compensate	no
Coefficiente di riduzione della a Max attesa	0.3
Condizione per la valutazione della spinta su pareti	Lungo termine
Considera l'azione sismica del terreno anche su pareti sotto lo zero sismico	no
Calcola cedimenti teorici pali	no
Considera accorciamento del palo	si
Distanza influenza cedimento palo	1000 [cm]
Distribuzione attrito laterale	Attrito laterale uniforme
Ripartizione del carico	Ripartizione come da modello FEM
Scelta terreno laterale	Media pesata degli strati coinvolti
Scelta terreno punta	Media pesata degli strati coinvolti
Cedimento assoluto ammissibile	5 [cm]
Cedimento medio ammissibile	5 [cm]
Cedimento differenziale ammissibile	5 [cm]
Rotazione rigida ammissibile	0.191 [deg]
Trascura la coesione efficace in verifica allo scorrimento	si
Considera inclinazione spinta del terreno contro pareti	no
Esegui verifica a liquefazione	no
Metodo di verifica liquefazione	Seed-Idriss (1982)
Coeff. di sicurezza minimo a liquefazione	1.3
Magnitudo scaling factor per liquefazione	1

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 23 di 60

7.2. QUOTE

7.2.1. Livelli

Descrizione breve: nome sintetico assegnato al livello.

Descrizione: nome assegnato al livello.

Quota: quota superiore espressa nel sistema di riferimento assoluto. [cm]

Spessore: spessore del livello. [cm]

Descrizione breve	Descrizione	Quota	Spessore
L1	Fondazione	0	0
L2	Testa montante	252	0

7.2.2. Falde

Descrizione breve: nome sintetico assegnato alla falda.

Descrizione: nome assegnato alla falda.

Sp.: spessore del piano della falda. [cm]

Primo punto: primo punto di definizione del piano dell'estradosso della falda.

X: coordinata X. [cm]

Y: coordinata Y. [cm]

Quota: quota. esprimibile come livello, falda, piano orizzontale alla Z specificata. [cm]

Secondo punto: secondo punto di definizione del piano dell'estradosso della falda.

X: coordinata X. [cm]

Y: coordinata Y. [cm]

Quota: quota. esprimibile come livello, falda, piano orizzontale alla Z specificata. [cm]

Terzo punto: terzo punto di definizione del piano dell'estradosso della falda.

X: coordinata X. [cm]

Y: coordinata Y. [cm]

Quota: quota. esprimibile come livello, falda, piano orizzontale alla Z specificata. [cm]

Tracker Orizzontale

Descrizione breve	Descrizione	Sp.	Primo punto			Secondo punto			Terzo punto		
			X	Y	Quota	X	Y	Quota	X	Y	Quota
F1	Falda 1	5	-245.5	-	252	-7	-	252	-7	-901.7	252
				1823.7			1823.7				
F2	Falda 2	5	8	-	252	246.5	-	252	246.5	-901.7	252
				1823.7			1823.7				
F3	Falda 3	5	-245.5	-861.7	252	-7	-861.7	252	-7	182.3	252
F4	Falda 4	5	8	-861.7	252	246.5	-861.7	252	246.5	182.3	252

Tracker Inclinato

Descrizione breve	Descrizione	Sp.	Primo punto			Secondo punto			Terzo punto		
			X	Y	Quota	X	Y	Quota	X	Y	Quota
F1	Falda 1	5	-140.6	-1823.7	50.5	-3.8	-	245.9	-3.8	-901.7	245.9
							1823.7				
F2	Falda 2	5	4.8	-1823.7	258.1	141.6	-	453.5	141.6	-901.7	453.5
							1823.7				
F3	Falda 3	5	-140.6	-861.7	50.5	-3.8	-861.7	245.9	-3.8	182.3	245.9
F4	Falda 4	5	4.8	-861.7	258.1	141.6	-861.7	453.5	141.6	182.3	453.5

7.2.3. Tronchi

Descrizione breve: nome sintetico assegnato al tronco.

Descrizione: nome assegnato al tronco.

Quota 1: riferimento della prima quota di definizione del tronco. esprimibile come livello, falda, piano orizzontale alla Z specificata. [cm]

Quota 2: riferimento della seconda quota di definizione del tronco. esprimibile come livello, falda, piano orizzontale alla Z

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CST0	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 24 di 60

specificata. [cm]

Descrizione breve	Descrizione	Quota 1	Quota 2
T1	Piano campagna - Testa montante	Fondazione	Testa montante

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CST0	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 25 di 60

8. ALLEGATO 02 - SEZIONI E MATERIALI

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 26 di 60

8.1. DATI GENERALI

8.1.1. Materiali

8.1.1.1. Acciai

Proprietà acciai base

Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

E: modulo di elasticità longitudinale del materiale per edifici o materiali nuovi. [daN/cm²]

G: modulo di elasticità tangenziale del materiale, viene impiegato nella modellazione di aste e di elementi guscio a comportamento ortotropo. [daN/cm²]

v: coefficiente di Poisson. Il valore è adimensionale.

γ: peso specifico del materiale. [daN/cm³]

α: coefficiente longitudinale di dilatazione termica. [°C⁻¹]

Descrizione	E	G	v	γ	α
S235	2100000	Default (807692.31)	0.3	0.00785	0.000012

Proprietà acciai CNR 10011

Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

Tipo: descrizione per norma.

fy(s<=40 mm): resistenza di snervamento fy per spessori <=40 mm. [daN/cm²]

fy(s>40 mm): resistenza di snervamento fy per spessori >40 mm. [daN/cm²]

fu(s<=40 mm): resistenza di rottura per trazione fu per spessori <=40 mm. [daN/cm²]

fu(s>40 mm): resistenza di rottura per trazione fu per spessori >40 mm. [daN/cm²]

Prosp. Omega: prospetto per coefficienti Omega.

σ amm.(s<=40 mm): σ ammissibile per spessori <=40 mm. [daN/cm²]

σ amm.(s>40 mm): σ ammissibile per spessori >40 mm. [daN/cm²]

fd(s<=40 mm): resistenza di progetto fd per spessori <=40 mm. [daN/cm²]

fd(s>40 mm): resistenza di progetto fd per spessori >40 mm. [daN/cm²]

Descrizione	Tipo	fy(s<=40 mm)	fy(s>40 mm)	fu(s<=40 mm)	fu(s>40 mm)	Prosp. Omega	σ amm.(s<=40 mm)	σ amm.(s>40 mm)	fd(s<=40 mm)	fd(s>40 mm)
S235	FE360	2350	2150	3600	3400	II	1600	1400	2350	2100

Proprietà acciai CNR 10022

Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

Tipo: descrizione per norma.

fy: resistenza di snervamento fy. [daN/cm²]

fu: resistenza di rottura fu. [daN/cm²]

fd: resistenza di progetto fd. [daN/cm²]

Prospetto omega sag.fr.(s<3mm): prospetto coeff. omega per spessori < 3 mm.

Prospetto omega sag.fr.(s>=3mm): prospetto coeff. omega per spessori >= 3 mm.

Prospetti σ crit. Eulero: prospetti σ critiche euleriane.

Descrizione	Tipo	fy	fu	fd	Prospetto omega sag.fr.(s<3mm)	Prospetto omega sag.fr.(s>=3mm)	Prospetti σ crit. Eulero
S235	FE360	2350	3600	2350	b	c	I

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 27 di 60

Proprietà acciai EC3

Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

Tipo: descrizione per norma.

$f_y(s \leq 40 \text{ mm})$: resistenza di snervamento f_y per spessori $\leq 40 \text{ mm}$. [daN/cm^2]

$f_y(s > 40 \text{ mm})$: resistenza di snervamento f_y per spessori $> 40 \text{ mm}$. [daN/cm^2]

$f_u(s \leq 40 \text{ mm})$: resistenza di rottura per trazione f_u per spessori $\leq 40 \text{ mm}$. [daN/cm^2]

$f_u(s > 40 \text{ mm})$: resistenza di rottura per trazione f_u per spessori $> 40 \text{ mm}$. [daN/cm^2]

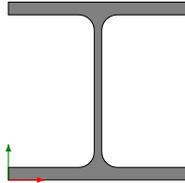
Descrizione	Tipo	$f_y(s \leq 40 \text{ mm})$	$f_y(s > 40 \text{ mm})$	$f_u(s \leq 40 \text{ mm})$	$f_u(s > 40 \text{ mm})$
S235	S235	2350	2150	3600	3600

8.2. SEZIONI

8.2.1. Sezioni in acciaio

Profili singoli in acciaio

HEA - HEM - HEB – IPE



Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

Sup.: superficie bagnata per unità di lunghezza. [mm]

Area Tx FEM: area di taglio in direzione X per l'analisi FEM. [mm²]

Area Ty FEM: area di taglio in direzione Y per l'analisi FEM. [mm²]

JxFEM: momento di inerzia attorno all'asse X per l'analisi FEM. [mm⁴]

JyFEM: momento di inerzia attorno all'asse Y per l'analisi FEM. [mm⁴]

JtFEM: momento d'inerzia torsionale corretto con il fattore di forma per l'analisi FEM. [mm⁴]

b: larghezza dell'ala. [mm]

h: altezza del profilo. [mm]

s: spessore dell'anima. [mm]

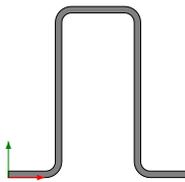
t: spessore delle ali. [mm]

r: raggio del raccordo ala-anima. [mm]

f: truschino. [mm]

Descrizione	Sup.	Area Tx FEM	Area Ty FEM	JxFEM	JyFEM	JtFEM	b	h	s	t	r	f
HEB240	1383.7	6800	2230	1.13E8	3.92E7	854747	240	240	10	17	21	150

Sagomati Omega



Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

Sup.: superficie bagnata per unità di lunghezza. [mm]

Area Tx FEM: area di taglio in direzione X per l'analisi FEM. [mm²]

Area Ty FEM: area di taglio in direzione Y per l'analisi FEM. [mm²]

JxFEM: momento di inerzia attorno all'asse X per l'analisi FEM. [mm⁴]

JyFEM: momento di inerzia attorno all'asse Y per l'analisi FEM. [mm⁴]

JtFEM: momento d'inerzia torsionale corretto con il fattore di forma per l'analisi FEM. [mm⁴]

h: altezza del tubo. [mm]

b: larghezza del tubo. [mm]

s: spessore. [mm]

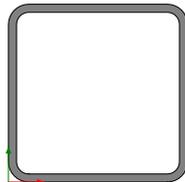
r: raggio di curvatura. [mm]

Categoria: categoria, basata sulla tecnologia costruttiva.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 29 di 60

Descrizione	Sup.	Area Tx FEM	Area Ty FEM	JxFEM	JyFEM	JtFEM	b	c	h	s	r	r1	Deroga lati	Formatura
OMEGA 80*40*25*3	461.3	270	480	551515	295839	2142	40	25	80	3	4.5	4.5	No	A rullo

Tubi Rettangolari



Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

Sup.: superficie bagnata per unità di lunghezza. [mm]

Area Tx FEM: area di taglio in direzione X per l'analisi FEM. [mm²]

Area Ty FEM: area di taglio in direzione Y per l'analisi FEM. [mm²]

JxFEM: momento di inerzia attorno all'asse X per l'analisi FEM. [mm⁴]

JyFEM: momento di inerzia attorno all'asse Y per l'analisi FEM. [mm⁴]

JtFEM: momento d'inerzia torsionale corretto con il fattore di forma per l'analisi FEM. [mm⁴]

h: altezza del tubo. [mm]

b: larghezza del tubo. [mm]

s: spessore. [mm]

r: raggio di curvatura. [mm]

Categoria: categoria, basata sulla tecnologia costruttiva.

Formatura: tipo di formatura a freddo del sagomato.

Descrizione	Sup.	Area Tx FEM	Area Ty FEM	JxFEM	JyFEM	JtFEM	h	b	s	r	Categoria	Formatura
EN10219 220x220x10	1610.9	4400	4400	5.78E7	5.78E7	9.53E7	220	220	10	15	Sagomato a freddo conforme UNI 10219	A rullo

Caratteristiche inerziali sezioni in acciaio

Caratteristiche inerziali principali sezioni in acciaio

Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

Xg: coordinata X del baricentro. [cm]

Yg: coordinata Y del baricentro. [cm]

Area: area inerziale nel sistema geometrico centrato nel baricentro. [cm²]

Jx: momento d'inerzia attorno all'asse orizzontale baricentrico di definizione della sezione. [cm⁴]

Jy: momento d'inerzia attorno all'asse verticale baricentrico di definizione della sezione. [cm⁴]

Jxy: momento centrifugo rispetto al sistema di riferimento baricentrico di definizione della sezione. [cm⁴]

Jm: momento d'inerzia attorno all'asse baricentrico principale M. [cm⁴]

Jn: momento d'inerzia attorno all'asse baricentrico principale N. [cm⁴]

α X su M: angolo tra gli assi del sistema di riferimento geometrico di definizione e quelli del sistema di riferimento principale. [deg]

Jt: momento d'inerzia torsionale corretto con il fattore di forma. [cm⁴]

Descrizione	Xg	Yg	Area	Jx	Jy	Jxy	Jm	Jn	α X su M	Jt
HEB240	12	12	106.07	11267.42	3922.84	0	11267.42	3922.84	0	85.47
EN10219 220x220x10	11	11	80.57	5782.46	5782.46	0	5782.46	5782.46	0	9532.77

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"

T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 30 di 60
--------	--------------------------------	--------	-----------------	-----------------

Descrizione	Xg	Yg	Area	Jx	Jy	Jxy	Jm	Jn	α X su M	Jt
OMEGA 80*40*25*3	4.2	3.83	6.82	55.15	29.58	0	55.15	29.58	0	0.21

Caratteristiche inerziali momenti sezioni in acciaio

Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

ix: raggio di inerzia relativo all'asse x. [cm]

iy: raggio di inerzia relativo all'asse y. [cm]

im: raggio di inerzia relativo all'asse principale m. [cm]

in: raggio di inerzia relativo all'asse principale n. [cm]

Sx: momento statico relativo all'asse x. [cm³]

Sy: momento statico relativo all'asse y. [cm³]

Wx: modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse x. [cm³]

Wy: modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse y. [cm³]

Wm: modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse principale m. [cm³]

Wn: modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse principale n. [cm³]

Wplx: modulo di resistenza plastico relativo all'asse x. [cm³]

Wply: modulo di resistenza plastico relativo all'asse y. [cm³]

Descrizione	ix	iy	im	in	Sx	Sy	Wx	Wy	Wm	Wn	Wplx	Wply
HEB240	10.31	6.08	10.31	6.08	527	249.27	938.95	326.9	938.95	326.9	1053.99	498.53
EN10219 220x220x10	8.47	8.47	8.47	8.47	311.9	311.9	525.68	525.68	525.68	525.68	624.65	624.65
OMEGA 80*40*25*3	2.84	2.08	2.84	2.08	8.66	6.63	13.23	7.04	13.23	7.04	17.32	13.25

Caratteristiche inerziali taglio sezioni in acciaio

Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

Atx: area a taglio lungo x. [cm²]

Aty: area a taglio lungo y. [cm²]

Descrizione	Atx	Aty
HEB240	81.6	24
EN10219 220x220x10	44	44
OMEGA 80*40*25*3	2.7	4.8

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CST0	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 31 di 60

9. ALLEGATO 03 - VERIFICHE STRUTTURE DI SOSTEGNO PANNELLI FOTOVOLTAICI

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 32 di 60

9.1. VERIFICHE

9.1.1. Verifiche superelementi aste acciaio laminate

Le unità di misura elencate nel capitolo sono in [cm, daN, deg] ove non espressamente specificato.

Sezione: sezione in acciaio.

Rotazione: rotazione della sezione. [deg]

Area: area inerziale nel sistema geometrico centrato nel baricentro. [cm²]

Jx: momento d'inerzia attorno all'asse orizzontale baricentrico di definizione della sezione. [cm⁴]

Jy: momento d'inerzia attorno all'asse verticale baricentrico di definizione della sezione. [cm⁴]

ix: raggio di inerzia relativo all'asse x. [cm]

iy: raggio di inerzia relativo all'asse y. [cm]

Wx: modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse x. [cm³]

Wy: modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse y. [cm³]

Wplx: modulo di resistenza plastico relativo all'asse x. [cm³]

Wply: modulo di resistenza plastico relativo all'asse y. [cm³]

X: distanza dal nodo iniziale. [cm]

Comb.: combinazione di verifica.

Sfruttamento: rapporto di sfruttamento per la verifica in esame, inverso del coefficiente di sicurezza. Verificato se minore o uguale di 1.

VEd: sollecitazione di taglio. [daN]

Vc,Rd: resistenza a taglio. [daN]

Av: area resistenza a taglio. [cm²]

Interazione taglio-torsione: indica se è possibile ridurre il taglio resistente per presenza di torsione.

Riduzione torsione: coefficiente riduttivo della resistenza a taglio per presenza di torsione.

Verifica: stato di verifica.

Classe: classe della sezione.

Mx,Ed: sollecitazione flettente attorno x-x. [daN*cm]

Mx,Rd: resistenza a flessione attorno x-x ridotta per taglio. [daN*cm]

Rid. Mx,Rd da VEd: rapporto tra la resistenza flettente ridotta per taglio e la resistenza flettente attorno x-x.

px: coefficiente di riduzione della resistenza di snervamento per taglio in direzione x.

py: coefficiente di riduzione della resistenza di snervamento per taglio in direzione y.

Numero rit.: numero del ritegno.

Presente: indica se il ritegno è presente o meno.

Ascissa: ascissa del ritegno rispetto al nodo iniziale del superelemento o ascissa iniziale e finale della campata. [cm]

Campata: campata tra i ritegni.

θx/m: coefficiente di lunghezza efficace per rotazione attorno a x/m.

Vincolo a entrambi estremi: indica se il tratto è vincolato a entrambi gli estremi.

λx/m: snellezza attorno a x/m del tratto tra i due ritegni.

λVer: snellezza accettabile.

θy/n: coefficiente di lunghezza efficace per rotazione attorno a y/n.

k,LT: coefficiente di lunghezza efficace per rotazione nel calcolo del momento critico ENV1993-1-1 F 1.2(3).

kw,LT: coefficiente di lunghezza efficace per ingobbamento nel calcolo del momento critico ENV1993-1-1 F 1.2(4).

λy/n: snellezza attorno a y/n del tratto tra i due ritegni.

Obblig.: indica se la verifica è obbligatoria da norma.

Mb,Rd,x: momento resistente di progetto per l'instabilità per sollecitazione flettente attorno l'asse x-x. [daN*cm]

χ,LT: coefficiente di riduzione per instabilità flessione-torsionale.

λ adim. LT: snellezza adimensionale per instabilità flessione-torsionale.

L,LT: distanza tra due ritegni torsionali. [cm]

M,critico: momento critico. [daN*cm]

η: valore di η.

hw: altezza dell'anima. [cm]

tw: spessore dell'anima. [cm]

hw/tw max: rapporto tra hw e tw massimo.

Ascissa freccia: ascissa della massima freccia. [cm]

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 33 di 60

Combinazione: combinazione di verifica in cui è ricavata la freccia.

Freccia: massima freccia. [cm]

Luce: luce di verifica. [cm]

L/f: rapporto luce su freccia.

L/f,min: minimo rapporto luce su freccia consentito.

Tipo: freccia calcolata considerando le sole condizioni variabili o tutte le condizioni (totale) all'interno della combinazione di verifica.

NEd: sollecitazione assiale. [daN]

Nc,Rd: resistenza assiale a compressione ridotta per taglio. [daN]

Nt,Rd: resistenza assiale a trazione ridotta per taglio. [daN]

Riduzione da taglio: rapporto tra la resistenza assiale ridotta per taglio e la resistenza assiale.

NRd: resistenza assiale ridotta per taglio. [daN]

Rid. NRd da VEd: rapporto tra la resistenza assiale ridotta per taglio e la resistenza assiale.

My,Ed: sollecitazione flettente attorno y-y. [daN*cm]

My,Rd: resistenza a flessione attorno y-y ridotta. [daN*cm]

Rid. My,Rd da VEd: rapporto tra la resistenza flettente ridotta per taglio e la resistenza flettente attorno y-y.

Rid. My,Rd da NEd: rapporto tra la resistenza flettente ridotta per sforzo normale e taglio e la resistenza flettente ridotta per taglio attorno y-y.

Mx,Rd: resistenza a flessione attorno x-x ridotta. [daN*cm]

Rid. Mx,Rd da NEd: rapporto tra la resistenza flettente ridotta per sforzo normale e taglio e la resistenza flettente ridotta per taglio attorno x-x.

α : esponente α per flessione deviata.

β : esponente β per flessione deviata.

NRk: resistenza caratteristica assiale. [daN]

Mx,Ed max: momento sollecitante massimo attorno l'asse x-x tra due ritegni all'inflessione attorno x-x. [daN*cm]

Mx,Rk: resistenza caratteristica a flessione attorno l'asse x-x. [daN*cm]

My,Ed max: momento sollecitante massimo attorno l'asse y-y tra due ritegni all'inflessione attorno y-y. [daN*cm]

My,Rk: resistenza caratteristica a flessione attorno l'asse y-y. [daN*cm]

χ_x : coefficiente di riduzione per inflessione attorno l'asse x-x.

χ_y : coefficiente di riduzione per inflessione attorno l'asse y-y.

kxx: valore di kxx.

kxy: valore di kxy.

kyx: valore di kyx.

kyy: valore di kyy.

Estremo notevole: estremo notevole.

Asta FEM: indice dell'asta FEM.

Estremo asta: estremo dell'asta a cui è applicato.

Posizione: distanza dell'estremo notevole dal nodo iniziale dell'asta. Il valore è espresso in cm. [cm]

Ascissa: distanza dell'estremo dal nodo iniziale del superlemento. [cm]

Tipo: asse momento attorno a cui si sviluppa una cerniera, eventualmente dissipativa.

NEd,ED: sforzo normale agente sull'estremo dissipativo. [daN]

Npl,Rd,ED: capacità a sforzo normale dell'estremo dissipativo. [daN]

Quota nodo: quota del nodo trave/colonna in esame. [cm]

Cerniera plastica: zona di formazione di una cerniera plastica sulla colonna.

Interno: nodo interno alla colonna o di estremità (inferiore o superiore).

EN di colonne: estremi notevoli dei tronchi di colonna convergenti nel nodo.

Colonna senza EN: colonna convergente nel nodo senza estremo notevole.

EN di travi: estremi notevoli delle travi convergenti nel nodo.

Travi senza EN: travi convergenti nel nodo senza estremi notevoli.

Mx,Eff,Ed: momento interno efficace di verifica attorno x-x secondo ENV1993-1-1 §5.5.3. [daN*cm]

kLT: valore di kLT.

ky: valore di ky.

Wx: modulo resistente della sezione per inflessione attorno all'asse x-x. [cm³]

Wy: modulo resistente della sezione per inflessione attorno all'asse y-y. [cm³]

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 34 di 60

9.2. Verifiche vela in posizione Orizzontale

Si riportano di seguito, a titolo esplicativo, le verifiche dell'elemento trasverso e di un profilo di sostegno dei pannelli fotovoltaici.

9.2.1. Superelemento in acciaio "Fondazione"- "Testa montante" filo 30

Caratteristiche del materiale

Acciaio: S235, fyk = 2350

Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 252

Nodo iniziale: 3 Nodo finale: 31

Cerniera iniziale: No Cerniera finale: No

Sovraresistenza: 0% Sisma Z: No

Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
HEB240	90	106.07	11267.42	3922.84	10.31	6.08	938.95	326.9	1053.99	498.53

Verifiche di resistenza

Verifiche a forza assiale §4.2.4.1.2.1 - §4.2.4.1.2.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Riduzione da taglio	px	py	Verifica
0	SLU 17	0.032	1	-7490.5	237404.7		1	0	0	Si

Verifiche a forza assiale SLD §4.2.4.1.2.1 - §4.2.4.1.2.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Riduzione da taglio	px	py	Verifica
0	SLD 7	0.008	1	-1987.8	237404.7		1	0	0	Si

Verifica a taglio X §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
58.8	SLU 17	0.006	-663.9	110447.1	85.47	Considerata	1	Si

Verifica a taglio X SLD §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
252	SLD 6	0.003	-367	110447.1	85.47	Considerata	1	Si

Verifica a taglio Y §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
0	SLV 1	0.006	241.6	43020.3	33.31	Considerata	1	Si

Verifica a taglio Y SLD §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
0	SLD 1	0.004	176.8	43027.8	33.31	Considerata	1	Si

Verifica a torsione §4.2.4.1.2.5 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento torsione	Ted	TRd	Riduzione taglio resistente	Sfruttamento taglio-torsione	τEd,totale	τRd	Verifica
235.2	SLV 14	0.002	-103.4	64969	Considerata				Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 35 di 60

Verifica a torsione SLD §4.2.4.1.2.5 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento torsione	TEd	TRd	Riduzione taglio resistente	Sfruttamento taglio-torsione	$\tau_{Ed,totale}$	τ_{Rd}	Verifica
235.2	SLD 14	0.001	-75.3	64969	Considerata				Si

Verifica a presso/tenso flessione retta X §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	px	py	Verifica
42	SLV 15	0.029	1	-1948.2	237404.7	1	47911	2358937	1		0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione retta X SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	px	py	Verifica
58.8	SLD 15	0.022	1	-1933.7	237404.7	1	32093	2358937	1		0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione retta Y §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	px	py	Verifica
252	SLU 18	0.125	1	-7217.7	237404.7	1	106042	1115760	1		0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione retta Y SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	px	py	Verifica
252	SLD 5	0.05	1	-1763.2	237404.7	1	47083	1115760	1		0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione deviata §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	α	β	px	py	Verifica
0	SLV 5	0.064	1	-1971.1	237404.7	1	-17417	2358937	-53567	1115760	1		1				0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione deviata SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	α	β	px	py	Verifica
0	SLD 5	0.054	1	-1973.1	237404.7	1	-12745	2358937	-45405	1115760	1		1				0	0	Si

Verifiche ad instabilità

Caratteristiche iniziali

Membratura principale per controllo snellezza; Calcolo di snellezze ed N critici condotti secondo gli assi principali;

Curva X: a; Curva Y: b; Svergolamento: Carico all'estradosso; Curva svergolamento: c;

Dati per instabilità attorno a x

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	$\beta x/m$	Vincolo a entrambi estremi	$\lambda x/m$	λVer
1	Si		0				
			1-2	1	Si	24.5	Si, (<200)
2	Si	252					

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 36 di 60

Dati per instabilità attorno a y

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	$\beta y/n$	k,LT	kw,LT	Vincolo a entrambi estremi	$\lambda y/n$	λVer
1	Si	0	1-2	1	1	1	Si	41.4	Si, (<200)
2	Si	252							

Verifica di stabilità per pressoflessione §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	χ_x	χ_y	kxx	kxy	kyy	$\chi_{x,LT}$	Verifica	
0	SLU 17	0.074	1	-7490.5	249274.9	0	2476883.6	106041.8	1171547.7	0.978	0.875	0.601	0.242	0.995	0.404	1	Si

Verifica di stabilità per pressoflessione SLD §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	χ_x	χ_y	kxx	kxy	kyy	$\chi_{x,LT}$	Verifica	
0	SLD 1	0.039	1	-1978.2	249274.9	42479.9	2476883.6	32061.4	1171547.7	0.978	0.875	0.581	0.241	0.999	0.401	0.985	Si

Verifica di stabilità a taglio anima Y §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	20.6	1	60	Si

Verifica di stabilità a taglio anima Y SLD §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	20.6	1	60	Si

Verifiche a deformabilità

Mensola X: No; Mensola Y: No.

Verifiche non eseguite in quanto il superelemento è verticale.

Verifiche § 7.5 NTC18

Estremi dissipativi del superelemento

Estremo notevole	Asta FEM	Estremo asta	Posizione	Ascissa	Tipo
Piede asta 2		2	Iniziale	0	Dissipa Mx, Dissipa My

Verifiche di duttilità §7.5.3.2 NTC18

Classe peggiore 2 <= 3 ad ascissa 0 in comb. SLV 1.

Controllo dello sforzo normale nelle zone dissipative di colonna §7.5.3.2 [7.5.3] NTC18

Estremo notevole	Comb.	Sfruttamento	NEd,ED	Npl,Rd,ED	Verifica
Piede asta 2	SLV 7	0.008	-1989.7	237404.7	Si

Verifiche a resistenza ed instabilità della colonna §7.5.4.2 NTC18

Le verifiche previste non vengono condotte in quanto non esistono estremi notevoli dissipativi di trave idonei al calcolo di Ω .

$\gamma_{ov} = 1.25$

NB: superelemento non sollecitato. Verifiche non condotte.

Verifiche di gerarchia delle resistenze trave-colonna §7.5.4.2 [7.5.11] NTC18

Dati del nodo

Quota nodo	Cerniera plastica	Interno	EN di colonne	Tipo	Colonna senza EN	EN di travi	Tipo	Travi senza EN
0	Si	No	Piede asta 2	Dissipa Mx, Dissipa My				

$\gamma_{Rd} = 1.3$

Il nodo della colonna a quota 0 è zona di formazione di cerniera plastica e la verifica non deve essere

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 37 di 60

condotta.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 38 di 60

9.2.2. Superamento in acciaio a "Testa montante" 8-30

Caratteristiche del materiale

Acciaio: S235, fyk = 2350

Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 880

Nodo iniziale: 31 Nodo finale: 53

Cerniera iniziale: No Cerniera finale: No

Sovreresistenza: 0% Sisma Z: No

Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
EN10219 200x200x10	0	72.57	4251.06	4251.06	7.65	7.65	425.11	425.11	508.08	508.08

Verifiche di resistenza

Verifiche a forza assiale §4.2.4.1.2.1 - §4.2.4.1.2.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Riduzione da taglio	px	py	Verifica
880	SLU 18	0.011	1	-1822.2	162410.4		1	0	0	Si

Verifiche a forza assiale SLD §4.2.4.1.2.1 - §4.2.4.1.2.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Riduzione da taglio	px	py	Verifica
0	SLD 5	0.003	1	-543.9	162410.4		1	0	0	Si

Verifica a taglio X §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
16.9	SLV 4	0.002	106.2	46798.5	36.28	Considerata	1	Si

Verifica a taglio X SLD §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
11.5	SLD 4	0.002	77.6	46821.1	36.28	Considerata	1	Si

Verifica a taglio Y §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
0	SLU 17	0.082	3845.6	46883.9	36.28	Considerata	1	Si

Verifica a taglio Y SLD §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
0	SLD 9	0.021	967.3	46883.9	36.28	Considerata	1	Si

Verifica a torsione §4.2.4.1.2.5 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento torsione	TEd	TRd	Riduzione taglio resistente	Sfruttamento taglio-torsione	rEd,totale	rRd	Verifica
278.7	SLV 16	0.002	-1682.1	924069.4	Considerata				Si

Verifica a torsione SLD §4.2.4.1.2.5 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento torsione	TEd	TRd	Riduzione taglio resistente	Sfruttamento taglio-torsione	rEd,totale	rRd	Verifica
278.7	SLD 16	0.001	-1237.9	924069.4	Considerata				Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"						
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture			rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 39 di 60

Verifica a presso/tenso flessione retta X §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	px	py	Verifica
0	SLU 18	0.531	1	-1822.2	162410.4	1	590675	1137134	1		0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione retta Y §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	px	py	Verifica
729.3	SLV 13	0.013	1	-406.9	162410.4	1	-11444	1137134	1		0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione retta Y SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	px	py	Verifica
183.3	SLD 15	0.007	1	-408.4	162410.4	1	-5594	1137134	1		0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione deviata §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	α	β	px	py	Verifica
0	SLV 1	0.149	1	-472.5	162410.4	1	146512	1137134	-19566	1137134	1		1				0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione deviata SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	α	β	px	py	Verifica
0	SLD 1	0.144	1	-463.2	162410.4	1	145707	1137134	-14308	1137134	1		1				0	0	Si

Verifiche ad instabilità

Caratteristiche iniziali

Membratura principale per controllo snellezza; Calcolo di snellezze ed N critici condotti secondo gli assi principali;

Curva X: c; Curva Y: c; Svergolamento: Carico all'estradosso; Curva svergolamento: d;

Dati per instabilità attorno a x

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βx/m	Vincolo a entrambi estremi	λx/m	λVer
1	Si	0					
			1-2		1	115	Si, (<200)
2	Si	880					

Dati per instabilità attorno a y

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βy/n	k _{LT}	k _{w,LT}	Vincolo a entrambi estremi	λy/n	λVer
1	Si	0							
			1-2		1	1	1	115	Si, (<200)
2	Si	880							

Verifica di stabilità per pressoflessione §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	χ _x	χ _y	k _{xx}	k _{xy}	k _{yx}	k _{yy}	χ _{LT}	Verifica
880	SLU 18	0.543	1	-1822.2	170531	590675.1	1193990.6	0	1193990.6	0.422	0.422	0.541	0.368	0.99	0.613	0.996	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"

T-CSTO

Relazione di Calcolo Strutture

rev 00

Data 13.03.2024

Pagina 40 di 60

Verifica di stabilità per pressoflessione SLD §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	χ_x	χ_y	kxx	kxy	kyy	χ_{LT}	Verifica	
22.2	SLD 5	0.145	1	-543.9	170531	152758.3	1193990.6	4293.1	1193990.6	0.422	0.422	0.508	0.43	0.997	0.717	0.996	Si

Verifica di stabilità a taglio anima X §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	18	1	60	Si

Verifica di stabilità a taglio anima X SLD §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	18	1	60	Si

Verifica di stabilità a taglio anima Y §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	18	1	60	Si

Verifica di stabilità a taglio anima Y SLD §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	18	1	60	Si

Verifiche a deformabilità

Mensola X: No; Mensola Y: No.

Frecce lungo X

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
460.7	SLE RA 1	0	880	10000	250	Totale	Si
460.7	SLE RA 2	0	880	10000	250	Totale	Si
460.7	SLE RA 3	0	880	10000	250	Totale	Si
460.7	SLE RA 4	0	880	10000	250	Totale	Si
460.7	SLE RA 5	0	880	10000	250	Totale	Si
456.3	SLE RA 2	0	880	10000	350	Variabile	Si
456.3	SLE RA 3	0	880	10000	350	Variabile	Si
0	SLE RA 4	0	880	10000	350	Variabile	Si
456.3	SLE RA 5	0	880	10000	350	Variabile	Si

Frecce lungo Y

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
452	SLE RA 2	-1.309	880	672	250	Totale	Si
452	SLE RA 3	-1.309	880	672	250	Totale	Si
452	SLE RA 5	-0.888	880	991.2	250	Totale	Si
452	SLE RA 1	-0.466	880	1887.6	250	Totale	Si
452	SLE RA 4	-0.466	880	1887.6	250	Totale	Si
452	SLE RA 2	-0.843	880	1043.6	350	Variabile	Si
452	SLE RA 3	-0.843	880	1043.6	350	Variabile	Si
452	SLE RA 5	-0.422	880	2087.1	350	Variabile	Si
0	SLE RA 4	0	880	10000	350	Variabile	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 41 di 60

9.2.3. Super elemento in acciaio a "Fondazione"-"Testa montante"

Caratteristiche del materiale

Acciaio: S235, fyk = 2350, fuk = 3600

Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 148.5

Nodo iniziale: 19 Nodo finale: 20

Cerniera iniziale: No Cerniera finale: No

Sovreresistenza: 0% Sisma Z: No

Irrigidimento: No

Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
OMEGA 80*40*25*3	0	6.82	55.15	29.58	2.84	2.08	13.23	7.04	17.32	13.25

Processo di formatura: A rullo.

Caratteristiche della sezione lorda ricavate dalla sezione a spigoli vivi

Area,g	Wx,y max,g	Wx,y min,g	Wy,x max,g	Wy,x min,g	xS	yS	Iw	Ij
6.91	13.51	14.64	6.83	6.83	0	6.6	166.74	6.8

Caratteristiche della sezione efficace

Area,eff	Wx+,y max,eff	Wx+,y min,eff	Wx-,y max,eff	Wx-,y min,eff	Wy+,x max,eff	Wy+,x min,eff	Wy-,x max,eff	Wy-,x min,eff	eNx	eNy
6.91	13.51	14.64	13.51	14.64	6.83	6.83	6.83	6.83	0	0

Controlli geometrici

Verifica del massimo raggio § 5.1 (6) EN 1993-1-3:2006 + AC:2009

$r = 0.45 < 10.72$ - SODDISFATTA

Verifica del minimo raggio C11.3.4.11.2.1 NTC18

$r = 0.45 > 0.3$ - SODDISFATTA

Verifica dello spessore § 3.2.4 EN 1993-1-3:2006 + AC:2009

$t = 0.3: 0.08 < t < 1.6$ - SODDISFATTA

Verifica del rapporto larghezza/spessore Tab. C4.2.XIX NTC18

Lato	b/t	c/t	d/t	Max rapporto	Verifica
1-2		8.33		50	Si
2-3	26.67			60	Si
3-4	13.33			50	Si
5-4	26.67			60	Si
6-5		8.33		50	Si

Verifica degli angoli interni § 5.5.3.2 EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 ; Tab. C4.2.XIX NTC18

Id	Φ	Φ_{min}	Φ_{max}	Verifica
2	90	45	135	Si
3	90	45	90	Si
4	90	45	90	Si
5	90	45	135	Si

Verifiche di resistenza

Verifica a taglio Y §C4.2.12.1.5.4.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vb,Rd	fyk	Verifica
148.5	SLU 13	0.002	10.3	5997.2	2350	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 42 di 60

Verifica a taglio Y SLD §C4.2.12.1.5.4.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vb,Rd	fyk	Verifica
148.5	SLD 1	0.001	8	5997.2	2350	Si

Verifica a flessione semplice X §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	fymk	fyk	Verifica
148.5	SLU 13	0.022	-767.8	35421.5	2811.63		Si

Verifica a flessione semplice X SLD §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	fymk	fyk	Verifica
123.8	SLD 4	0.012	-410.2	35421.5	2811.63		Si

Verifica a flessione semplice Y §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
19.8	SLV 11	0.001	14	18278.6	2811.63		Si

Verifica a flessione semplice Y SLD §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
19.8	SLD 11	0.001	10.9	18278.6	2811.63		Si

Verifica a flessione deviata §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
148.5	SLV 12	0.022	-591	35421	105	18279	2811.63		Si

Verifica a flessione deviata SLD §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
148.5	SLD 12	0.021	-591	35421	82	18279	2811.63		Si

Verifiche ad instabilità

Caratteristiche iniziali

Membratura principale per controllo snellezza; Calcolo di snellezze ed N critici condotti secondo gli assi principali;

Curva X: b; Curva Y: b; Svergolamento: Carico all'estradosso; Curva svergolamento: b;

Verifica condotta considerando anche il carico critico Ncr a torsione/flesso-torsione.

Dati per instabilità attorno a x

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	$\beta x/m$	Vincolo a entrambi estremi	$\lambda x/m$	λVer
1	Si	0					
2	Si	148.5	1-2	1	Si	52.2	Si, (<200)

Dati per instabilità attorno a y

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	$\beta y/n$	k,LT	kw,LT	Vincolo a entrambi estremi	$\lambda y/n$	λVer
1	Si	0							
2	Si	148.5	1-2	1	1	1	Si	71.3	Si, (<200)

Verifica a svergolamento §C4.2.12.1.6.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	$\chi_{i,LT}$	λ adim. LT	L,LT	M,critico	Verifica
148.5	SLU 13	0.026	Si	-767.8	29514.1	0.997	0.209	148.5	713424.8	Si

Verifica a svergolamento SLD §C4.2.12.1.6.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	$\chi_{i,LT}$	λ adim. LT	L,LT	M,critico	Verifica
123.8	SLD 4	0.014	Si	-410.2	29514.1	0.997	0.209	148.5	713424.8	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"

T-CSTO

Relazione di Calcolo Strutture

rev 00

Data 13.03.2024

Pagina 43 di 60

Verifica di stabilità per pressoflessione con svergolamento § 6.5.2 ENV 1993-1-3:1996 + AC:1997

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Mx,Ed	My,Ed	Aeff	Weff,x.com	Weff,y.com	x,min	x,lat	kx	ky	kLT	x,LT	Verifica
148.5	SLV 12	0.027	0	-590.6	104.7	6.82	13.2	6.8	0.258	0.258	1	1	1	0.997	Si

Verifica di stabilità per pressoflessione con svergolamento SLD § 6.5.2 ENV 1993-1-3:1996 + AC:1997

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Mx,Ed	My,Ed	Aeff	Weff,x.com	Weff,y.com	x,min	x,lat	kx	ky	kLT	x,LT	Verifica
148.5	SLD 5	0.025	0	-590.6	-81.9	6.82	13.2	6.8	0.258	0.258	1	1	1	0.997	Si

Verifiche a deformabilità

Mensola X: No; Mensola Y: No.

Verifiche eseguite considerando, se necessario, la sezione efficace.

Frecce lungo X

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
84.1	SLE RA 1	0	148.5	10000	250	Totale	Si
64.4	SLE RA 2	0	148.5	10000	250	Totale	Si
64.4	SLE RA 3	0	148.5	10000	250	Totale	Si
84.1	SLE RA 4	0	148.5	10000	250	Totale	Si
94	SLE RA 5	0	148.5	10000	250	Totale	Si
79.2	SLE RA 2	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
79.2	SLE RA 3	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
0	SLE RA 4	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
79.2	SLE RA 5	0	148.5	10000	350	Variabile	Si

Frecce lungo Y

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
94	SLE RA 1	-0.004	148.5	10000	250	Totale	Si
94	SLE RA 2	-0.004	148.5	10000	250	Totale	Si
94	SLE RA 3	-0.004	148.5	10000	250	Totale	Si
94	SLE RA 4	-0.004	148.5	10000	250	Totale	Si
94	SLE RA 5	-0.004	148.5	10000	250	Totale	Si
34.7	SLE RA 2	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
34.7	SLE RA 3	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
0	SLE RA 4	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
34.7	SLE RA 5	0	148.5	10000	350	Variabile	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 44 di 60

9.2.4. Superelemento in acciaio a "Testa montante" 22-23

Caratteristiche del materiale

Acciaio: S235, fyk = 2350, fuk = 3600

Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 148.5

Nodo iniziale: 20 Nodo finale: 21

Cerniera iniziale: No Cerniera finale: No

Sovreresistenza: 0% Sisma Z: No

Irrigidimento: No

Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
OMEGA 80*40*25*3	0	6.82	55.15	29.58	2.84	2.08	13.23	7.04	17.32	13.25

Processo di formatura: A rullo.

Caratteristiche della sezione lorda ricavate dalla sezione a spigoli vivi

Area,g	Wx,y max,g	Wx,y min,g	Wy,x max,g	Wy,x min,g	xS	yS	Iw	Ij
6.91	13.51	14.64	6.83	6.83	0	6.6	166.74	6.8

Caratteristiche della sezione efficace

Area,eff	Wx+,y max,eff	Wx+,y min,eff	Wx-,y max,eff	Wx-,y min,eff	Wy+,x max,eff	Wy+,x min,eff	Wy-,x max,eff	Wy-,x min,eff	eNx	eNy
6.91	13.51	14.64	13.33	14.64	6.83	6.83	6.83	6.83	0	0

Controlli geometrici

Verifica del massimo raggio § 5.1 (6) EN 1993-1-3:2006 + AC:2009

$r = 0.45 < 10.72$ - SODDISFATTA

Verifica del minimo raggio C11.3.4.11.2.1 NTC18

$r = 0.45 > 0.3$ - SODDISFATTA

Verifica dello spessore § 3.2.4 EN 1993-1-3:2006 + AC:2009

$t = 0.3: 0.08 < t < 1.6$ - SODDISFATTA

Verifica del rapporto larghezza/spessore Tab. C4.2.XIX NTC18

Lato	b/t	c/t	d/t	Max rapporto	Verifica
1-2		8.33		50	Si
2-3	26.67			60	Si
3-4	13.33			500	Si
5-4	26.67			60	Si
6-5		8.33		50	Si

Verifica degli angoli interni § 5.5.3.2 EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 ; Tab. C4.2.XIX NTC18

Id	Φ	Φ_{min}	Φ_{max}	Verifica
2	90	45	135	Si
3	90	45	90	Si
4	90	45	90	Si
5	90	45	135	Si

Verifiche di resistenza

Verifica a taglio Y §C4.2.12.1.5.4.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vb,Rd	fyk	Verifica
0	SLU 18	0.002	-10.3	5997.2	2350	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 45 di 60

Verifica a taglio Y SLD §C4.2.12.1.5.4.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vb,Rd	fyk	Verifica
0	SLD 12	0.001	-8	5997.2	2350	Si

Verifica a flessione semplice X §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	fymk	fyk	Verifica
0	SLU 15	0.022	-767.8	35421.5	2811.63		Si

Verifica a flessione semplice X SLD §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	fymk	fyk	Verifica
0	SLD 13	0.017	-590.6	35421.5	2811.63		Si

Verifica a flessione semplice Y §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
128.7	SLV 12	0.001	14.1	18278.6	2811.63		Si

Verifica a flessione semplice Y SLD §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
128.7	SLD 7	0.001	11	18278.6	2811.63		Si

Verifica a flessione deviata §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
0	SLV 12	0.022	-591	35421	106	18279	2811.63		Si

Verifica a flessione deviata SLD §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
0	SLD 12	0.021	-591	35421	83	18279	2811.63		Si

Verifiche ad instabilità

Caratteristiche iniziali

Membratura principale per controllo snellezza; Calcolo di snellezze ed N critici condotti secondo gli assi principali;

Curva X: b; Curva Y: b; Svergolamento: Carico all'estradosso; Curva svergolamento: b;

Verifica condotta considerando anche il carico critico Ncr a torsione/flesso-torsione.

Dati per instabilità attorno a x

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	$\beta x/m$	Vincolo a entrambi estremi	$\lambda x/m$	λVer
1	Si	0					
2	Si	148.5	1-2	1	Si	52.2	Si, (<200)

Dati per instabilità attorno a y

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	$\beta y/n$	k,LT	kw,LT	Vincolo a entrambi estremi	$\lambda y/n$	λVer
1	Si	0							
2	Si	148.5	1-2	1	1	1	Si	71.3	Si, (<200)

Verifica a svergolamento §C4.2.12.1.6.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	χ_{LT}	$\lambda adim. LT$	L,LT	M,critico	Verifica
0	SLU 15	0.026	Si	-767.8	29514.1	0.997	0.209	148.5	713424.8	Si

Verifica a svergolamento SLD §C4.2.12.1.6.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	χ_{LT}	$\lambda adim. LT$	L,LT	M,critico	Verifica
0	SLD 13	0.02	Si	-590.6	29514.1	0.997	0.209	148.5	713424.8	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CST0	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 46 di 60

Verifica di stabilità per pressoflessione con svergolamento § 6.5.2 ENV 1993-1-3:1996 + AC:1997

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Mx,Ed	My,Ed	Aeff	Weff,x,com	Weff,y,com	$\chi_{,min}$	$\chi_{,lat}$	kx	ky	kLT	$\chi_{,LT}$	Verifica
0	SLV 12	0.027	0	-590.6	105.9	6.82	13.2	6.8	0.258	0.258	1	1	1	0.997	Si

Verifica di stabilità per pressoflessione con svergolamento SLD § 6.5.2 ENV 1993-1-3:1996 + AC:1997

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Mx,Ed	My,Ed	Aeff	Weff,x,com	Weff,y,com	$\chi_{,min}$	$\chi_{,lat}$	kx	ky	kLT	$\chi_{,LT}$	Verifica
0	SLD 11	0.025	0	-590.6	82.7	6.82	13.2	6.8	0.258	0.258	1	1	1	0.997	Si

Verifiche a deformabilità

Mensola X: No; Mensola Y: No.

Verifiche eseguite considerando, se necessario, la sezione efficace.

Frecce lungo X

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
79.2	SLE RA 1	0	148.5	10000	250	Totale	Si
74.3	SLE RA 2	0	148.5	10000	250	Totale	Si
74.3	SLE RA 3	0	148.5	10000	250	Totale	Si
79.2	SLE RA 4	0	148.5	10000	250	Totale	Si
74.3	SLE RA 5	0	148.5	10000	250	Totale	Si
74.3	SLE RA 2	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
74.3	SLE RA 3	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
0	SLE RA 4	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
74.3	SLE RA 5	0	148.5	10000	350	Variabile	Si

Frecce lungo Y

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
54.5	SLE RA 1	-0.004	148.5	10000	250	Totale	Si
54.5	SLE RA 2	-0.004	148.5	10000	250	Totale	Si
54.5	SLE RA 3	-0.004	148.5	10000	250	Totale	Si
54.5	SLE RA 4	-0.004	148.5	10000	250	Totale	Si
54.5	SLE RA 5	-0.004	148.5	10000	250	Totale	Si
84.2	SLE RA 2	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
84.2	SLE RA 3	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
0	SLE RA 4	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
84.2	SLE RA 5	0	148.5	10000	350	Variabile	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 47 di 60

9.3. Verifiche vela in posizione inclinata

Si riportano di seguito, a titolo esplicativo, le verifiche dell'elemento trasverso e di un profilo di sostegno dei pannelli fotovoltaici

9.3.1. Superelemento in acciaio "Fondazione"- "Testa montante" filo 28

Caratteristiche del materiale

Acciaio: S235, fyk = 2350

Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 252

Nodo iniziale: 3 Nodo finale: 32

Cerniera iniziale: No Cerniera finale: No

Sovraresistenza: 0% Sisma Z: No

Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
HEB240	90	106.07	11267.42	3922.84	10.31	6.08	938.95	326.9	1053.99	498.53

Verifiche di resistenza

Verifiche a forza assiale §4.2.4.1.2.1 - §4.2.4.1.2.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Riduzione da taglio	px	py	Verifica
0	SLU 19	0.034	1	-8098.4	237404.7		1	0	0	Si

Verifiche a forza assiale SLD §4.2.4.1.2.1 - §4.2.4.1.2.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Riduzione da taglio	px	py	Verifica
0	SLD 7	0.009	1	-2059.3	237404.7		1	0	0	Si

Verifica a taglio X §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
0	SLU 19	0.006	-667	109952.4	85.47	Considerata	1	Si

Verifica a taglio X SLD §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
252	SLD 6	0.003	-322.8	110447.1	85.47	Considerata	1	Si

Verifica a taglio Y §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
252	SLU 14	0.192	-8217.9	42854.9	33.31	Considerata	1	Si

Verifica a taglio Y SLD §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
252	SLD 4	0.004	155	43033.4	33.31	Considerata	1	Si

Verifica a torsione §4.2.4.1.2.5 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento torsione	TEd	TRd	Riduzione taglio resistente	Sfruttamento taglio-torsione	τEd,totale	τRd	Verifica
117.6	SLU 5	0.011	-725.9	64969	Considerata				Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 48 di 60

Verifica a torsione SLD §4.2.4.1.2.5 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento torsione	TEd	TRd	Riduzione taglio resistente	Sfruttamento taglio-torsione	τEd,totale	τRd	Verifica
0	SLD 1	0.001	54.4	64969	Considerata				Si

Verifica a presso/tenso flessione retta X §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	px	py	Verifica
92.4	SLU 13	0.338	1	-5092.8	237404.7	1	745712	2358937	1		0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione retta X SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	px	py	Verifica
67.2	SLD 3	0.02	1	-1999.1	237404.7	1	-26485	2358937	1		0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione retta Y §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	px	py	Verifica
243.6	SLU 19	0.123	1	-7834.7	237404.7	1	100350	1115760	1		0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione retta Y SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	px	py	Verifica
252	SLD 5	0.046	1	-1837	237404.7	1	43015	1115760	1		0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione deviata §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	α	β	px	py	Verifica
0	SLU 19	0.939	1	-8098.4	237404.7	1	2002190	2358937	-62130	1115760	1		1				0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione deviata SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	α	β	px	py	Verifica
0	SLD 9	0.048	1	-2046.7	237404.7	1	11204	2358937	-38289	1115760	1		1				0	0	Si

Verifiche ad instabilità

Caratteristiche iniziali

Membratura principale per controllo snellezza; Calcolo di snellezze ed N critici condotti secondo gli assi principali;

Curva X: a; Curva Y: b; Svergolamento: Carico all'estradosso; Curva svergolamento: c;

Dati per instabilità attorno a x

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βx/m	Vincolo a entrambi estremi	λx/m	λVer
1	Si		0				
			1-2		1	Si	24.5
2	Si	252					Si, (<200)

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 49 di 60

Dati per instabilità attorno a y

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	$\beta/y/n$	k,LT	kw,LT	Vincolo a entrambi estremi	$\lambda y/n$	λVer
1	Si	0							
			1-2		1	1	Si	41.4	Si, (<200)
2	Si	252							

Verifica di stabilità per pressoflessione §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	χ_x	χ_y	kxx	kxy	kyy	$\chi_{,LT}$	Verifica	
0	SLU 20	0.922	1	-8098.4	249274.9	2002189.9	2476883.6	105952.5	1171547.7	0.978	0.875	0.588	0.243	0.995	0.404	1	Si

Verifica di stabilità per pressoflessione SLD §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	χ_x	χ_y	kxx	kxy	kyy	$\chi_{,LT}$	Verifica	
0	SLD 1	0.037	1	-2051.4	249274.9	36794.3	2476883.6	30178.2	1171547.7	0.978	0.875	0.579	0.241	0.999	0.401	0.985	Si

Verifica di stabilità a taglio anima Y §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica	
1.2		20.6	1	60	Si

Verifica di stabilità a taglio anima Y SLD §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica	
1.2		20.6	1	60	Si

Verifiche a deformabilità

Mensola X: No; Mensola Y: No.

Verifiche non eseguite in quanto il superelemento è verticale.

Verifiche § 7.5 NTC18

Estremi dissipativi del superelemento

Estremo notevole	Asta FEM	Estremo asta	Posizione	Ascissa	Tipo
Piede asta 2		2	Iniziale	0	Dissipa Mx, Dissipa My

Verifiche di duttilità §7.5.3.2 NTC18

Classe peggiore 2 <= 3 ad ascissa 0 in comb. SLV 1.

Controllo dello sforzo normale nelle zone dissipative di colonna §7.5.3.2 [7.5.3] NTC18

Estremo notevole	Comb.	Sfruttamento	NEd,ED	Npl,Rd,ED	Verifica
Piede asta 2	SLV 7	0.009	-2061.3	237404.7	Si

Verifiche a resistenza ed instabilità della colonna §7.5.4.2 NTC18

Le verifiche previste non vengono condotte in quanto non esistono estremi notevoli dissipativi di trave idonei al calcolo di Ω .

$\gamma_{ov} = 1.25$

NB: superelemento non sollecitato. Verifiche non condotte.

Verifiche di gerarchia delle resistenze trave-colonna §7.5.4.2 [7.5.11] NTC18

Dati del nodo

Quota nodo	Cerniera plastica	Interno	EN di colonne	Tipo	Colonna senza EN	EN di travi	Tipo	Travi senza EN
0	Si	No	Piede asta 2	Dissipa Mx, Dissipa My				

$\gamma_{Rd} = 1.3$

Il nodo della colonna a quota 0 è zona di formazione di cerniera plastica e la verifica non deve essere

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 50 di 60

condotta.

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 51 di 60

9.3.2. Superamento in acciaio a "Testa montante" 28-36

Caratteristiche del materiale

Acciaio: S235, fyk = 2350

Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 880

Nodo iniziale: 32 Nodo finale: 40

Cerniera iniziale: No Cerniera finale: No

Sovreresistenza: 0% Sisma Z: No

Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
EN10219 220x220x10	0	80.57	5782.46	5782.46	8.47	8.47	525.68	525.68	624.65	624.65

Verifiche di resistenza

Verifiche a forza assiale §4.2.4.1.2.1 - §4.2.4.1.2.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Riduzione da taglio	px	py	Verifica
27.3	SLU 19	0.01	1	-1800.4	180315.2		1	0	0	Si

Verifiche a forza assiale SLD §4.2.4.1.2.1 - §4.2.4.1.2.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Riduzione da taglio	px	py	Verifica
0	SLD 5	0.003	1	-499.8	180315.2		1	0	0	Si

Verifica a taglio X §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
0	SLU 4	0.085	-4330.8	50747.4	40.28	Considerata	0.97	Si

Verifica a taglio X SLD §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
0	SLD 1	0.001	69.9	51990.1	40.28	Considerata	1	Si

Verifica a taglio Y §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
0	SLU 19	0.082	4163.5	50747.4	40.28	Considerata	0.97	Si

Verifica a taglio Y SLD §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
0	SLD 6	0.019	1001.6	52052.5	40.28	Considerata	1	Si

Verifica a torsione §4.2.4.1.2.5 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento torsione	TEd	TRd	Riduzione taglio resistente	Sfruttamento taglio-torsione	rEd,totale	rRd	Verifica
300.3	SLU 20	0.025	-28352.5	1130815.8	Considerata				Si

Verifica a torsione SLD §4.2.4.1.2.5 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento torsione	TEd	TRd	Riduzione taglio resistente	Sfruttamento taglio-torsione	rEd,totale	rRd	Verifica
673	SLD 2	0.001	1422.7	1130815.8	Considerata				Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"						
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture			rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 52 di 60

Verifica a presso/tenso flessione retta X §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	px	py	Verifica
831.2	SLU 20	0.223	1	-1800.4	180315.2	1	297560	1398021	1		0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione retta Y §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	px	py	Verifica
183.3	SLV 3	0.007	1	-385	180315.2	1	6828	1398021	1		0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione retta Y SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	px	py	Verifica
187.7	SLD 13	0.006	1	-421.5	180315.2	1	-5053	1398021	1		0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione deviata §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	α	β	px	py	Verifica
0	SLU 20	0.933	1	-1800.4	180315.2	1	641292	1398021	649050	1398021	1		1				0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione deviata SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	α	β	px	py	Verifica
0	SLD 1	0.119	1	-434.4	180315.2	1	151244	1398021	-11832	1398021	1		1				0	0	Si

Verifiche ad instabilità

Caratteristiche iniziali

Membratura principale per controllo snellezza; Calcolo di snellezze ed N critici condotti secondo gli assi principali;

Curva X: c; Curva Y: c; Svergolamento: Carico all'estradosso; Curva svergolamento: d;

Dati per instabilità attorno a x

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βx/m	Vincolo a entrambi estremi	λx/m	λVer
1	Si		0				
2	Si		880		1	103.9	Si, (<200)

Dati per instabilità attorno a y

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βy/n	k,LT	kw,LT	Vincolo a entrambi estremi	λy/n	λVer
1	Si		0						
2	Si		880		1	1	Si	103.9	Si, (<200)

Verifica di stabilità per pressoflessione §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	χx	χy	kxx	kxy	kyy	χ,LT	Verifica	
417.3	SLU 19	0.794	1	-1800.4	189331	641291.7	1467921.6	649049.6	1467921.6	0.481	0.481	0.545	0.411	0.993	0.685	1	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"						
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture			rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 53 di 60

Verifica di stabilità per pressoflessione SLD §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	x,x	x,y	kxx	kxy	kyy	kyy	x,LT	Verifica
23	SLD 6	0.12	1	-499.8	189331	157287.6	1467921.6	3590.1	1467921.6	0.481	0.481	0.519	0.488	0.998	0.813	1	Si

Verifica di stabilità a taglio anima X §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	20	1	60	Si

Verifica di stabilità a taglio anima X SLD §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	20	1	60	Si

Verifica di stabilità a taglio anima Y §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	20	1	60	Si

Verifica di stabilità a taglio anima Y SLD §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	20	1	60	Si

Verifiche a deformabilità

Mensola X: No; Mensola Y: No.

Frecce lungo X

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
478	SLE RA 4	1.74	880	505.7	250	Totale	Si
478	SLE RA 5	1.74	880	505.7	250	Totale	Si
478	SLE RA 3	1.044	880	842.9	250	Totale	Si
486.7	SLE RA 1	0	880	10000	250	Totale	Si
486.7	SLE RA 2	0	880	10000	250	Totale	Si
478	SLE RA 4	1.74	880	505.7	350	Variabile	Si
478	SLE RA 5	1.74	880	505.7	350	Variabile	Si
478	SLE RA 3	1.044	880	842.9	350	Variabile	Si
0	SLE RA 2	0	880	10000	350	Variabile	Si

Frecce lungo Y

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
456.3	SLE RA 4	-1.088	880	809.1	250	Totale	Si
456.3	SLE RA 5	-1.088	880	809.1	250	Totale	Si
456.3	SLE RA 3	-0.801	880	1098.5	250	Totale	Si
456.3	SLE RA 1	-0.371	880	2370.6	250	Totale	Si
456.3	SLE RA 2	-0.371	880	2370.6	250	Totale	Si
456.3	SLE RA 4	-0.716	880	1228.3	350	Variabile	Si
456.3	SLE RA 5	-0.716	880	1228.3	350	Variabile	Si
456.3	SLE RA 3	-0.43	880	2047.1	350	Variabile	Si
0	SLE RA 2	0	880	10000	350	Variabile	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 54 di 60

9.3.3. Super elemento in acciaio a "Fondazione"-"Testa montante"

Caratteristiche del materiale

Acciaio: S235, fyk = 2350, fuk = 3600

Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 148.5

Nodo iniziale: 9 Nodo finale: 28

Cerniera iniziale: No Cerniera finale: No

Sovreresistenza: 0% Sisma Z: No

Irrigidimento: No

Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
OMEGA 80*40*25*3	0	6.82	55.15	29.58	2.84	2.08	13.23	7.04	17.32	13.25

Processo di formatura: A rullo.

Caratteristiche della sezione lorda ricavate dalla sezione a spigoli vivi

Area,g	Wx,y max,g	Wx,y min,g	Wy,x max,g	Wy,x min,g	xS	yS	Iw	Ij
6.91	13.51	14.64	6.83	6.83	0	6.6	166.74	6.8

Caratteristiche della sezione efficace

Area,eff	Wx+,y max,eff	Wx+,y min,eff	Wx-,y max,eff	Wx-,y min,eff	Wy+,x max,eff	Wy+,x min,eff	Wy-,x max,eff	Wy-,x min,eff	eNx	eNy
6.91	13.51	14.64	13.51	14.64	6.83	6.83	6.83	6.83	0	0

Controlli geometrici

Verifica del massimo raggio § 5.1 (6) EN 1993-1-3:2006 + AC:2009

$r = 0.45 < 10.72$ - SODDISFATTA

Verifica del minimo raggio C11.3.4.11.2.1 NTC18

$r = 0.45 > 0.3$ - SODDISFATTA

Verifica dello spessore § 3.2.4 EN 1993-1-3:2006 + AC:2009

$t = 0.3: 0.08 < t < 1.6$ - SODDISFATTA

Verifica del rapporto larghezza/spessore Tab. C4.2.XIX NTC18

Lato	b/t	c/t	d/t	Max rapporto	Verifica
1-2		8.33		50	Si
2-3	26.67			60	Si
3-4	13.33			50	Si
5-4	26.67			60	Si
6-5		8.33		50	Si

Verifica degli angoli interni § 5.5.3.2 EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 ; Tab. C4.2.XIX NTC18

Id	Φ	Φ_{min}	Φ_{max}	Verifica
2	90	45	135	Si
3	90	45	90	Si
4	90	45	90	Si
5	90	45	135	Si

Verifiche di resistenza

Verifica a taglio Y §C4.2.12.1.5.4.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vb,Rd	fyk	Verifica
148.5	SLU 16	0.001	5.9	5997.2	2350	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 55 di 60

Verifica a taglio Y SLD §C4.2.12.1.5.4.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vb,Rd	fyk	Verifica
148.5	SLD 15	0.001	4.9	5997.2	2350	Si

Verifica a flessione semplice X §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	fymk	fyk	Verifica
148.5	SLU 7	0.01	-338.8	35421.5	2811.63		Si

Verifica a flessione semplice X SLD §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	fymk	fyk	Verifica
64.4	SLD 16	0.002	-86.3	35421.5	2811.63		Si

Verifica a flessione semplice Y §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
29.7	SLV 8	0.001	19.5	18278.6	2811.63		Si

Verifica a flessione semplice Y SLD §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
29.7	SLD 8	0.001	14.7	18278.6	2811.63		Si

Verifica a flessione deviata §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
148.5	SLV 10	0.015	-359	35421	-97	18279	2811.63		Si

Verifica a flessione deviata SLD §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
148.5	SLD 9	0.014	-354	35421	-74	18279	2811.63		Si

Verifica a presso/tenso flessione §C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Mx,Ed	Mcx,Rd,com	Mcx,Rd,ten	My,Ed	Mcy,Rd,com	Mcy,Rd,ten	fymk	fyk	Verifica
148.5	SLU 17	0.012	8.5		18272.1	-440.4	35421.47	38551.68	0	18278.59	18278.59	2811.63		Si

Verifiche ad instabilità

Caratteristiche iniziali

Membratura principale per controllo snellezza; Calcolo di snellezze ed N critici condotti secondo gli assi principali;

Curva X: b; Curva Y: b; Svergolamento: Carico all'estradosso; Curva svergolamento: b;

Verifica condotta considerando anche il carico critico Ncr a torsione/flesso-torsione.

Dati per instabilità attorno a x

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	$\beta x/m$	Vincolo a entrambi estremi	$\lambda x/m$	λVer
1	Si	0					
			1-2		1	52.2	Si, (<200)
2	Si	148.5					

Dati per instabilità attorno a y

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	$\beta y/n$	k,LT	kw,LT	Vincolo a entrambi estremi	$\lambda y/n$	λVer
1	Si	0							
			1-2		1	1	Si	71.3	Si, (<200)
2	Si	148.5							

Verifica a svergolamento §C4.2.12.1.6.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	χ_{LT}	$\lambda_{adim.LT}$	L,LT	M,critico	Verifica
148.5	SLU 7	0.011	Si	-338.8	29514.1	0.997	0.209	148.5	713424.8	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 56 di 60

Verifica a svergolamento SLD §C4.2.12.1.6.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	χ_{LT}	λ adim. LT	L,LT	M,critico	Verifica
64.4	SLD 16	0.003	Si	-86.3	29514.1	0.997	0.209	148.5	713424.8	Si

Verifica a svergolamento con trazione §C4.2.12.1.6.2 NTC18 § 5.5.3 ENV 1993-1-1:1992 + AC:1992 + A1:1994 + A2:1998

X	Comb.	Sfruttamento	Obblig.	NEd	Mx,Ed	Mx,Eff,Ed	Mb,Rd,x	χ_{LT}	λ adim. LT	L,LT	M,critico	Verifica
148.5	SLU 17	0.015	Si	8.5	-440.4	-428.9	29514.1	0.997	0.209	148.5	713424.8	Si

Verifica di stabilità per tenso-flessione deviata § 6.5.1 ENV 1993-1-3:1996 + AC:1997 § 5.5.3 ENV 1993-1-1:1992 + AC:1992 + A1:1994 + A2:1998

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Mx,Ed	Mx,Eff,Ed	My,Ed	χ_{LT}	kLT	ky	M,critico	Weff,x,com	Weff,y,com	Verifica
148.5	SLV 3	0.011	6.8	-268.6	-259.3	37.2	0.997	1	1	713424.8	13.2	6.8	Si

Verifica di stabilità per pressoflessione con svergolamento § 6.5.2 ENV 1993-1-3:1996 + AC:1997

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Mx,Ed	My,Ed	Aeff	Weff,x,com	Weff,y,com	χ_{min}	χ_{lat}	kx	ky	kLT	χ_{LT}	Verifica
148.5	SLV 9	0.019	0	-359.4	-97.3	6.82	13.2	6.8	0.258	0.258	1	1	1	0.997	Si

Verifica di stabilità per pressoflessione con svergolamento SLD § 6.5.2 ENV 1993-1-3:1996 + AC:1997

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Mx,Ed	My,Ed	Aeff	Weff,x,com	Weff,y,com	χ_{min}	χ_{lat}	kx	ky	kLT	χ_{LT}	Verifica
148.5	SLD 9	0.017	0	-354.1	-73.6	6.82	13.2	6.8	0.258	0.258	1	1	1	0.997	Si

Verifiche a deformabilità

Mensola X: No; Mensola Y: No.

Verifiche eseguite considerando, se necessario, la sezione efficace.

Freccie lungo X

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
94.1	SLE RA 1	0	148.5	10000	250	Totale	Si
94.1	SLE RA 2	0	148.5	10000	250	Totale	Si
94.1	SLE RA 3	0	148.5	10000	250	Totale	Si
94.1	SLE RA 4	0	148.5	10000	250	Totale	Si
94.1	SLE RA 5	0	148.5	10000	250	Totale	Si
0	SLE RA 2	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
108.9	SLE RA 3	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
108.9	SLE RA 4	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
108.9	SLE RA 5	0	148.5	10000	350	Variabile	Si

Freccie lungo Y

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
94.1	SLE RA 1	-0.003	148.5	10000	250	Totale	Si
94.1	SLE RA 2	-0.003	148.5	10000	250	Totale	Si
94.1	SLE RA 3	-0.003	148.5	10000	250	Totale	Si
94.1	SLE RA 4	-0.003	148.5	10000	250	Totale	Si
94.1	SLE RA 5	-0.003	148.5	10000	250	Totale	Si
0	SLE RA 2	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
84.2	SLE RA 3	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
84.2	SLE RA 4	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
84.2	SLE RA 5	0	148.5	10000	350	Variabile	Si

9.3.4. Super elemento in acciaio a "Fondazione"-"Testa montante"

Caratteristiche del materiale

Acciaio: S235, fyk = 2350, fuk = 3600

Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 148.5

Nodo iniziale: 28 Nodo finale: 48

Cerniera iniziale: No Cerniera finale: No

Sovreresistenza: 0% Sisma Z: No

Irrigidimento: No

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 57 di 60

Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
OMEGA 80*40*25*3	0	6.82	55.15	29.58	2.84	2.08	13.23	7.04	17.32	13.25

Processo di formatura: A rullo.

Caratteristiche della sezione lorda ricavate dalla sezione a spigoli vivi

Area,g	Wx,y max,g	Wx,y min,g	Wy,x max,g	Wy,x min,g	xS	yS	lw	yj
6.91	13.51	14.64	6.83	6.83	0	6.6	166.74	6.8

Caratteristiche della sezione efficace

Area,eff	Wx+,y max,eff	Wx+,y min,eff	Wx-,y max,eff	Wx-,y min,eff	Wy+,x max,eff	Wy+,x min,eff	Wy-,x max,eff	Wy-,x min,eff	eNx	eNy
6.91	13.51	14.64	13.51	14.64	6.83	6.83	6.83	6.83	0	0

Controlli geometrici

Verifica del massimo raggio § 5.1 (6) EN 1993-1-3:2006 + AC:2009

$r = 0.45 < 10.72$ - SODDISFATTA

Verifica del minimo raggio C11.3.4.11.2.1 NTC18

$r = 0.45 > 0.3$ - SODDISFATTA

Verifica dello spessore § 3.2.4 EN 1993-1-3:2006 + AC:2009

$t = 0.3: 0.08 < t < 1.6$ - SODDISFATTA

Verifica del rapporto larghezza/spessore Tab. C4.2.XIX NTC18

Lato	b/t	c/t	d/t	Max rapporto	Verifica
1-2		8.33		50	Si
2-3	26.67			60	Si
3-4	13.33			500	Si
5-4	26.67			60	Si
6-5		8.33		50	Si

Verifica degli angoli interni § 5.5.3.2 EN 1993-1-3:2006 + AC:2009 ; Tab. C4.2.XIX NTC18

Id	Φ	Φ_{min}	Φ_{max}	Verifica
2	90	45	135	Si
3	90	45	90	Si
4	90	45	90	Si
5	90	45	135	Si

Verifiche di resistenza

Verifica a taglio Y §C4.2.12.1.5.4.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vb,Rd	fyk	Verifica
0	SLU 20	0.001	-5.9	5997.2	2350	Si

Verifica a taglio Y SLD §C4.2.12.1.5.4.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vb,Rd	fyk	Verifica
0	SLD 15	0.001	-5.1	5997.2	2350	Si

Verifica a flessione semplice X §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	fymk	fyk	Verifica
0	SLU 10	0.01	-338.8	35421.5	2811.63		Si

Verifica a flessione semplice X SLD §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	fymk	fyk	Verifica
34.7	SLD 15	0.007	-257.7	35421.5	2811.63		Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CSTO	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 58 di 60

Verifica a flessione semplice Y §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
113.9	SLV 8	0.001	16.7	18278.6	2811.63		Si

Verifica a flessione semplice Y SLD §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
113.9	SLD 5	0.001	-11.7	18278.6	2811.63		Si

Verifica a flessione deviata §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
0	SLV 9	0.014	-369	35421	-72	18279	2811.63		Si

Verifica a flessione deviata SLD §§C4.2.12.1.5.3-C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Mx,Ed	Mcx,Rd	My,Ed	Mcy,Rd	fymk	fyk	Verifica
0	SLD 9	0.013	-361	35421	-54	18279	2811.63		Si

Verifica a presso/tenso flessione §C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Mx,Ed	Mcx,Rd,com	Mcx,Rd,ten	My,Ed	Mcy,Rd,com	Mcy,Rd,ten	fymk	fyk	Verifica
0	SLU 20	0.013	-8.5	18272.1		-440.4	35421.47	38551.68	0	18278.59	18278.59	2811.63		Si

Verifica a presso/tenso flessione SLD §C4.2.12.1.5.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Mx,Ed	Mcx,Rd,com	Mcx,Rd,ten	My,Ed	Mcy,Rd,com	Mcy,Rd,ten	fymk	fyk	Verifica
0	SLD 3	0.009	-6.9	18272.1		-262.66	35421.47	38551.68	22.29	18278.59	18278.59	2811.63		Si

Verifiche ad instabilità

Caratteristiche iniziali

Membratura principale per controllo snellezza; Calcolo di snellezze ed N critici condotti secondo gli assi principali;

Curva X: b; Curva Y: b; Svergolamento: Carico all'estradosso; Curva svergolamento: b;

Verifica condotta considerando anche il carico critico Ncr a torsione/flesso-torsione.

Dati per instabilità attorno a x

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	$\beta x/m$	Vincolo a entrambi estremi	$\lambda x/m$	λVer
1	Si	0					
2	Si	148.5	1-2		1	52.2	Si, (<200)

Dati per instabilità attorno a y

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	$\beta y/n$	k,LT	kw,LT	Vincolo a entrambi estremi	$\lambda y/n$	λVer
1	Si	0							
2	Si	148.5	1-2		1	1	Si	71.3	Si, (<200)

Verifica a svergolamento §C4.2.12.1.6.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	χ_{LT}	λ adim. LT	L,LT	M,critico	Verifica
0	SLU 10	0.011	Si	-338.8	29514.1	0.997	0.209	148.5	713424.8	Si

Verifica a svergolamento SLD §C4.2.12.1.6.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	χ_{LT}	λ adim. LT	L,LT	M,critico	Verifica
34.7	SLD 15	0.009	Si	-257.7	29514.1	0.997	0.209	148.5	713424.8	Si

Verifica di stabilità per pressoflessione con svergolamento § 6.5.2 ENV 1993-1-3:1996 + AC:1997

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Mx,Ed	My,Ed	Aeff	Weff,x,com	Weff,y,com	χ_{min}	χ_{lat}	kx	ky	kLT	χ_{LT}	Verifica
0	SLV 9	0.017	0	-368.7	-71.5	6.82	13.2	6.8	0.258	0.258	1	1	1	0.997	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"

T-CSTO

Relazione di Calcolo Strutture

rev 00

Data 13.03.2024

Pagina 59 di 60

Verifica di stabilità per pressoflessione con svergolamento SLD § 6.5.2 ENV 1993-1-3:1996 + AC:1997

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Mx,Ed	My,Ed	Aeff	Weff,x,com	Weff,y,com	χ_{min}	χ_{lat}	kx	ky	kLT	χ_{LT}	Verifica
0	SLD 10	0.016	0	-361.1	-54	6.82	13.2	6.8	0.258	0.258	1	1	1	0.997	Si

Verifica di stabilità per pressoflessione retta § 6.2.5 (2) EN 1993-1-3:2006 + AC:2009

X	Comb.	Sfruttamento	NEd	Nb,Rd	Mx,Ed	Mb,Rd,x	χ_{min}	l0 x/m	l0 y/n	$\lambda_{adim. x/m}$	$\lambda_{adim. y/n}$	N,crit x/m	N,crit y/n	χ_{LT}	$\lambda_{adim. LT}$	M,critico	Verifica
0	SLU 19	0.042	-8.5	3935.2	-440.4	29514.1	0.258	148.5	148.5	0.556	1.777	51835.1	5077	0.997	0.209	713424.8	Si

Verifiche a deformabilità

Mensola X: No; Mensola Y: No.

Verifiche eseguite considerando, se necessario, la sezione efficace.

Frecce lungo X

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
54.5	SLE RA 1	0	148.5	10000	250	Totale	Si
54.5	SLE RA 2	0	148.5	10000	250	Totale	Si
54.5	SLE RA 3	0	148.5	10000	250	Totale	Si
54.5	SLE RA 4	0	148.5	10000	250	Totale	Si
54.5	SLE RA 5	0	148.5	10000	250	Totale	Si
0	SLE RA 2	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
79.2	SLE RA 3	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
79.2	SLE RA 4	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
79.2	SLE RA 5	0	148.5	10000	350	Variabile	Si

Frecce lungo Y

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
54.5	SLE RA 1	-0.003	148.5	10000	250	Totale	Si
54.5	SLE RA 2	-0.003	148.5	10000	250	Totale	Si
54.5	SLE RA 3	-0.003	148.5	10000	250	Totale	Si
54.5	SLE RA 4	-0.003	148.5	10000	250	Totale	Si
54.5	SLE RA 5	-0.003	148.5	10000	250	Totale	Si
0	SLE RA 2	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
64.4	SLE RA 3	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
64.4	SLE RA 4	0	148.5	10000	350	Variabile	Si
64.4	SLE RA 5	0	148.5	10000	350	Variabile	Si

IMPIANTO AGRIVOLTAICO "ADRIA BELLOMBRA"				
T-CST0	Relazione di Calcolo Strutture	rev 00	Data 13.03.2024	Pagina 60 di 60

10.ALLEGATO 04 - VERIFICHE GEOTECNICHE DEI PALI

NORMATIVA DI RIFERIMENTO**D.M. 17/01/2018**

Le verifiche al carico limite (di tipo geotecnico) e strutturali vengono svolte con il metodo agli Stati Limite Ultimi (S.L.U.)

Coeff. parziali o di sicurezza sulle azioni (A)

gruppo A1 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- azioni permanenti con effetto favorevole alla sicurezza, $g_{Gi}=1$ (1)
- azioni permanenti con effetto sfavorevole alla sicurezza, $g_{Gs}=1,3$ (1,3)
- azioni variabili con effetto favorevole alla sicurezza, $g_{Qi}=0$ (0)
- azioni variabili con effetto sfavorevole alla sicurezza, $g_{Qs} = 1,5$ (1,5)

gruppo A2 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- azioni permanenti con effetto favorevole alla sicurezza, $g_{Gi}=1$ (1)
- azioni permanenti con effetto sfavorevole alla sicurezza, $g_{Gs}=1$ (1)
- azioni variabili con effetto favorevole alla sicurezza, $g_{Qi}=0$ (0)
- azioni variabili con effetto sfavorevole alla sicurezza, $g_{Qs}=1,3$ (1,3)

Coeff. parziali o di sicurezza per i parametri geotecnici dei terreni (M)

gruppo M1 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- tangente dell'angolo di resistenza al taglio, $g_f=1$ (1)
- coesione efficace, $g_c=1$ (1)
- coesione non drenata, $g_{cu}=1$ (1)

gruppo M2 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- tangente dell'angolo di resistenza al taglio, $g_f=1,25$ (1,25)
- coesione efficace, $g_c=1,25$ (1,25)
- coesione non drenata, $g_{cu}=1,4$ (1,4)

Coeff. parziali o di sicurezza sulle resistenze globali dei sistemi geotecnici (R)

gruppo R1 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- resistenza alla base, $g_b=1$ (1)
- resistenza laterale in compressione, $g_s=1$ (1)
- resistenza laterale in trazione, $g_{st}=1$ (1)
- resistenza a carichi trasversali, $g_T=1$ (1)

gruppo R2 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- resistenza alla base per pali battuti, $g_b=1,45$ (1,45)
- resistenza alla base per pali trivellati, $g_b=1,7$ (1,7)
- resistenza alla base per pali ad elica continua, $g_b=1,6$ (1,6)

resistenza laterale in compressione, $g_s=1,45$ (1,45)

resistenza laterale in trazione, $g_{st}=1,6$ (1,6)

resistenza a carichi trasversali, $g_T=1,6$ (1,6)

gruppo R3 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

resistenza alla base per pali battuti, $g_b=1,15$ (1,15)

resistenza alla base per pali trivellati, $g_b=1,35$ (1,35)

resistenza alla base per pali ad elica continua, $g_b=1,3$ (1,3)

resistenza laterale in compressione, $g_s=1,15$ (1,15)

resistenza laterale in trazione, $g_{st}=1,25$ (1,25)

resistenza a carichi trasversali, $g_T=1,3$ (1,3)

UNITA' DI MISURA

Sistema Internazionale

Calcoli generali e geotecnici

lunghezze (dimensioni, coordinate, distanze, ...): m (gli spostamenti sono espressi in cm)

aree sezioni: mq

volumi: mc

momenti di inerzia sezioni: m^4

forze, Resistenza alla punta e laterale, Sforzo normale, Taglio: kN

momenti e rigidezze rotazionali vincoli: $kN \cdot m$

forze distribuite per unità di lunghezza, rigidezze traslazionali vincoli: kN/m

coesioni, adesioni: kN/mq

tensioni nel sottosuolo, pressione neutra u: kN/mq

carico limite unitario: N/mm²

pesi unità di volume: kN/mc

coefficienti di reazione del terreno o di Winkler: N/cm²

Calcoli strutturali

dimensioni, copriferro, interferro: cm

diametri tondini, trefoli, barre, staffe e spirali: mm

aree sezioni: cm²

volumi: cm³

momenti statici sezioni: cm³

momenti di inerzia sezioni: cm⁴

tensioni/pressioni, moduli elastici, resistenze materiali: N/mm²

TIPO DI PALO

Palo battuto

Palo in acciaio

CONDIZIONI DI ROTTURA

Condizioni drenate (terreni a grana grossa, terreni a grana fina con applicazione lenta dei carichi, terreni a grana fina con analisi a lungo termine)

NUMERO DI STRATI E VERTICALI DI INDAGINE

N° di strati = 1 (terreno omogeneo)

N° di verticali di indagine = 1

SISTEMI DI RIFERIMENTO

Sistema di riferimento locale per il terreno

asse z verticale verso il basso con origine nel piano di campagna

Sistema di riferimento assoluto XYZ per il calcolo strutturale del palo

origine nel baricentro della sezione superiore del palo

asse X orizzontale verso destra

asse Y verticale verso il basso (coincidente con l'asse del palo)

asse Z ortogonale al piano del disegno ed entrante (rotazioni positive orarie)

regola della mano destra

Sistema di riferimento locale per il calcolo strutturale del palo

origine nel baricentro della sezione superiore del palo

asse x verticale verso il basso coincidente con l'asse del palo (+Y globale)

asse z orizzontale verso sinistra (-X globale)

asse y ortogonale al piano del disegno e uscente (-Z globale)

regola della mano destra

GEOMETRIA

diametro del palo, $D=0,45$ m

lunghezza di affondamento palo, $L=3$ m

lunghezza del palo fuori terra, $L1=2,5$ m

affondamento falda rispetto al piano di campagna, $zw=2$ m

CONDIZIONE DI VINCOLO IN TESTA AL PALO

Palo libero di ruotare in testa (attorno all'asse locale y)

SEZIONE METALLICA MICROPALO O PALO ACCIAIO

forma armatura metallica: HEB

profilato: HEB 240

base della sezione, $b=24$ cm

altezza della sezione, $h=24$ cm

spessore parete, $t=t_w=1$ cm

spessore ali laterali, $s=t_f=1,7$ cm

raggio raccordo ali-anima, $r=2,1$ cm

area della sezione, $A=106$ cm²

momento d'inerzia elastico della sezione rispetto all'asse y, $I_y=11260$ cm⁴

modulo di resistenza elastico rispetto all'asse y, $W_y=938$ cm³

modulo di resistenza plastico rispetto all'asse y, $W_{ply}=1053,1$ cm³

Classe della sezione = 2

DATI GEOTECNICI TERRENI (valori caratteristici)

Valori medi per gli strati presenti

peso dell'unità di volume dell'acqua, $g_w=9,81$ kN/mc

Strato n° 1-Depositi alluvionali - Limi ed argille

peso dell'unità di volume, $g=19,00$ kN/mc

peso dell'unità di volume saturo, $g_{sat}=21,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio denato, $\phi_i=25^\circ$

coesione drenata, $c'=50$ kN/mq

angolo di attrito palo-terreno lato spinta attiva, $\delta_{a}=16^\circ$

angolo di attrito palo-terreno lato spinta passiva, $\delta_{p}=8^\circ$

grado di sovraconsolidazione, $OCR=1$

comportamento a breve termine: drenato

DATI GEOTECNICI TERRENI DI FONDAZIONE E INTERFACCIA PALO-TERRENO

Dati relativi a tutte le verticali di indagine (calcolo carico limite assiale e trasvers.)

Verticale di indagine n° 1 ()

Strato n° 1

angolo di resistenza al taglio, $F_i=25^\circ$

coesione drenata, $c'=50 \text{ kN/mq}$

adesione al contatto palo-terreno, $a=0 \text{ kN/mq}$

coefficiente di attrito fra palo e terreno, $m=0,36$

coeff. empirico k che lega la tens. norm. orizz. alla tens. effett. litost. vertic., $k=1$

COEFFICIENTI DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO O DI WINKLER

Formula binomia $K_s=As+Bs*z^n$ con As e Bs espressi in N/cm , z in m

strato	As	Bs	n
1 Depositi alluvionali - Limi ed argille	35,86616	13,98485	0,5

DATI MATERIALI COSTITUENTI IL PALO

tipo di acciaio micropalo/palo: S 235

modulo di elasticità longitudinale acciaio, $E_s=210000 \text{ N/mm}^2$

peso dell'unità di volume dell'armatura metallica, $g_{acc}=78,5 \text{ kN/m}^3$

tensione caratteristica di rottura acciaio, $f_{tk}=360 \text{ N/mm}^2$

tensione caratteristica di snervamento acciaio, $f_{yk}=235 \text{ N/mm}^2$

coeff. parziale sicurezza per il calcolo della resistenza delle sezioni di acciaio di classe 1-2-3-4, $g_{M0}=1,05$

coeff. parziale sicurezza per il calcolo della resistenza all'instabilità delle membrature, $g_{M1}=1,05$

coeff. parziale sicurezza per il calcolo della resistenza di sezioni tese indebolite da fori, $g_{M2}=1,25$

tensione di snervamento di progetto dell'acciaio, $f_{yd}=f_{yk}/g_{M0}=223,81 \text{ N/mm}^2$

CARICHI ESTERNI APPLICATI IN TESTA AL PALO (valori caratteristici)**Combinazione di carico allo SLU n° 1**

componente verticale permanente, $N_{x0G}=15,24 \text{ kN}$

componente verticale variabile, $N_{x0Q}=25,28 \text{ kN}$

componente orizzontale permanente, $T_{z0G}=4,28 \text{ kN}$

componente orizzontale variabile, $T_{z0Q}=8,12 \text{ kN}$

componente momento permanente, $M_{y0G}=3,33 \text{ kN}\cdot\text{m}$

componente momento variabile, $M_{y0Q}=6,3 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Combinazione di carico allo SLE n° 1

componente verticale, $N_{x0}=40,52 \text{ kN}$

componente orizzontale, $T_{z0}=12,4 \text{ kN}$

componente momento, $M_{y0}=9,63 \text{ kN}\cdot\text{m}$

SCELTE DI CALCOLO

Verifiche agli SLU di tipo geotecnico condotte in base all'Approccio 2 (A1+M1+R3)

Calcolo FEM: lunghezza media elemento finito, $L_{me}=0,5 \text{ m}$

Vincolo alla base del palo: appoggio cedevole elasticamente

TIPO DI ANALISI E METODI APPLICATI

Verifiche geotecniche: carico limite per carichi assiali

valori del fattore di forma N_q : Berezantzev et al. (1961)

valori del fattore di forma N_q per pali trivallati di grande diametro: Berezantzev (1965)

Verifiche geotecniche: carico limite per carichi trasversali

Teoria di Broms (1964)

Calcolo sollecitazioni e spostamenti orizzontali nel palo di fondazione

Soluzione con il Metodo agli Elementi Finiti (F.E.M)

Palo elastico su suolo elastico alla Winkler

Analisi Lineare: molle che simulano il terreno a comportamento elastico-lineare

DATI PALO

perimetro sezione palo, $U=\pi \cdot D=1,414 \text{ m}$

rapporto $L/D=6,7$

area sezione (sul diametro D), $A_p=0,159 \text{ m}^2$

volume palo (sul diametro D), $V_p=0,87 \text{ mc}$

peso del palo, $W_p=4,58 \text{ kN}$

VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI

Combinazione di carico allo SLU n° 1 (1)

SOLLECITAZIONI AGENTI SUL PALO DI FONDAZIONE (calcolo FEM)

sez./nodo	x (m)	N_x (kN)	T_z (kN)	M_y (kN*m)
1	0,0	-57,73	-17,74	-13,78
2	0,5	-58,27	-17,74	-22,65

3	1,0	-58,81	-17,74	-31,52
4	1,5	-59,35	-17,74	-40,39
5	2,0	-59,90	-17,74	-49,27
6	2,5	-60,44	8,48	-58,14
7	3,0	-60,98	24,68	-53,90
8	3,5	-61,52	29,75	-41,56
9	4,0	-62,06	26,96	-26,69
10	4,5	-62,60	19,01	-13,21
11	5,0	-63,14	7,40	-3,70
12	5,5	-63,68	7,40	0,00

REAZIONI VINCOLARI E PRESSIONI DI CONTATTO TERRENO-PALO (calcolo FEM)

Ks = costante orizzontale di Winkler (N/cm)

RvX = componente della reazione vincolare lungo X (kN)

RvY = componente della reazione vincolare lungo Y (kN)

RvZ = componente momento della reazione vincolare (kN*m)

pXv = pressione orizzontale del terreno (molle) (kN/mq)

sez./nodo	x (m)	Ks	RvX	RvY	RvZ	pXv
6	2,5	35,87	20,17	0	0	89,66
7	3	45,75	12,46	0	0	55,37
8	3,5	49,85	3,9	0	0	17,34
9	4	52,99	-2,14	0	0	-9,53
10	4,5	55,64	-6,12	0	0	-27,18
11	5	57,98	-8,93	0	0	-39,68
12	5,5	60,09	-5,69	-48,99	0	-50,62

VERIFICA CONDIZIONI DI EQUILIBRIO PALO (calcolo FEM)

Equilibrio alla traslazione orizzontale

somma delle forze esterne orizzontali applicate al palo, $SF_x = -13,65$ kN

somma delle reazioni vincolari lungo X, $SommRvX = 13,65$ kN

equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale: $SF_x + SommRvX = 0,00$ kN

Equilibrio alla traslazione verticale

peso proprio del palo, $W_p = 4,58$ kN

somma delle forze verticali applicate al palo, $SF_y=44,41$ kN

somma delle reazioni vincolari lungo Y, $SommR_vY=-48,99$ kN

equazione di equilibrio alla traslazione verticale: $W_p+SF_y+SommR_vY=0,00$ kN

Equilibrio alla rotazione (attorno alla testa del palo-primo nodo)

momento delle forze orizzontali applicate al palo, $MF_x=-10,60$ kN*m

momento delle reazioni vincolari lungo X, $MR_vX=10,60$ kN*m

reazioni vincolari momento, $MR_vZ=0,00$ kN*m

equazione di equilibrio alla rotazione: $MF_x+MR_vX+MR_vZ=0,00$ kN*m

SPOSTAMENTI NODALI (calcolo FEM)

w = spostamento orizzontale (lungo l'asse globale X, coincidente con l'asse locale z)

u = spostamento verticale (lungo l'asse globale Y, coincidente con l'asse locale x)

sez./nodo	x (m)	w (cm)	u (cm)	rot. (rad)
1	0	-1,45	0,52	-0,006
2	0,5	-1,16	0,52	-0,0057
3	1	-0,89	0,52	-0,0052
4	1,5	-0,64	0,52	-0,0046
5	2	-0,42	0,52	-0,0039
6	2,5	-0,25	0,52	-0,003
7	3	-0,12	0,52	-0,0021
8	3,5	-0,03	0,52	-0,0014
9	4	0,02	0,52	-0,0008
10	4,5	0,05	0,51	-0,0005
11	5	0,07	0,51	-0,0003
12	5,5	0,08	0,51	-0,0003

VERIFICA SEZIONI A SFORZO NORMALE ECCENTRICO E TAGLIO

Dati meccanici della sezione

Resistenza plastica a sforzo normale della sezione lorda A, $N_{pl_Rd}=2\ 372,38$ kN

Area resistente al taglio della sezione lungo z, $Av_z=33,24$ cmq

Resistenza di progetto a taglio lungo z, $V_{cz_Rd}=429,52$ kN

Momento resistente elastico lungo l'asse vettore y, $M_{ely_Rd}=209,93$ kN*m

Momento resistente plastico lungo l'asse vettore y, $M_{ply_Rd}=235,69$ kN*m

tensione di snervamento di progetto, $f_{yd}=224 \text{ N/mm}^2$

Dati sulle verifiche delle sezioni

sid_m: tensione ideale massima nella sezione di acciaio (N/mm²)

Mcy_Rd: resistenza di progetto sezione soggetta a presso/tenso-flessione retta (kN*m)

sez.	x (m)	Nx (kN)	Tz (kN)	My (kN*m)	sid_m	Mcy_Rd	Verif?
1	0	-57,73	-17,74	-13,78		259,9	SI
2	0,5	-58,27	-17,74	-22,65		259,8	SI
3	1	-58,81	-17,74	-31,52		259,7	SI
4	1,5	-59,35	-17,74	-40,39		259,7	SI
5	2	-59,9	-17,74	-49,27		259,6	SI
6	2,5	-60,44	8,48	-58,14		259,6	SI
7	3	-60,98	24,68	-53,9		259,5	SI
8	3,5	-61,52	29,75	-41,56		259,4	SI
9	4	-62,06	26,96	-26,69		259,4	SI
10	4,5	-62,6	19,01	-13,21		259,3	SI
11	5	-63,14	7,4	-3,7		259,3	SI
12	5,5	-63,68	7,4	0		259,3	SI

Momento resistente o di plasticizzazione del palo, $M_{yR}=235,69 \text{ kN*m}$

CARICO LIMITE PER CARICHI ASSIALI

APPROCCIO 2 (A1+M1+R3)

Azione di progetto

$E_d = gG_s * N_x0g + gQ_s * N_x0q + gG_s * W_p = 63,68 \text{ kN}$

Resistenza di progetto

Verticale di indagine n° 1 ()

Parametri geotecnici di progetto

coesione, $c_d = 50 \text{ kN/m}^2$

angolo di resistenza al taglio, $F_{i,d} = 25^\circ$

Resistenza alla punta

fattore N_q (Berezantzev), $N_q = 12,77$

fattore $N_c = 25,24$

tensione litostatica verticale totale alla profondità L, $s_{VL} = 59,00 \text{ kN/m}^2$

pressione neutra alla profondità L, $uL=9,81$ kN/mq
 tensione litostatica verticale efficace alla profondità L, $s'VL=49,19$ kN/mq
 Resistenza unitaria alla punta, $p=1,89$ N/mm²
 Resistenza alla punta, $P_{max}=300,65$ kN

Resistenza laterale

Resistenza laterale, $S_{max}=41,53$ kN

Resistenza alla punta e laterale di progetto

Resistenza alla punta (valore medio), $P_{max_med}=300,65$ kN
 Resistenza alla punta (valore minimo), $P_{max_min}=300,65$ kN
 Resistenza laterale (valore medio), $S_{max_med}=41,53$ kN
 Resistenza laterale (valore minimo), $S_{max_min}=41,53$ kN
 Fattore di correlazione, $\xi_3=1,7$
 Fattore di correlazione, $\xi_4=1,7$
 Resistenza alla punta (valore caratteristico), $P_{max_k}=176,85$ kN
 Resistenza laterale (valore caratteristico), $S_{max_k}=24,43$ kN
 Resistenza alla punta di progetto, $P_{max_d}=P_{max_k}/\gamma_b=153,78$ kN
 Resistenza laterale di progetto, $S_{max_d}=S_{max_k}/\gamma_s=21,24$ kN

Carico limite per carichi assiali di compressione

$Q_{lim_d}=P_{max_d}+S_{max_d}=175,03$ kN

Carico limite di sfilamento per carichi assiali di trazione

$Q_{limt_d}=S_{max_d}=21,24$ kN

Verifica al carico limite per carichi assiali di compressione

Verifica OK: l'azione di progetto non supera la resistenza di progetto
 coeff. di sicurezza, $\eta=Q_{lim_d}/E_d=2,75$

CARICO LIMITE PER CARICHI TRASVERSALI

Momento resistente o di plasticizzazione del palo, $M_{yR}=235,69$ kN*m

APPROCCIO 2 (A1+M1+R3)

Azione di progetto

$E_d=gG_s+TzOg+gQ_s+TzOq=17,74$ kN

Resistenza di progetto

Verticale di indagine n° 1 ()

angolo di resistenza al taglio di progetto, $\phi_{i_d}=25^\circ$
 coefficiente di spinta passiva, $K_p=2,463913$

reazione orizzontale del terreno alla profondità L, $p(L)=189,60 \text{ kN/m}$

Meccanismo di rottura di "palo corto"

profondità f in cui si ha il massimo momento flettente, $f=1,26 \text{ m}$

momento flettente massimo nel palo, $M_{y_max}=-176,40 \text{ kN*m}$

carico limite trasversale, $T_{lim}=49,96 \text{ kN}$

Carico limite trasversale di progetto

valore medio, $T_{lim_med}=49,96 \text{ kN}$

valore minimo, $T_{lim_min}=49,96 \text{ kN}$

fattore di correlazione $\gamma_3=1,7$

fattore di correlazione $\gamma_4=1,7$

Carico limite trasversale (valore caratteristico), $T_{lim_k}=29,39 \text{ kN}$

Carico limite trasversale di progetto, $T_{lim_d}=22,61 \text{ kN}$

Verifica al carico limite per carichi trasversali

Verifica OK: l'azione di progetto non supera la resistenza di progetto

coeff. di sicurezza, $T_{lim_d}/E_d=1,27$

VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Combinazione di carico allo SLE n° 1 (1)

SOLLECITAZIONI AGENTI SUL PALO DI FONDAZIONE (calcolo FEM)

sez./nodo	x (m)	Nx (kN)	Tz (kN)	My (kN*m)
1	0,0	-40,52	-12,40	-9,63
2	0,5	-40,94	-12,40	-15,83
3	1,0	-41,35	-12,40	-22,03
4	1,5	-41,77	-12,40	-28,23
5	2,0	-42,18	-12,40	-34,43
6	2,5	-42,60	5,93	-40,63
7	3,0	-43,02	17,24	-37,67
8	3,5	-43,43	20,79	-29,04
9	4,0	-43,85	18,84	-18,65
10	4,5	-44,26	13,29	-9,23
11	5,0	-44,68	5,17	-2,59

12 5,5 -45,10 5,17 0,00

SPOSTAMENTI NODALI (calcolo FEM)

w = spostamento orizzontale (lungo l'asse globale X, coincidente con l'asse locale z)

u = spostamento verticale (lungo l'asse globale Y, coincidente con l'asse locale x)

sez./nodo	x (m)	w (cm)	u (cm)	rot. (rad)
1	0	-1,32	0,48	-0,0054
2	0,5	-1,05	0,48	-0,0052
3	1	-0,81	0,48	-0,0047
4	1,5	-0,58	0,48	-0,0042
5	2	-0,39	0,48	-0,0036
6	2,5	-0,23	0,48	-0,0028
7	3	-0,11	0,48	-0,0019
8	3,5	-0,03	0,48	-0,0012
9	4	0,02	0,47	-0,0007
10	4,5	0,04	0,47	-0,0004
11	5	0,06	0,47	-0,0003
12	5,5	0,08	0,47	-0,0003

COMPUTO METRICO DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE (palo singolo)

Acciaio (kg) 457,7

NORMATIVA DI RIFERIMENTO**D.M. 17/01/2018**

Le verifiche al carico limite (di tipo geotecnico) e strutturali vengono svolte con il metodo agli Stati Limite Ultimi (S.L.U.)

Coeff. parziali o di sicurezza sulle azioni (A)

gruppo A1 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- azioni permanenti con effetto favorevole alla sicurezza, $g_{Gi}=1$ (1)
- azioni permanenti con effetto sfavorevole alla sicurezza, $g_{Gs}=1,3$ (1,3)
- azioni variabili con effetto favorevole alla sicurezza, $g_{Qi}=0$ (0)
- azioni variabili con effetto sfavorevole alla sicurezza, $g_{Qs} = 1,5$ (1,5)

gruppo A2 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- azioni permanenti con effetto favorevole alla sicurezza, $g_{Gi}=1$ (1)
- azioni permanenti con effetto sfavorevole alla sicurezza, $g_{Gs}=1$ (1)
- azioni variabili con effetto favorevole alla sicurezza, $g_{Qi}=0$ (0)
- azioni variabili con effetto sfavorevole alla sicurezza, $g_{Qs}=1,3$ (1,3)

Coeff. parziali o di sicurezza per i parametri geotecnici dei terreni (M)

gruppo M1 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- tangente dell'angolo di resistenza al taglio, $g_f'=1$ (1)
- coesione efficace, $g_c'=1$ (1)
- coesione non drenata, $g_{cu}=1$ (1)

gruppo M2 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- tangente dell'angolo di resistenza al taglio, $g_f'=1,25$ (1,25)
- coesione efficace, $g_c'=1,25$ (1,25)
- coesione non drenata, $g_{cu}=1,4$ (1,4)

Coeff. parziali o di sicurezza sulle resistenze globali dei sistemi geotecnici (R)

gruppo R1 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- resistenza alla base, $g_b=1$ (1)
- resistenza laterale in compressione, $g_s=1$ (1)
- resistenza laterale in trazione, $g_{st}=1$ (1)
- resistenza a carichi trasversali, $g_T=1$ (1)

gruppo R2 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

- resistenza alla base per pali battuti, $g_b=1,45$ (1,45)
- resistenza alla base per pali trivellati, $g_b=1,7$ (1,7)
- resistenza alla base per pali ad elica continua, $g_b=1,6$ (1,6)

resistenza laterale in compressione, $g_s=1,45$ (1,45)

resistenza laterale in trazione, $g_{st}=1,6$ (1,6)

resistenza a carichi trasversali, $g_T=1,6$ (1,6)

gruppo R3 (tra parentesi il valore adottato nel calcolo)

resistenza alla base per pali battuti, $g_b=1,15$ (1,15)

resistenza alla base per pali trivellati, $g_b=1,35$ (1,35)

resistenza alla base per pali ad elica continua, $g_b=1,3$ (1,3)

resistenza laterale in compressione, $g_s=1,15$ (1,15)

resistenza laterale in trazione, $g_{st}=1,25$ (1,25)

resistenza a carichi trasversali, $g_T=1,3$ (1,3)

UNITA' DI MISURA

Sistema Internazionale

Calcoli generali e geotecnici

lunghezze (dimensioni, coordinate, distanze, ...): m (gli spostamenti sono espressi in cm)

aree sezioni: mq

volumi: mc

momenti di inerzia sezioni: m^4

forze, Resistenza alla punta e laterale, Sforzo normale, Taglio: kN

momenti e rigidezze rotazionali vincoli: $kN \cdot m$

forze distribuite per unità di lunghezza, rigidezze traslazionali vincoli: kN/m

coesioni, adesioni: kN/mq

tensioni nel sottosuolo, pressione neutra u: kN/mq

carico limite unitario: N/mm²

pesi unità di volume: kN/mc

coefficienti di reazione del terreno o di Winkler: N/cm²

Calcoli strutturali

dimensioni, copriferro, interferro: cm

diametri tondini, trefoli, barre, staffe e spirali: mm

aree sezioni: cm²

volumi: cm³

momenti statici sezioni: cm³

momenti di inerzia sezioni: cm⁴

tensioni/pressioni, moduli elastici, resistenze materiali: N/mm²

TIPO DI PALO

Palo battuto

Palo in acciaio

CONDIZIONI DI ROTTURA

Condizioni drenate (terreni a grana grossa, terreni a grana fina con applicazione lenta dei carichi, terreni a grana fina con analisi a lungo termine)

NUMERO DI STRATI E VERTICALI DI INDAGINE

N° di strati = 1 (terreno omogeneo)

N° di verticali di indagine = 1

SISTEMI DI RIFERIMENTO

Sistema di riferimento locale per il terreno

asse z verticale verso il basso con origine nel piano di campagna

Sistema di riferimento assoluto XYZ per il calcolo strutturale del palo

origine nel baricentro della sezione superiore del palo

asse X orizzontale verso destra

asse Y verticale verso il basso (coincidente con l'asse del palo)

asse Z ortogonale al piano del disegno ed entrante (rotazioni positive orarie)

regola della mano destra

Sistema di riferimento locale per il calcolo strutturale del palo

origine nel baricentro della sezione superiore del palo

asse x verticale verso il basso coincidente con l'asse del palo (+Y globale)

asse z orizzontale verso sinistra (-X globale)

asse y ortogonale al piano del disegno e uscente (-Z globale)

regola della mano destra

GEOMETRIA

diametro del palo, $D=0,45$ m

lunghezza di affondamento palo, $L=3$ m

lunghezza del palo fuori terra, $L1=2,5$ m

affondamento falda rispetto al piano di campagna, $zw=2$ m

CONDIZIONE DI VINCOLO IN TESTA AL PALO

Palo libero di ruotare in testa (attorno all'asse locale y)

SEZIONE METALLICA MICROPALO O PALO ACCIAIO

forma armatura metallica: HEB

profilato: HEB 240

base della sezione, $b=24$ cm

altezza della sezione, $h=24$ cm

spessore parete, $t=t_w=1$ cm

spessore ali laterali, $s=t_f=1,7$ cm

raggio raccordo ali-anima, $r=2,1$ cm

area della sezione, $A=106$ cm²

momento d'inerzia elastico della sezione rispetto all'asse y, $I_y=11260$ cm⁴

modulo di resistenza elastico rispetto all'asse y, $W_y=938$ cm³

modulo di resistenza plastico rispetto all'asse y, $W_{ply}=1053,1$ cm³

Classe della sezione = 2

DATI GEOTECNICI TERRENI (valori caratteristici)

Valori medi per gli strati presenti

peso dell'unità di volume dell'acqua, $g_w=9,81$ kN/mc

Strato n° 1-Depositi alluvionali - Sabbie

peso dell'unità di volume, $g=19,00$ kN/mc

peso dell'unità di volume saturo, $g_{sat}=21,00$ kN/mc

angolo di resistenza al taglio denato, $\phi_i=30^\circ$

coesione drenata, $c'=25$ kN/mq

angolo di attrito palo-terreno lato spinta attiva, $\delta_{a}=20^\circ$

angolo di attrito palo-terreno lato spinta passiva, $\delta_{p}=10^\circ$

grado di sovraconsolidazione, $OCR=1$

comportamento a breve termine: drenato

DATI GEOTECNICI TERRENI DI FONDAZIONE E INTERFACCIA PALO-TERRENO

Dati relativi a tutte le verticali di indagine (calcolo carico limite assiale e trasvers.)

Verticale di indagine n° 1 ()

Strato n° 1

angolo di resistenza al taglio, $F_i=30^\circ$

coesione drenata, $c'=25 \text{ kN/mq}$

adesione al contatto palo-terreno, $a=0 \text{ kN/mq}$

coefficiente di attrito fra palo e terreno, $m=0,36$

coeff. empirico k che lega la tens. norm. orizz. alla tens. effett. litost. vertic., $k=1$

COEFFICIENTI DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO O DI WINKLER

Formula binomia $K_s=As+Bs*z^n$ con As e Bs espressi in N/cm , z in m

strato	As	Bs	n
1 Depositi alluvionali - Sabbie	35,86616	13,98485	0,5

DATI MATERIALI COSTITUENTI IL PALO

tipo di acciaio micropalo/palo: S 235

modulo di elasticità longitudinale acciaio, $E_s=210000 \text{ N/mm}^2$

peso dell'unità di volume dell'armatura metallica, $g_{acc}=78,5 \text{ kN/m}^3$

tensione caratteristica di rottura acciaio, $f_{tk}=360 \text{ N/mm}^2$

tensione caratteristica di snervamento acciaio, $f_{yk}=235 \text{ N/mm}^2$

coeff. parziale sicurezza per il calcolo della resistenza delle sezioni di acciaio di classe 1-2-3-4, $g_{M0}=1,05$

coeff. parziale sicurezza per il calcolo della resistenza all'instabilità delle membrature, $g_{M1}=1,05$

coeff. parziale sicurezza per il calcolo della resistenza di sezioni tese indebolite da fori, $g_{M2}=1,25$

tensione di snervamento di progetto dell'acciaio, $f_{yd}=f_{yk}/g_{M0}=223,81 \text{ N/mm}^2$

CARICHI ESTERNI APPLICATI IN TESTA AL PALO (valori caratteristici)**Combinazione di carico allo SLU n° 1**

componente verticale permanente, $N_{x0G}=15,24 \text{ kN}$

componente verticale variabile, $N_{x0Q}=25,28 \text{ kN}$

componente orizzontale permanente, $T_{z0G}=4,28 \text{ kN}$

componente orizzontale variabile, $T_{z0Q}=8,12 \text{ kN}$

componente momento permanente, $M_{y0G}=3,33 \text{ kN}\cdot\text{m}$

componente momento variabile, $M_{y0Q}=6,3 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Combinazione di carico allo SLE n° 1

componente verticale, $N_{x0}=40,52 \text{ kN}$

componente orizzontale, $T_{z0}=12,4 \text{ kN}$

componente momento, $M_y=9,63 \text{ kN}\cdot\text{m}$

SCELTE DI CALCOLO

Verifiche agli SLU di tipo geotecnico condotte in base all'Approccio 2 (A1+M1+R3)

Calcolo FEM: lunghezza media elemento finito, $L_{me}=0,5 \text{ m}$

Vincolo alla base del palo: appoggio cedevole elasticamente

TIPO DI ANALISI E METODI APPLICATI

Verifiche geotecniche: carico limite per carichi assiali

valori del fattore di forma N_q : Berezantzev et al. (1961)

valori del fattore di forma N_q per pali trivallati di grande diametro: Berezantzev (1965)

Verifiche geotecniche: carico limite per carichi trasversali

Teoria di Broms (1964)

Calcolo sollecitazioni e spostamenti orizzontali nel palo di fondazione

Soluzione con il Metodo agli Elementi Finiti (F.E.M)

Palo elastico su suolo elastico alla Winkler

Analisi Lineare: molle che simulano il terreno a comportamento elastico-lineare

DATI PALO

perimetro sezione palo, $U=\pi \cdot D=1,414 \text{ m}$

rapporto $L/D=6,7$

area sezione (sul diametro D), $A_p=0,159 \text{ m}^2$

volume palo (sul diametro D), $V_p=0,87 \text{ mc}$

peso del palo, $W_p=4,58 \text{ kN}$

VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI

Combinazione di carico allo SLU n° 1 (1)

SOLLECITAZIONI AGENTI SUL PALO DI FONDAZIONE (calcolo FEM)

sez./n odo	x (m)	N_x (kN)	T_z (kN)	M_y ($\text{kN}\cdot\text{m}$)
1	0,0	-57,73	-17,74	-13,78
2	0,5	-58,27	-17,74	-22,65

3	1,0	-58,81	-17,74	-31,52
4	1,5	-59,35	-17,74	-40,39
5	2,0	-59,90	-17,74	-49,27
6	2,5	-60,44	8,48	-58,14
7	3,0	-60,98	24,68	-53,90
8	3,5	-61,52	29,75	-41,56
9	4,0	-62,06	26,96	-26,69
10	4,5	-62,60	19,01	-13,21
11	5,0	-63,14	7,40	-3,70
12	5,5	-63,68	7,40	0,00

REAZIONI VINCOLARI E PRESSIONI DI CONTATTO TERRENO-PALO (calcolo FEM)

Ks = costante orizzontale di Winkler (N/cm)

RvX = componente della reazione vincolare lungo X (kN)

RvY = componente della reazione vincolare lungo Y (kN)

RvZ = componente momento della reazione vincolare (kN*m)

pXv = pressione orizzontale del terreno (molle) (kN/mq)

sez./nodo	x (m)	Ks	RvX	RvY	RvZ	pXv
6	2,5	35,87	20,17	0	0	89,66
7	3	45,75	12,46	0	0	55,37
8	3,5	49,85	3,9	0	0	17,34
9	4	52,99	-2,14	0	0	-9,53
10	4,5	55,64	-6,12	0	0	-27,18
11	5	57,98	-8,93	0	0	-39,68
12	5,5	60,09	-5,69	-48,99	0	-50,62

VERIFICA CONDIZIONI DI EQUILIBRIO PALO (calcolo FEM)

Equilibrio alla traslazione orizzontale

somma delle forze esterne orizzontali applicate al palo, $SF_x = -13,65$ kN

somma delle reazioni vincolari lungo X, $SommRvX = 13,65$ kN

equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale: $SF_x + SommRvX = 0,00$ kN

Equilibrio alla traslazione verticale

peso proprio del palo, $W_p = 4,58$ kN

somma delle forze verticali applicate al palo, $SF_y=44,41$ kN

somma delle reazioni vincolari lungo Y, $SommR_vY=-48,99$ kN

equazione di equilibrio alla traslazione verticale: $W_p+SF_y+SommR_vY=0,00$ kN

Equilibrio alla rotazione (attorno alla testa del palo-primo nodo)

momento delle forze orizzontali applicate al palo, $MF_x=-10,60$ kN*m

momento delle reazioni vincolari lungo X, $MR_vX=10,60$ kN*m

reazioni vincolari momento, $MR_vZ=0,00$ kN*m

equazione di equilibrio alla rotazione: $MF_x+MR_vX+MR_vZ=0,00$ kN*m

SPOSTAMENTI NODALI (calcolo FEM)

w = spostamento orizzontale (lungo l'asse globale X, coincidente con l'asse locale z)

u = spostamento verticale (lungo l'asse globale Y, coincidente con l'asse locale x)

sez./nodo	x (m)	w (cm)	u (cm)	rot. (rad)
1	0	-1,45	0,52	-0,006
2	0,5	-1,16	0,52	-0,0057
3	1	-0,89	0,52	-0,0052
4	1,5	-0,64	0,52	-0,0046
5	2	-0,42	0,52	-0,0039
6	2,5	-0,25	0,52	-0,003
7	3	-0,12	0,52	-0,0021
8	3,5	-0,03	0,52	-0,0014
9	4	0,02	0,52	-0,0008
10	4,5	0,05	0,51	-0,0005
11	5	0,07	0,51	-0,0003
12	5,5	0,08	0,51	-0,0003

VERIFICA SEZIONI A SFORZO NORMALE ECCENTRICO E TAGLIO

Dati meccanici della sezione

Resistenza plastica a sforzo normale della sezione lorda A, $N_{pl_Rd}=2\ 372,38$ kN

Area resistente al taglio della sezione lungo z, $Av_z=33,24$ cmq

Resistenza di progetto a taglio lungo z, $V_{cz_Rd}=429,52$ kN

Momento resistente elastico lungo l'asse vettore y, $M_{ely_Rd}=209,93$ kN*m

Momento resistente plastico lungo l'asse vettore y, $M_{ply_Rd}=235,69$ kN*m

tensione di snervamento di progetto, $f_{yd}=224 \text{ N/mm}^2$

Dati sulle verifiche delle sezioni

sid_m: tensione ideale massima nella sezione di acciaio (N/mm²)

Mcy_Rd: resistenza di progetto sezione soggetta a presso/tenso-flessione retta (kN*m)

sez.	x (m)	Nx (kN)	Tz (kN)	My (kN*m)	sid_m	Mcy_Rd	Verif?
1	0	-57,73	-17,74	-13,78		259,9	SI
2	0,5	-58,27	-17,74	-22,65		259,8	SI
3	1	-58,81	-17,74	-31,52		259,7	SI
4	1,5	-59,35	-17,74	-40,39		259,7	SI
5	2	-59,9	-17,74	-49,27		259,6	SI
6	2,5	-60,44	8,48	-58,14		259,6	SI
7	3	-60,98	24,68	-53,9		259,5	SI
8	3,5	-61,52	29,75	-41,56		259,4	SI
9	4	-62,06	26,96	-26,69		259,4	SI
10	4,5	-62,6	19,01	-13,21		259,3	SI
11	5	-63,14	7,4	-3,7		259,3	SI
12	5,5	-63,68	7,4	0		259,3	SI

Momento resistente o di plasticizzazione del palo, $M_{yR}=235,69 \text{ kN*m}$

CARICO LIMITE PER CARICHI ASSIALI

APPROCCIO 2 (A1+M1+R3)

Azione di progetto

$E_d = g_{Gs} \cdot N_{x0g} + g_{Qs} \cdot N_{x0q} + g_{Gs} \cdot W_p = 63,68 \text{ kN}$

Resistenza di progetto

Verticale di indagine n° 1 ()

Parametri geotecnici di progetto

coesione, $c_d = 25 \text{ kN/m}^2$

angolo di resistenza al taglio, $F_{i,d} = 30^\circ$

Resistenza alla punta

fattore N_q (Berezantzev), $N_q = 31,31$

fattore $N_c = 52,49$

tensione litostatica verticale totale alla profondità L, $s_{VL} = 59,00 \text{ kN/m}^2$

pressione neutra alla profondità L, $uL=9,81$ kN/mq
 tensione litostatica verticale efficace alla profondità L, $s'VL=49,19$ kN/mq
 Resistenza unitaria alla punta, $p=2,85$ N/mm²
 Resistenza alla punta, $P_{max}=453,64$ kN

Resistenza laterale

Resistenza laterale, $S_{max}=41,53$ kN

Resistenza alla punta e laterale di progetto

Resistenza alla punta (valore medio), $P_{max_med}=453,64$ kN

Resistenza alla punta (valore minimo), $P_{max_min}=453,64$ kN

Resistenza laterale (valore medio), $S_{max_med}=41,53$ kN

Resistenza laterale (valore minimo), $S_{max_min}=41,53$ kN

Fattore di correlazione, $\xi_3=1,7$

Fattore di correlazione, $\xi_4=1,7$

Resistenza alla punta (valore caratteristico), $P_{max_k}=266,85$ kN

Resistenza laterale (valore caratteristico), $S_{max_k}=24,43$ kN

Resistenza alla punta di progetto, $P_{max_d}=P_{max_k}/\gamma_b=232,04$ kN

Resistenza laterale di progetto, $S_{max_d}=S_{max_k}/\gamma_s=21,24$ kN

Carico limite per carichi assiali di compressione

$Q_{lim_d}=P_{max_d}+S_{max_d}=253,28$ kN

Carico limite di sfilamento per carichi assiali di trazione

$Q_{limt_d}=S_{max_d}=21,24$ kN

Verifica al carico limite per carichi assiali di compressione

Verifica OK: l'azione di progetto non supera la resistenza di progetto
 coeff. di sicurezza, $\eta=Q_{lim_d}/E_d=3,98$

CARICO LIMITE PER CARICHI TRASVERSALI

Momento resistente o di plasticizzazione del palo, $M_{yR}=235,69$ kN*m

APPROCCIO 2 (A1+M1+R3)

Azione di progetto

$E_d=\gamma_g G_s + \gamma_q Q_s = 17,74$ kN

Resistenza di progetto

Verticale di indagine n° 1 ()

angolo di resistenza al taglio di progetto, $\phi_{i_d}=30^\circ$

coefficiente di spinta passiva, $K_p=3$

reazione orizzontale del terreno alla profondità L, $p(L)=230,85 \text{ kN/m}$

Meccanismo di rottura di "palo corto"

profondità f in cui si ha il massimo momento flettente, $f=1,26 \text{ m}$

momento flettente massimo nel palo, $M_{y_max}=-214,12 \text{ kN*m}$

carico limite trasversale, $T_{lim}=61,21 \text{ kN}$

Carico limite trasversale di progetto

valore medio, $T_{lim_med}=61,21 \text{ kN}$

valore minimo, $T_{lim_min}=61,21 \text{ kN}$

fattore di correlazione $\gamma_3=1,7$

fattore di correlazione $\gamma_4=1,7$

Carico limite trasversale (valore caratteristico), $T_{lim_k}=36,00 \text{ kN}$

Carico limite trasversale di progetto, $T_{lim_d}=27,70 \text{ kN}$

Verifica al carico limite per carichi trasversali

Verifica OK: l'azione di progetto non supera la resistenza di progetto

coeff. di sicurezza, $T_{lim_d}/E_d=1,56$

VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Combinazione di carico allo SLE n° 1 (1)

SOLLECITAZIONI AGENTI SUL PALO DI FONDAZIONE (calcolo FEM)

sez./n odo	x (m)	Nx (kN)	Tz (kN)	My (kN*m)
1	0,0	-40,52	-12,40	-9,63
2	0,5	-40,94	-12,40	-15,83
3	1,0	-41,35	-12,40	-22,03
4	1,5	-41,77	-12,40	-28,23
5	2,0	-42,18	-12,40	-34,43
6	2,5	-42,60	5,93	-40,63
7	3,0	-43,02	17,24	-37,67
8	3,5	-43,43	20,79	-29,04
9	4,0	-43,85	18,84	-18,65
10	4,5	-44,26	13,29	-9,23
11	5,0	-44,68	5,17	-2,59

12 5,5 -45,10 5,17 0,00

SPOSTAMENTI NODALI (calcolo FEM)

w = spostamento orizzontale (lungo l'asse globale X, coincidente con l'asse locale z)

u = spostamento verticale (lungo l'asse globale Y, coincidente con l'asse locale x)

sez./nodo	x (m)	w (cm)	u (cm)	rot. (rad)
1	0	-1,32	0,48	-0,0054
2	0,5	-1,05	0,48	-0,0052
3	1	-0,81	0,48	-0,0047
4	1,5	-0,58	0,48	-0,0042
5	2	-0,39	0,48	-0,0036
6	2,5	-0,23	0,48	-0,0028
7	3	-0,11	0,48	-0,0019
8	3,5	-0,03	0,48	-0,0012
9	4	0,02	0,47	-0,0007
10	4,5	0,04	0,47	-0,0004
11	5	0,06	0,47	-0,0003
12	5,5	0,08	0,47	-0,0003

COMPUTO METRICO DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE (palo singolo)

Acciaio (kg) 457,7