

IMPIANTO FOTOVOLTAICO EG DOLOMITI SRL E OPERE CONNESSE

POTENZA IMPIANTO 38.5MWp
COMUNE DI ARGENTA (FE)

Proponente

EG DOLOMITI S.R.L.

VIA DEI PELLEGRINI 22 - 20122 MILANO (MI) - P.IVA: 11769780963 - PEC: egdolomiti@pec.it

Progettazione

META STUDIO S.R.L.

Via SETTEMBRINI, 1-65123 PESCARA (PE)

P.IVA: 02164240687 - PEC: metastudio srl@pec.it

Collaboratori

Progettazione Generale: Ing. Corrado Pluchino Progettazione Elettrica: Ing. Andrea Fronteddu

Progettazione Civile e Idraulica: Ing. Fabio Lassini

Progettazione geotecnica-strutturale: Dott. Matteo Lana

Progettazione Ambientale e Paesaggistica: Dott.ssa Eleonora Lamanna

Coordinamento progettuale

META STUDIO S.R.L.

Via SETTEMBRINI, 1-65123 PESCARA (PE)

P.IVA: 02164240687 - PEC: metastudio srl@pec.it

Titolo Elaborato

RELAZIONE DI CALCOLO DI DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE

LIVELLO PROGETTAZIONE	CODICE ELABORATO	FILENAME	RIFERIMENTO	DATA	SCALA
PROGETTO DEFINITIVO	PD_REL10	-	-	27.06.22	-

Revisioni

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	27.06.2022	Calcolo dimensionamento strutture	MA	CP	PC



COMUNE DI ARGENTA (FE)

REGIONE EMILIA ROMAGNA





CALCOLI PRELIMINARI DI PREDIMENSIONAMENTO STRUTTURE



Sommario

1. PREMESSA	4
2. RIFERIMENTI NORMATIVI E LEGISLATIVI	4
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI	4
4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI	5
5. AZIONI AGENTI SUI MODULI FOTOVOLTAICI	6
5.1. Azione del vento	6
5.2. Azione della neve	9
5.2. Azione sismica	11
6. CARATTERISTICHE PROGRAMMA DI CALCOLO	12
6.1. Descrizione del programma di calcolo	12
6.2. Verifica delle membrature in acciaio	14
6.3. Verifica delle membrature in cemento armato	15
7. PREDIMENSIONAMENTO BASAMENTI DI FONDAZIONE DELLE CABINE	16
7.1. Caratteristiche geometriche	16
7.2. Azioni agenti	16
7.3. Verifiche dei basamenti	16

1. PREMESSA

Il Progetto prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico complessivamente di capacità nominale pari a 38,50 MWp, sito nel territorio comunale di Argenta (FE), Regione Emilia Romagna, diviso in otto sotto campi, realizzati con 65.254 moduli fotovoltaici in silicio monocristallino, con una potenza di picco di 590 Wp, montati su strutture fisse in configurazione monofilare con quattro moduli in orizzontale con tilt di 22° e distanza tra filari di 7,88 m. A servizio dei campi fotovoltaici è prevista la realizzazione di cabine elettriche per i sistemi di gestione, controllo ed accumulo dell'energia prodotta poggianti su basamenti in cemento armato il cui dimensionamento sarà sviluppato nei capitoli seguenti.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI E LEGISLATIVI

- 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

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

Le caratteristiche dei materiali impiegati nei calcoli sono le seguenti:

- Classe di resistenza del calcestruzzo per basamenti cabine C28/35
- Classe di esposizione ambientale XC4, XA2 e XS1
- Classe di consistenza S4
- Copriferro:
 - Calcestruzzo gettato contro il terreno e permanentemente a contatto con esso 75mm
 - Calcestruzzo a contatto con il terreno o con acqua 50mm
 - Calcestruzzo non a contatto con il terreno o con acqua 40mm
- Acciaio: Barre ad aderenza migliorata tipo B450C
- Acciaio strutturale: S355JR

4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

I moduli fotovoltaici previsti nel sito di progetto sono costituiti da pannelli fotovoltaici di dimensioni indicative 2172 mm x 1303 mm predisposti lungo il lato lungo su 4 file. La struttura di sostegno dei pannelli sarà costituita da profili in acciaio con inclinazione fissa di 22°. Nel dettaglio si prevede la struttura presenta una lunghezza di 17,446 mt ed una larghezza di 5,338 mt. L'altezza da terra del punto più basso della struttura risulta essere di 0,50 mt mentre il punto più alto è posto a 2,519 mt dal piano campagna.

La fondazione della struttura di sostegno dei pannelli fotovoltaici sarà costituita da pali infissi il cui dimensionamento è riportato in allegato alla presente relazione [rif. "ALLEGATO 2 – Verifiche strutture di sostegno pannelli FV"].

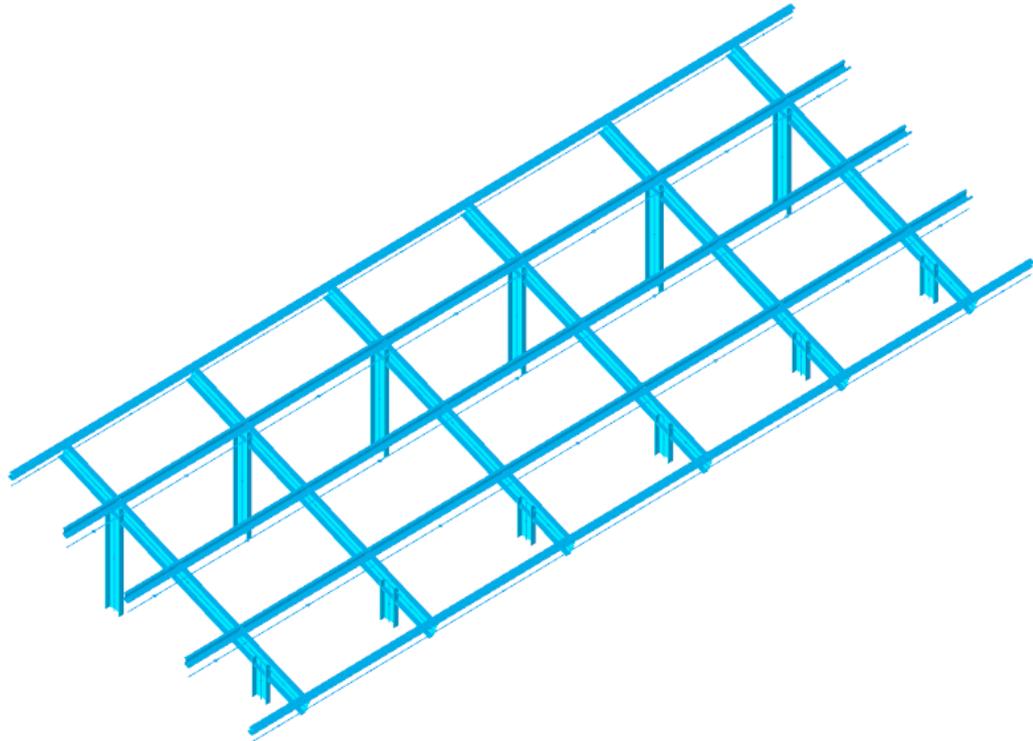
La struttura di sostegno dei pannelli è costituita dai seguenti profilati riportati in Tabella 1

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

Elemento	Sezione	Materiale
Montanti	UAP 300	Acciaio S355JR
Travi	UAP 300	Acciaio S355JR
Elementi di sostegno pannelli	Profilo omega 100x100x45x3 [dimensioni in mm]	Acciaio S355JR
Elementi di sostegno pannelli	UAP 100 accoppiati	Acciaio S355JR

perimetrali

Lo schema statico utilizzato per le verifiche risulta essere il seguente:



5. AZIONI AGENTI SUI MODULI FOTOVOLTAICI

Il dimensionamento preliminare delle strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici è svolto applicando le combinazioni allo SLU (statica e sismica), previste nel DM 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le costruzioni" (NTC 2018), alle sollecitazioni presenti sulla struttura, in particolare dei carichi variabili dovuti al vento (azione di carico variabile principale) e alla neve (azione di carico variabile secondaria) e all'azione sismica definita mediante il metodo pseudostatico

5.1. 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:

- $v_b = 25 \text{ m/s}$ (valore per la ZONA 2)

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 $z = 200 \text{ m}$, esso è dato dalla seguente formula:

- $c_e(z) = c_e(z_{min})$ per $z < z_{min}$
- $c_e(z) = k_r \cdot c_t \cdot \ln(z / z_0) \cdot [7 + c_t \cdot \ln(z / z_0)]$ per $z \geq z_{min}$

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

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

Tabella 2 – Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

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.

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, ...)

Tabella 3 - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

Prendendo atto che il sito è caratterizzato da classe di rugosità D e in prossimità della costa, per la Zona 3 le tabelle delle "Norme tecniche per le costruzioni" ci indicano, per l'area di progetto, una categoria di esposizione di classe II.

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 1,801 lungo tutta la struttura.

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.

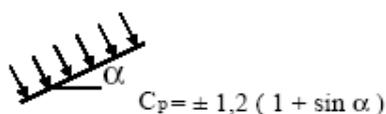
Esso, nel caso in oggetto, può essere assunto pari a 1.

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 22° .

$$C_p = \pm 1,2 (1 + \sin \alpha)$$

Uno spiovente piano



Esso, nel caso in oggetto, può essere assunto pari a $\pm 1,65$.

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 Kg/m³

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 **$p = \pm 1,12 \text{ kN/m}^2$** .

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.

5.2. 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
- C_E è il coefficiente di esposizione
- C_t 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:

- $q_{sk} = 1,00$ [kN/m²] $a_s \leq 200$ m
- $q_{sk} = 0,85 * [1 + (a_s / 481)^2]$ [kN/m²] $a_s \geq 200$ m

dove a_s 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 C_E 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 C_E un valore pari a 0,9.

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

Tabella 4 – Valori di C_E per diverse classi di topografia

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 presentano un angolo massimo rispetto all'orizzontale di 22° si è determinato un valore μ_i pari a 0,8.

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 1,20 kN/m².

5.2. Azione sismica

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

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
V_n	50
Classe d'uso	II
V_r	50
Tipo di analisi	Lineare dinamica
Considera sisma Z	Solo se $A_g \geq 0.15$ g, conformemente a §3.2.3.1
Località	Ravenna, Alfonsine, Longastrino; Latitudine ED50; Lat. ED50 44,6076° (44°36'27"); Long. ED50 11,9863° (11°59'11"); Altitudine s.l.m. -0,86 m.
Categoria del suolo	B – 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	0.148 [s]
Tc orizzontale SLD	0.445 [s]
Td orizzontale SLD	1.817 [s]
Ss orizzontale SLV	1.4611
Tb orizzontale SLV	0.146 [s]
Tc orizzontale SLV	0.439 [s]
Td orizzontale SLV	2.217 [s]
St	1
PVr SLD (%)	63
Tr SLD	50
Ag/g SLD	0.0543
Fo SLD	2.502
Tc* SLD	0.27 [s]
PVr SLV (%)	10
Tr SLV	475
Ag/g SLV	0.1542

6. CARATTERISTICHE PROGRAMMA DI CALCOLO

6.1. Descrizione del programma di calcolo

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 12.19

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: 12.17

Identificatore licenza: SW-8672175

Intestatario della licenza: AIRES ING. MAURO - VIA G. VERDI, 40 - COLLEGNO (TO)

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 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.

6.2. 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: Sezioni e materiali strutture di sostegno pannelli FV
- Allegato 2: Verifiche strutture di sostegno pannelli FV

Il dimensionamento e le verifiche strutturali delle membrature in acciaio costituenti il sistema portante dei pannelli fotovoltaici risultano soddisfatte.

6.3. Verifica delle membrature in cemento armato

Nel caso più generale le verifiche degli elementi in c.a. possono essere condotte col metodo delle tensioni ammissibili (D.M. 14-1-92) o agli stati limite in accordo al D.M. 09-01-96, al D.M. 14-01-08, al D.M. 17-01-18 o secondo Eurocodice 2. Le travi sono progettate e verificate a flessione retta e taglio; a richiesta è possibile la verifica per le sei componenti della sollecitazione. I pilastri ed i pali sono verificati per le sei componenti della sollecitazione. Per gli elementi bidimensionali giacenti in un medesimo piano è disponibile la modalità di verifica che consente di analizzare lo stato di verifica nei singoli nodi degli elementi. Nelle verifiche (a presso flessione e punzonamento) è ammessa la introduzione dei momenti di calcolo modificati in base alle direttive dell'EC2, Appendice A.2.8. I plinti superficiali sono verificati assumendo lo schema statico di mensole con incastri posti a filo o in asse pilastro. Gli ancoraggi delle armature delle membrature in c.a. sono calcolati sulla base della effettiva tensione normale che ogni barra assume nella sezione di verifica distinguendo le zone di ancoraggio in zone di buona o cattiva aderenza. In particolare il programma valuta la tensione normale che ciascuna barra può assumere in una sezione sviluppando l'aderenza sulla superficie cilindrica posta a sinistra o a destra della sezione considerata; se in una sezione una barra assume per effetto dell'aderenza una tensione normale minore di quella ammissibile, il suo contributo all'area complessiva viene ridotto dal programma nel rapporto tra la tensione normale che la barra può assumere per effetto dell'aderenza e quella ammissibile. Le verifiche sono effettuate a partire dalle aree di acciaio equivalenti così calcolate che vengono evidenziate in relazione. A seguito di analisi inelastiche eseguite in accordo a OPCM 3431 o D.M. 14-01-08, al D.M. 17-01-18 vengono condotte verifiche di resistenza per i meccanismi fragili (nodi e taglio) e verifiche di deformabilità per i meccanismi duttili.

7. PREDIMENSIONAMENTO BASAMENTI DI FONDAZIONE DELLE CABINE

7.1. Caratteristiche geometriche

A servizio dell'impianto fotovoltaico sono previste più cabine di trasformazione e consegna dell'energia prodotta dai pannelli fotovoltaici ed una serie di apparecchiature elettriche necessarie alla conversione della corrente prodotta dai pannelli fotovoltaici per l'immissione nella rete elettrica nazionale [trasformatori, condensatori, etc.]. Si prevede inoltre la realizzazione di locali ad uso magazzino ed ufficio mediante la messa a dimora di cabinati prefabbricati su appositi basamenti in cemento armato.

Nel dettaglio i basamenti oggetto dei predimensionamenti sono:

- Cabina interfaccia;
- Cabina storage
- Cabina ausiliari.

7.2. Azioni agenti

Per il dimensionamento dei basamenti di cui sopra i carichi applicati risultano descritti nell'ALLEGATO 5: Dati di definizione per dimensionamento basamenti". Le cabine risultano appoggiate su tali basamenti per cui si considera il solo carico trasmesso dalla neve come calcolato nel Cap. 5.2 al quale si rimanda per ogni chiarimento.

In sintesi i carichi applicati risultano essere i seguenti

- Cabina interfaccia
 - Peso cabina [comprensiva di macchinari ed attrezzature]: 0,57 daN/cm²;
 - Sovraccarico variabile: 0,06 daN/cm²
 - Neve: 0,012 daN/cm²
- Cabina storage ed ausiliari
 - Peso cabina [comprensiva di macchinari ed attrezzature]: 0,27 daN/cm²;
 - Sovraccarico variabile: 0,03 daN/cm²
 - Neve: 0,012 daN/cm²

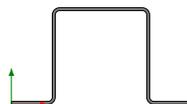
7.3. Verifiche dei basamenti

Nell'ALLEGATO 3 – Verifiche basamenti cabinati" alla presente relazione sono riportate le verifiche dei basamenti cabine. Come evidenziato tutte le verifiche risultano soddisfatte.



ALLEGATO 1 SEZIONI E MATERIALI STRUTTURE DI SOSTEGNO MODULI FV

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]

b: larghezza dell'ala superiore. [mm]

c: larghezza degli irrigidimenti. [mm]

h: altezza del profilo. [mm]

s: spessore. [mm]

r: raggio di curvatura anima-irrigidimenti. [mm]

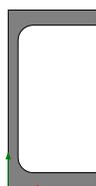
r1: raggio di curvatura ali-irrigidimenti. [mm]

Deroga lati: deroga misure lati EC3 §5.2.(1) Nota.

Formatura: tipo di formatura a freddo del sagomato.

Descrizione	Sup.	Area Tx FEM	Area Ty FEM	JxFEM	JyFEM	JtFEM	b	c	h	s	r	r1	Deroga lati	Formatura
OMEGA100x100x3x45	741.3	570	600	1676815	2852448	3402	100	45	100	3	4.5	4.5	No	A rullo

UAP



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]

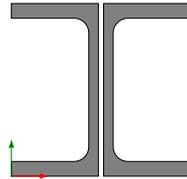
t: spessore delle ali. [mm]

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
UAP100	381.7	850	550	2096079	328326	25074	50	100	5.5	8.5	8.5	30
UAP300	967.2	3200	2850	81744253	5621320	349659	100	300	9.5	16	16	55

Sezioni accoppiate tipo 3



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]

Profilo: profilo utilizzato per creare la sezione accoppiata.

Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

Xg: coordinata X del baricentro. [mm]

Yg: coordinata Y del baricentro. [mm]

Area: area inerziale nel sistema geometrico centrato nel baricentro. [mm²]

Jx: momento d'inerzia attorno all'asse orizzontale baricentrico di definizione della sezione. [mm⁴]

Jy: momento d'inerzia attorno all'asse verticale baricentrico di definizione della sezione. [mm⁴]

Jxy: momento centrifugo rispetto al sistema di riferimento baricentrico di definizione della sezione. [mm⁴]

Jm: momento d'inerzia attorno all'asse baricentrico principale M. [mm⁴]

Jn: momento d'inerzia attorno all'asse baricentrico principale N. [mm⁴]

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

Curva Omega: curva Omega

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

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

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

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

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

Sx: momento statico relativo all'asse x. [mm³]

Sy: momento statico relativo all'asse y. [mm³]

Wx: modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse x. [mm³]

Wy: modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse y. [mm³]

Wm: modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse principale m. [mm³]

Wn: modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse principale n. [mm³]

Wplx: modulo di resistenza plastico relativo all'asse x. [mm³]

Wply: modulo di resistenza plastico relativo all'asse y. [mm³]

Atx: area a taglio lungo x. [mm²]

Aty: area a taglio lungo y. [mm²]

Jt: momento d'inerzia torsionale corretto con il fattore di forma. [mm⁴]

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]

Distanza accoppiamento: distanza di accoppiamento. [mm]

Calastrello: calastrello per l'asta con la sezione accoppiata.

Materiale: riferimento ad una definizione di materiale in acciaio per il calastrello.

Descrizione: descrizione o nome assegnato all'elemento.

E: modulo di elasticità longitudinale del materiale per edifici o materiali nuovi. [daN/mm²]

G: modulo di elasticità tangenziale del materiale, viene impiegato nella modellazione di aste e di elementi guscio a comportamento ortotropo. [daN/mm²]

v: coefficiente di Poisson. Il valore è adimensionale.

y: peso specifico del materiale. [daN/mm³]

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

Passo: interasse tra i calastrelli. [mm]

Spessore: spessore del calastrello. [mm]

Descrizione	Sup.	Area TXFEM	Area TYFEM	Jx FEM	Jy FEM	Jt FEM	Profilo																												Distanza appiamento	Calastrello											
							Descrizione	Xgg	Ygg	Area	Jx	Jy	Jm	Jn	d	Curva Omega	Sup.	ix	iy	im	in	Sx	Sy	Wx	Wy	Wm	Wn	Wpx	Wpy	Atx	Aty	Jt	Area TXFEM	Area TYFEM		Jx FEM	Jy FEM	Jt FEM	Materiale					Passo	Spessore		
																																							Descrizione	E	G	v	γ			α	
A3; UAP100; 0.3; 2; Bulloni; S355 EC3; 55; 0.3; 2; 3; 2; EC 8,8; 1	7	1	1	4	1	2	UAP100	1	5	1	2	3	0	2	3	0	C	3	4	1	4	1	2	9	4	9	4	9	5	1	8	5	2	8	5	2	3	2	3	S355 EC3	2	Default (8076.9231)	3	7	1	5	3
A3; UAP100; 0.3; 2; Bulloni; S355 EC3; 30; 0.3; 2; 3; 2; EC 8,8; 1	7	1	1	4	1	2	UAP100	1	5	1	2	3	0	2	3	0	C	3	4	1	4	1	2	9	4	9	4	9	5	1	8	5	2	8	5	2	3	2	3	S355 EC3	2	Default (8076.9231)	3	7	1	5	3

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
UAP100	1.7	5	13.38	209.61	32.83	0	209.61	32.83	0	2.51
UAP300	2.96	15	58.58	8174.43	562.13	0	8174.43	562.13	0	34.97
OMEGA100x100x3x45	9.2	5.13	11.02	167.68	285.24	0	167.68	285.24	0	0.34
A3; UAP100; 0.3; 2 Bulloni; S355 EC3; 55; 0.3; 2; 3; 2; EC 8.8; 1	5.15	5	26.76	419.22	157.2	0	419.22	157.2	0	22.26
A3; UAP100; 0.3; 2 Bulloni; S355 EC3; 30; 0.3; 2; 3; 2; EC 8.8; 1	5.15	5	26.76	419.22	157.2	0	419.22	157.2	0	22.26

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
UAP100	3.96	1.57	3.96	1.57	24.81	9.26	41.92	9.95	41.92	9.95	49.62	17.84
UAP300	11.81	3.1	11.81	3.1	319.82	79.24	544.96	79.88	544.96	79.88	639.64	144.88
OMEGA100x100x3x45	3.9	5.09	3.9	5.09	19.65	26.04	32.67	31	32.67	31	39.29	52.09
A3; UAP100; 0.3; 2 Bulloni; S355 EC3; 55; 0.3; 2; 3; 2; EC 8.8; 1	3.96	2.42	3.96	2.42	49.62	24.75	83.84	30.52	83.84	30.52	99.23	49.5
A3; UAP100; 0.3; 2 Bulloni; S355 EC3; 30; 0.3; 2; 3; 2; EC 8.8; 1	3.96	2.42	3.96	2.42	49.62	24.75	83.84	30.52	83.84	30.52	99.23	49.5

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
UAP100	8.5	5.5
UAP300	32	28.5
OMEGA100x100x3x45	5.7	6
A3; UAP100; 0.3; 2 Bulloni; S355 EC3; 55; 0.3; 2; 3; 2; EC 8.8; 1	17	11
A3; UAP100; 0.3; 2 Bulloni; S355 EC3; 30; 0.3; 2; 3; 2; EC 8.8; 1	17	11



ALLEGATO 2 VERIFICHE STRUTTURE DI SOSTEGNO MODULI FV



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.

Classe: classe della sezione.

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.

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.

Verifica: stato di verifica.

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.

Sfruttamento torsione: rapporto tra TE_d e TR_d.

TEd: sollecitazione torcente. [daN*cm]

TRd: resistenza a torsione. [daN*cm]

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

Sfruttamento taglio-torsione: $\tau_{Ed,totale} / (0.5 * \tau_{Rd})$. Non verificato se maggiore di 1.

$\tau_{Ed,totale}$: somma delle tensioni tangenziali totale derivanti da taglio e torsione. [daN/cm²]

τ_{Rd} : tensione tangenziale resistente. [daN/cm²]

NRd: resistenza assiale ridotta per taglio. [daN]

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

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

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

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

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.

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.

α : esponente α per flessione deviata.

β : esponente β per flessione deviata.

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.

$\beta_{x/m}$: coefficiente di lunghezza efficace per rotazione attorno a x/m .

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

$\lambda_{x/m}$: snellezza attorno a x/m del tratto tra i due ritegni.

λ_{Ver} : snellezza accettabile.

$\beta_{y/n}$: 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).

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

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

N_b, R_d : resistenza a instabilità della membratura compressa. [daN]

χ_{min} : coefficiente di riduzione minimo.

$I_0 x/m$: lunghezza libera di inflessione per inflessione attorno l'asse $x-x$ / $m-m$. [cm]

$I_0 y/n$: lunghezza libera di inflessione per inflessione attorno l'asse $y-y$ / $n-n$. [cm]

$\lambda_{adim. x/m}$: snellezza adimensionale per inflessione attorno l'asse $x-x$ / $m-m$.

$\lambda_{adim. y/n}$: snellezza adimensionale per inflessione attorno l'asse $y-y$ / $n-n$.

$N_{crit x/m}$: carico critico per inflessione attorno all'asse $x-x$ / $m-m$. [daN]

$N_{crit y/n}$: carico critico per inflessione attorno all'asse $y-y$ / $n-n$. [daN]

$M_{xEd,Ed}$: momento sollecitante equivalente attorno l'asse $x-x$ tra due ritegni all'inflessione attorno $x-x$. [daN*cm]

$M_{yEd,Ed}$: momento sollecitante massimo attorno l'asse $y-y$ tra due ritegni all'inflessione attorno $y-y$. [daN*cm]

Area: area della sezione. [cm²]

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

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

η : valore di η .

h_w : altezza dell'anima. [cm]

t_w : spessore dell'anima. [cm]

$h_w/t_w \max$: rapporto tra h_w e t_w massimo.

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. [cm]

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

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

$N_{Ed,ED}$: sforzo normale agente sull'estremo dissipativo. [daN]

$N_{pl,Rd,ED}$: 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.

$M_{x,Rd}$: resistenza a flessione attorno $x-x$ ridotta per taglio. [daN*cm]

$M_{y,Rd}$: resistenza a flessione attorno $y-y$ ridotta per taglio. [daN*cm]

Ascissa freccia: ascissa della massima freccia. [cm]

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.

NR_k : resistenza caratteristica assiale. [daN]

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

$M_{x,Rk}$: resistenza caratteristica a flessione attorno l'asse $x-x$. [daN*cm]

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

$M_{y,Rk}$: 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.

k_{xx} : valore di k_{xx} .

k_{xy} : valore di k_{xy} .

k_{yx} : valore di k_{yx} .

k_{yy} : valore di k_{yy} .

χ_{LT} : coefficiente di riduzione per instabilità flesso-torsionale.

Superelemento in acciaio "Piano campagna"-"Testa montante 2" filo 11 [Elemento colonna]

Caratteristiche del materiale

Acciaio: S355 EC3, fyk = 2750

Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 188.5

Nodo iniziale: 6 Nodo finale: 60

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
UAP300	270	58.58	8174.43	562.13	11.81	3.1	544.96	79.88	639.64	144.88

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 20	0.014	1	-2172.3	153435.7		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 1	0.003	1	-493.4	153435.7		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
188.5	SLV 12	0.001	-46.4	48387.5	32	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
188.5	SLU 10	0.005	-249.9	46368.1	30.66	Considerata	1	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
0	SLU 20	0.028	1	-2172.3	153435.7	1	22465	1675256	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
175.9	SLD 14	0.003	1	-375.7	153435.7	1	1227	1675256	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
25.1	SLV 12	0.021	1	-448.5	153435.7	1	-6693	379448	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
0	SLD 7	0.017	1	-479.8	153435.7	1	-5340	379448	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	0.024	1	-489.7	153435.7	1	657	1675256	7853	379448	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	0.008	1	-493.4	153435.7	1	884	1675256	1602	379448	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: Nessuno; la verifica a instabilità flesso-torsionale (svergolamento) non verrà eseguita.

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	16	Si, (<200)
2	Si	188.5					

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
1	Si	0					
			1-2	1	Si	60.9	Si, (<200)
2	Si	188.5					

Verifica di stabilità membrature compresse §4.2.4.1.3.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Obblig.	NEd	Nb,Rd	χ,min	I0 x/m	I0 y/n	λ adim. x/m	λ adim. y/n	N,crit x/m	N,crit y/n	Verifica
0	SLU 17	0.006	1	No	-658.9	111102.4	0.724	188.5	188.5	0.184	0.701	4768190.1	327894.9	Si

Verifica di stabilità per pressoflessione §C.4.2.4.1.3.3.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	MxEq,Ed	MyEq,Ed	Area	Wx	Wy	χ,min	λ adim. x/m	λ adim. y/n	N,crit x/m	N,crit y/n	Verifica
0	SLU 20	0.025	1	-2172.3	-9474	2	58.58	639.6	144.9	0.724	0.184	0.701	4768190.1	327894.9	Si

Verifica di stabilità per pressoflessione SLD §C.4.2.4.1.3.3.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	MxEq,Ed	MyEq,Ed	Area	Wx	Wy	χ,min	λ adim. x/m	λ adim. y/n	N,crit x/m	N,crit y/n	Verifica
0	SLD 9	0.015	1	-469.9	765	4001	58.58	639.6	144.9	0.724	0.184	0.701	4768190.1	327894.9	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	26.8	0.9	55.46	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 10	10	Iniziale	0	0	Dissipa Mx, Dissipa My

Verifiche di duttilità §7.5.3.2 NTC18

Classe peggiore 1 \leq 2 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 10	SLV 1	0.003	-521.6	153435.7	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 10	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 condotta.

Superelemento in acciaio a "Testa montante 2" - "Testa montante 1" 11-35 [Elemento Trave]

Caratteristiche del materiale

Acciaio: S355 EC3, fyk = 3550

Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 332.3

Nodo iniziale: 60 Nodo finale: 30

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
UAP300	0	58.58	8174.43	562.13	11.81	3.1	544.96	79.88	639.64	144.88

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 20	0.002		428.1		198071.6	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
332.3	SLD 16	0.001	1	-120.8	198071.6		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
295.3	SLV 7	0.001	-51.4	62405.5	32	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
295.3	SLD 8	0.001	-33.4	62435.1	32	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 20	0.02	1225.3	59857	30.66	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	210.7	59782.2	30.66	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
19.9	SLV 7	0.016	684.7	42658.2	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	τEd,totale	τRd	Verifica
13.9	SLD 8	0.011	466.1	42658.2	Considerata				Si

Verifica a flessione semplice 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

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	px	py	Verifica
332.3	SLU 2	0.005	1	10019.3	2162603.6	1	0	0	Si

Verifica a flessione semplice 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

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	px	py	Verifica
217.3	SLD 1	0.002	1	-3885.6	2162603.6	1	0	0	Si

Verifica a flessione semplice 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

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	px	py	Verifica
267.8	SLV 5	0.004	1	2029.2	489832.4	1	0	0	Si

Verifica a flessione semplice 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

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	px	py	Verifica
263.2	SLD 6	0.002	1	1202.4	489832.4	1	0	0	Si

Verifica a 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

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. My,Rd da VEd	α	β	px	py	Verifica
157.6	SLV 8	0.009	1	-5429	2162604	3080	489832	1	1			0	0	Si

Verifica a 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

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. My,Rd da VEd	α	β	px	py	Verifica
332.3	SLD 6	0.007	1	10498	2162604	974	489832	1	1			0	0	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
0	SLU 20	0.034	1	428.1	198071.6	1	69654	2162604	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
217.3	SLD 13	0.002	1	-60.2	198071.6	1	-2922	2162604	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
258.6	SLV 12	0.004	1	-65.7	198071.6	1	-1604	489832	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
258.6	SLD 16	0.001	1	-75.8	198071.6	1	-319	489832	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
332.3	SLV 12	0.01	1	-108.7	198071.6	1	11237	2162604	-1929	489832	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 8	0.008	1	88.1	198071.6	1	11135	2162604	-1197	489832	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: Nessuno; la verifica a instabilità flesso-torsionale (svergolamento) non verrà eseguita.

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	28.1	Si, (<200)
2	Si	332.3					

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
1	Si	0					
			1-2	1	Si	107.3	Si, (<200)
2	Si	332.3					

Verifica di stabilità per pressoflessione §C.4.2.4.1.3.3.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	MxEq,Ed	MyEq,Ed	Area	Wx	Wy	χ_{min}	$\lambda_{adim. x/m}$	$\lambda_{adim. y/n}$	N,crit x/m	N,crit y/n	Verifica
332.3	SLV 9	0.011	1	-107.9	8447	2477	58.58	639.6	144.9	0.348	0.368	1.404	1534252	105506.2	Si

Verifica di stabilità per pressoflessione SLD §C.4.2.4.1.3.3.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	MxEq,Ed	MyEq,Ed	Area	Wx	Wy	χ_{min}	$\lambda_{adim. x/m}$	$\lambda_{adim. y/n}$	N,crit x/m	N,crit y/n	Verifica
332.3	SLD 9	0.008	1	-84.6	8196	1641	58.58	639.6	144.9	0.348	0.368	1.404	1534252	105506.2	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	26.8	0.9	48.82	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	26.8	0.9	48.82	Si

Verifiche a deformabilità

Mensola X: No; Mensola Y: No.

Freccie lungo X

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
70.4	SLE RA 1	0	332.3	10000	250	Totale	Si
70.4	SLE RA 2	0	332.3	10000	250	Totale	Si
84.1	SLE RA 3	0	332.3	10000	250	Totale	Si
102.5	SLE RA 4	0	332.3	10000	250	Totale	Si
102.5	SLE RA 5	0	332.3	10000	250	Totale	Si
47.4	SLE RA 2	0	332.3	10000	350	Variabile	Si
47.4	SLE RA 3	0	332.3	10000	350	Variabile	Si
47.4	SLE RA 4	0	332.3	10000	350	Variabile	Si
47.4	SLE RA 5	0	332.3	10000	350	Variabile	Si

Freccie lungo Y

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
166.8	SLE RA 1	-0.003	332.3	10000	250	Totale	Si
166.8	SLE RA 2	-0.003	332.3	10000	250	Totale	Si
171.4	SLE RA 3	-0.009	332.3	10000	250	Totale	Si
176	SLE RA 4	-0.015	332.3	10000	250	Totale	Si
176	SLE RA 5	-0.015	332.3	10000	250	Totale	Si
176	SLE RA 2	0	332.3	10000	350	Variabile	Si
176	SLE RA 3	-0.006	332.3	10000	350	Variabile	Si

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
176	SLE RA 4	-0.012	332.3	10000	350	Variabile	Si
176	SLE RA 5	-0.012	332.3	10000	350	Variabile	Si

Superelemento in acciaio a "Quota 131.75" 20-21 [Elemento arcareccio]

Caratteristiche del materiale

Acciaio: S355 EC3, fyk = 3550, fuk = 4900

Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 290

Nodo iniziale: 46 Nodo finale: 47

Cerniera iniziale: No Cerniera finale: No

Sovraresistenza: 0% Sisma Z: No

Irrigidimento: No

Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
OMEGA100x100x3x45	159	11.02	167.68	285.24	3.9	5.09	32.67	31	39.29	52.09

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	yi
11.11	34.54	32.81	30.51	30.51	0	8.5	2118.95	10.2

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
10.79	34.47	32.49	34.11	32.72	30.27	30.35	30.35	30.27	0	0.03

Controlli geometrici

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

$r = 0.45 < 7.1$ - 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		15		50	Si
2-3	33.33			60	Si
3-4	33.33			500	Si
5-4	33.33			60	Si
6-5		15		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 X §C4.2.12.1.5.4.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vb,Rd	fyk	Verifica
0	SLV 9	0.003	19.8	5706.4	3550	Si

Verifica a taglio X SLD §C4.2.12.1.5.4.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vb,Rd	fyk	Verifica
0	SLD 10	0.003	14.9	5706.4	3550	Si

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	-15.2	11412.7	3550	Si

Verifica a taglio Y SLD §C4.2.12.1.5.4.1 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vb,Rd	fyk	Verifica
0	SLD 6	0.001	-11.8	11412.7	3550	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
125.7	SLV 14	0.002	262.7	109842.8		3550	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
135.3	SLD 9	0.002	268.4	109842.8		3550	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
58	SLV 12	0.013	1326.6	102356		3550	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
58	SLD 11	0.009	898.3	102356		3550	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 6	0.029	-591	110469	-2443	102356		3550	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 5	0.022	-586	110469	-1729	102356		3550	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	74.4	Si, (<200)
2	Si	290					

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	57	Si, (<200)
2	Si	290							

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
---	-------	--------------	---------	-------	---------	-------------	--------------------	------	-----------	----------

X	Comb.	Sfruttamento	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	$\chi_{,LT}$	λ adim. LT	L,LT	M,critico	Verifica
125.7	SLV 14	0.009	Si	262.7	29350.1	0.267	1.74	290	38090.3	Si

Verifica a svergolamento SLD §C4.2.12.1.6.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	$\chi_{,LT}$	λ adim. LT	L,LT	M,critico	Verifica
135.3	SLD 9	0.009	Si	268.4	29350.1	0.267	1.74	290	38090.3	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	$\chi_{,min}$	$\chi_{,lat}$	kx	ky	kLT	$\chi_{,LT}$	Verifica
0	SLV 6	0.031	0	-590.9	-2443.1	10.79	34.1	30.3	0.15	0.15	1	1	1	0.755	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 5	0.024	0	-585.9	-1729.4	10.79	34.1	30.3	0.15	0.15	1	1	1	0.755	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
145	SLE RA 1	-0.001	290	10000	250	Totale	Si
145	SLE RA 2	-0.001	290	10000	250	Totale	Si
145	SLE RA 3	-0.001	290	10000	250	Totale	Si
145	SLE RA 4	-0.001	290	10000	250	Totale	Si
145	SLE RA 5	-0.001	290	10000	250	Totale	Si
145	SLE RA 2	0	290	10000	350	Variabile	Si
145	SLE RA 3	0	290	10000	350	Variabile	Si
145	SLE RA 4	0	290	10000	350	Variabile	Si
145	SLE RA 5	0	290	10000	350	Variabile	Si

Frecce lungo Y

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
145	SLE RA 1	0.004	290	10000	250	Totale	Si
145	SLE RA 2	0.004	290	10000	250	Totale	Si
145	SLE RA 3	0.004	290	10000	250	Totale	Si
145	SLE RA 4	0.004	290	10000	250	Totale	Si
145	SLE RA 5	0.004	290	10000	250	Totale	Si
145	SLE RA 2	0	290	10000	350	Variabile	Si
145	SLE RA 3	0	290	10000	350	Variabile	Si
145	SLE RA 4	0	290	10000	350	Variabile	Si
145	SLE RA 5	0	290	10000	350	Variabile	Si

Pali di fondazione portale di sostegno pannelli FV

N.B.: I pali di fondazione sono realizzati con i profili in acciaio dei montanti della struttura [UAP 300]. I fini delle verifiche si considera una sezione equivalente circolare di diametro 8,75 cm avente valori statici leggermente inferiori [ai fini della sicurezza] ai valori della sezione di progetto.

ALLEGATO 3 VERIFICHE BASAMENTI CABINATI



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

Nodo: indice del nodo di verifica.

Dir.: direzione della sezione di verifica.

B: base della sezione rettangolare di verifica. [cm]

H: altezza della sezione rettangolare di verifica. [cm]

A. sup.: area barre armatura superiori. [cm²]

C. sup.: distanza media delle barre superiori dal bordo superiore della sezione. [cm]

A. inf.: area barre armatura inferiori. [cm²]

C. inf.: distanza media delle barre inferiori dal bordo inferiore della sezione. [cm]

Comb.: combinazione di verifica.

M: momento flettente. [daN*cm]

N: sforzo normale. [daN]

Mu: momento flettente ultimo. [daN*cm]

Nu: sforzo normale ultimo. [daN]

c.s.: coefficiente di sicurezza.

Verifica: stato di verifica.

σc: tensione nel calcestruzzo. [daN/cm²]

σlim: tensione limite. [daN/cm²]

Es/Ec: coefficiente di omogenizzazione.

σf: tensione nell'acciaio d'armatura. [daN/cm²]

εsm: deformazione unitaria media delle barre di armatura.

Δmax: distanza massima tra le fessure. [cm]

Wd: valore di calcolo di apertura delle fessure. [cm]

Comb.: combinazione.

Fh: componente orizzontale del carico. [daN]

Fv: componente verticale del carico. [daN]

Cnd: resistenza valutata a breve o lungo termine (BT - LT).

Ad: adesione di progetto. [daN/cm²]

Phi: angolo di attrito di progetto. [deg]

RPI: resistenza passiva laterale unitaria di progetto. [daN/cm²]

γR: coefficiente parziale sulla resistenza di progetto.

Rd: resistenza alla traslazione di progetto. [daN]

Ed: azione di progetto. [daN]

Rd/Ed: coefficiente di sicurezza allo scorrimento.

ID: indice della verifica di capacità portante.

Fx: componente lungo x del carico. [daN]

Fy: componente lungo y del carico. [daN]

Fz: componente verticale del carico. [daN]

Mx: componente lungo x del momento. [daN*cm]

My: componente lungo y del momento. [daN*cm]

ix: inclinazione del carico in x. [deg]

iy: inclinazione del carico in y. [deg]

ex: eccentricità del carico in x. [cm]

ey: eccentricità del carico in y. [cm]

B': larghezza efficace. [cm]

L': lunghezza efficace. [cm]

C: coesione di progetto. [daN/cm²]

Qs: sovraccarico laterale da piano di posa. [daN/cm²]

Rd: resistenza alla rottura del complesso di progetto. [daN]

Ed: azione di progetto (sforzo normale al piano di posa). [daN]

Rd/Ed: coefficiente di sicurezza alla capacità portante.

N:

Nq: fattore di capacità portante per il termine di sovraccarico.

Nc: fattore di capacità portante per il termine coesivo.

Ng: *fattore di capacità portante per il termine attritivo.*

S:

Sq: *fattore correttivo di capacità portante per forma (shape), per il termine di sovraccarico.*

Sc: *fattore correttivo di capacità portante per forma (shape), per il termine coesivo.*

Sg: *fattore correttivo di capacità portante per forma (shape), per il termine attritivo.*

D:

Dq: *fattore correttivo di capacità portante per approfondimento (deep), per il termine di sovraccarico.*

Dc: *fattore correttivo di capacità portante per approfondimento (deep), per il termine coesivo.*

Dg: *fattore correttivo di capacità portante per approfondimento (deep), per il termine attritivo.*

I:

Iq: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione del carico, per il termine di sovraccarico.*

IC: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione del carico, per il termine coesivo.*

Ig: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione del carico, per il termine attritivo.*

B:

Bq: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione della base, per il termine di sovraccarico.*

Bc: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione della base, per il termine coesivo.*

Bg: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione della base, per il termine attritivo.*

G:

Gq: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione del pendio, per il termine di sovraccarico.*

Gc: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione del pendio, per il termine coesivo.*

Gg: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione del pendio, per il termine attritivo.*

P:

Pq: *fattore correttivo di capacità portante per punzonamento, per il termine di sovraccarico.*

Pc: *fattore correttivo di capacità portante per punzonamento, per il termine coesivo.*

Pg: *fattore correttivo di capacità portante per punzonamento, per il termine attritivo.*

E:

Eq: *fattore correttivo di capacità portante per sisma (earthquake), per il termine di sovraccarico.*

Ec: *fattore correttivo di capacità portante per sisma (earthquake), per il termine coesivo.*

Eg: *fattore correttivo di capacità portante per sisma (earthquake), per il termine attritivo.*

Basamento cabina storage ed ausiliari

Geometria



Caratteristiche dei materiali

Acciaio: B450C Fyk 4500

Calcestruzzo: C25/30 Rck 300

Sistema di riferimento e direzioni di armatura

Le coordinate citate nel seguito sono espresse in un sistema di riferimento cartesiano con origine in (0; 0; -35), direzione dell'asse X = (1; 0; 0), direzione dell'asse Y = (0; 1; 0).

Le direzioni X/Y di armatura e le sezioni X/Y di verifica sono individuate dagli assi del sistema di riferimento.

Verifiche nei nodi

Verifiche SLU flessione nei nodi

La struttura è stata dichiarata come non dissipativa pertanto la verifica a pressoflessione, per le combinazioni SLV, viene eseguita calcolando i momenti resistenti in campo sostanzialmente elastico secondo D.M. 17-01-2018 §7.4.1

Nodo	Dir.	B	H	A. sup.	C. sup.	A. inf.	C. inf.	Comb.	M	N	Mu	Nu	c.s.	Verifica
145	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLU 116	1071940	0	1141900	0	1.0653	Si
327	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLU 116	1071935	0	1141900	0	1.0653	Si
146	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLU 116	1071912	0	1141900	0	1.0653	Si
328	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLU 116	1071736	0	1141900	0	1.0655	Si
112	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLU 116	1011960	0	1141900	0	1.1284	Si

Verifiche SLD Resistenza flessione nei nodi

La struttura è stata dichiarata come non dissipativa pertanto la verifica a pressoflessione viene eseguita calcolando i momenti resistenti in campo sostanzialmente elastico secondo D.M. 17-01-2018 §7.4.1

Nodo	Dir.	B	H	A. sup.	C. sup.	A. inf.	C. inf.	Comb.	M	N	Mu	Nu	c.s.	Verifica
145	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLD 1	312707	0	1031786	0	3.2995	Si
327	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLD 3	312707	0	1031786	0	3.2995	Si
146	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLD 13	312695	0	1031786	0	3.2997	Si
328	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLD 15	312639	0	1031786	0	3.3002	Si
280	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLD 13	301032	0	1031786	0	3.4275	Si

Verifiche SLE tensione calcestruzzo nei nodi

Nodo	Dir.	B	H	A. sup.	C. sup.	A. inf.	C. inf.	Comb.	M	N	σc	σlim	Es/Ec	Verifica
145	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLE RA 17	716236	0	-63.3	149.4	15	Si
327	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLE RA 17	716233	0	-63.3	149.4	15	Si
146	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLE RA 17	716217	0	-63.3	149.4	15	Si
328	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLE RA 17	716097	0	-63.3	149.4	15	Si
112	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLE RA 17	676293	0	-59.8	149.4	15	Si

Verifiche SLE tensione acciaio nei nodi

Nodo	Dir.	B	H	A. sup.	C. sup.	A. inf.	C. inf.	Comb.	M	N	of	σlim	Es/Ec	Verifica
145	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLE RA 17	716236	0	2641.5	3600	15	Si
327	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLE RA 17	716233	0	2641.5	3600	15	Si
146	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLE RA 17	716217	0	2641.5	3600	15	Si
328	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLE RA 17	716097	0	2641	3600	15	Si
112	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLE RA 17	676293	0	2494.2	3600	15	Si

Verifiche SLE fessurazione nei nodi

Nodo	Dir.	B	H	A. sup.	C. sup.	A. inf.	C. inf.	Comb.	M	N	εsm	Amax	Wd	Es/Ec	Verifica
327	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLE QP 4	285914	0	0.00031	37.6	0.0115	15	Si
145	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLE QP 4	285913	0	0.00031	37.6	0.0115	15	Si
146	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLE QP 4	285901	0	0.00031	37.6	0.0115	15	Si
328	Y	100	35	10.26	5.7	10.26	5.7	SLE QP 4	285847	0	0.00031	37.6	0.0115	15	Si
375	X	100	35	10.26	7.1	10.26	7.1	SLE QP 4	240455	0	0.00027	42.4	0.0115	15	Si

Verifiche geotecniche

Dati geometrici dell'impronta di calcolo

Forma dell'impronta di calcolo: rettangolare di area equivalente

Centro impronta, nel sistema globale: 1315; 245; -70

Lato minore B dell'impronta: 490

Lato maggiore L dell'impronta: 2630

Area dell'impronta rettangolare di calcolo: 1288700

Verifica di scorrimento sul piano di posa

Coefficiente di sicurezza minimo per scorrimento 1.73

Comb.	Fh	Fv	Cnd	Ad	Phi	RPI	γR	Rd	Ed	Rd/Ed	Verifica
SLU 37	0	-405512	LT	0	17	0	1.1	112707	0	49958586137.37	Si
SLV 5	32739	-203968	LT	0	17	0	1.1	56690	32739	1.73	Si

Verifica di capacità portante sul piano di posa

Profondità massima del bulbo di rottura considerato: 3.75 m

Peso specifico efficace del terreno di progetto γs: 1880 daN/m³

Accelerazione normalizzata massima attesa al suolo Amax per verifiche in SLD: 0.02

Accelerazione normalizzata massima attesa al suolo Amax per verifiche in SLV: 0.056

Coefficiente di sicurezza minimo per portanza 4.51

ID	Comb.	Fx	Fy	Fz	Mx	My	ix	iy	ex	ey	B'	L'	Cnd	C	Phi	Qs	γR	Rd	Ed	Rd/Ed	Verifica
1	SLU 116	0	0	-479598	0	0	0	0	0	0	490	2630	LT	0	24	0	2.3	2161731	479598	4.51	Si
2	SLV 7	0	31514	-203968	-	-754034	0	9	-4	-13	464	2623	LT	0	24	0	2.3	1146135	203968	5.62	Si
3	SLD 7	0	10751	-203968	-913828	-257826	0	3	-1	-4	481	2627	LT	0	24	0	2.3	1758406	203968	8.62	Si

Verifiche geotecniche di capacità portante - fattori utilizzati nel calcolo di Rd

ID	N			S			D			I			B			G			P			E		
	Nq	Nc	Ng	Sq	Sc	Sg	Dq	Dc	Dg	Iq	Ic	Ig	Bq	Bc	Bg	Gq	Gc	Gg	Pq	Pc	Pg	Eq	Ec	Eg
1	9	19	9	1.08	1.09	0.93	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	9	19	9	1.08	1.09	0.93	1	1	1	0.73	0.7	0.62	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.95	0.98	0.95
3	9	19	9	1.08	1.09	0.93	1	1	1	0.9	0.89	0.86	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.98	0.99	0.98

Basamento cabina interfaccia

Geometria



Caratteristiche dei materiali

Acciaio: B450C Fyk 4500

Calcestruzzo: C25/30 Rck 300

Sistema di riferimento e direzioni di armatura

Le coordinate citate nel seguito sono espresse in un sistema di riferimento cartesiano con origine in (0; 0; 0), direzione dell'asse X = (1; 0; 0), direzione dell'asse Y = (0; 1; 0).

Le direzioni X/Y di armatura e le sezioni X/Y di verifica sono individuate dagli assi del sistema di riferimento.

Verifiche nei nodi

Verifiche SLU flessione nei nodi

Piastra di fondazione con comportamento non dissipativo pertanto la verifica a pressoflessione, per le combinazioni SLV, viene eseguita calcolando i momenti resistenti in campo sostanzialmente elastico secondo D.M. 17-01-2018 §7.4.1

Nodo	Dir.	B	H	A. sup.	C. sup.	A. inf.	C. inf.	Comb.	M	N	Mu	Nu	c.s.	Verifica
280	Y	100	30	5.65	5.6	5.65	5.6	SLU 67	-5344	0	-571711	0	106.9771	Si
313	Y	100	30	5.65	5.6	5.65	5.6	SLU 67	-5340	0	-571711	0	107.0562	Si
250	Y	100	30	5.65	5.6	5.65	5.6	SLU 67	-5337	0	-571711	0	107.121	Si
281	Y	100	30	5.65	5.6	5.65	5.6	SLU 67	-5334	0	-571711	0	107.1762	Si
217	Y	100	30	5.65	5.6	5.65	5.6	SLU 67	-5329	0	-571711	0	107.2869	Si

Verifiche SLE tensione calcestruzzo nei nodi

Nodo	Dir.	B	H	A. sup.	C. sup.	A. inf.	C. inf.	Comb.	M	N	σ_c	σ_{lim}	Es/Ec	Verifica
283	X	100	30	5.65	6.8	5.65	6.8	SLE QP 1	-4221	0	-0.3	112.1	15	Si
282	X	100	30	5.65	6.8	5.65	6.8	SLE QP 1	-4221	0	-0.3	112.1	15	Si
284	X	100	30	5.65	6.8	5.65	6.8	SLE QP 1	-4220	0	-0.3	112.1	15	Si
285	X	100	30	5.65	6.8	5.65	6.8	SLE QP 1	-4219	0	-0.3	112.1	15	Si
281	X	100	30	5.65	6.8	5.65	6.8	SLE QP 1	-4217	0	-0.3	112.1	15	Si

Verifiche SLE tensione acciaio nei nodi

Nodo	Dir.	B	H	A. sup.	C. sup.	A. inf.	C. inf.	Comb.	M	N	σ_f	σ_{lim}	Es/Ec	Verifica
280	Y	100	30	5.65	5.6	5.65	5.6	SLE RA 1	-4111	0	2.4	3600	15	Si
313	Y	100	30	5.65	5.6	5.65	5.6	SLE RA 1	-4108	0	2.4	3600	15	Si
250	Y	100	30	5.65	5.6	5.65	5.6	SLE RA 1	-4105	0	2.4	3600	15	Si

Nodo	Dir.	B	H	A. sup.	C. sup.	A. inf.	C. inf.	Comb.	M	N	of	olim	Es/Ec	Verifica
281	Y	100	30	5.65	5.6	5.65	5.6	SLE RA 1	-4103	0	2.4	3600	15	Si
217	Y	100	30	5.65	5.6	5.65	5.6	SLE RA 1	-4099	0	2.4	3600	15	Si

Verifiche SLE fessurazione nei nodi

La piastra non presenta nodi con apertura delle fessure.

Verifiche geotecniche

Dati geometrici dell'impronta di calcolo

Forma dell'impronta di calcolo: rettangolare di area equivalente

Centro impronta, nel sistema globale: 1270; 600; -30

Lato minore B dell'impronta: 1200

Lato maggiore L dell'impronta: 2540

Area dell'impronta rettangolare di calcolo: 3048000

Verifica di scorrimento sul piano di posa

Coefficiente di sicurezza minimo per scorrimento 197876309975.23

Comb.	Fh	Fv	Cnd	Ad	Phi	RPI	γR	Rd	Ed	Rd/Ed	Verifica
SLU 67	0	-297180	LT	0	17	0	1.1	82597	0	197876309975.23	Si

Verifica di capacità portante sul piano di posa

Profondità massima del bulbo di rottura considerato: 9.19 m

Peso specifico efficace del terreno di progetto γ_s : 1880 daN/m³

Coefficiente di sicurezza minimo per portanza 36.92

ID	Comb.	Fx	Fy	Fz	Mx	My	ix	iy	ex	ey	B'	L'	Cnd	C	Phi	Qs	γR	Rd	Ed	Rd/Ed	Verifica
1	SLU 67	0	0	-297180	0	0	0	0	0	0	1200	2540	LT	0	24	0	2.3	10972828	297180	36.92	Si

Verifiche geotecniche di capacità portante - fattori utilizzati nel calcolo di Rd

ID	N			S			D			I			B			G			P			E		
	Nq	Nc	Ng	Sq	Sc	Sg	Dq	Dc	Dg	Iq	Ic	Ig	Bq	Bc	Bg	Gq	Gc	Gg	Pq	Pc	Pg	Eq	Ec	Eg
1	9	19	9	1.21	1.23	0.81	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

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: m⁴

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

momenti e rigidezze rotazionali vincoli: kN*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 non drenate (terreni a grana fina a breve e medio termine, terreni a grana fina con applicazione non lentissima dei carichi)

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, $D=0,0875$ m

lunghezza di affondamento palo, $L=2,5$ m

lunghezza del palo fuori terra, $L1=0$ m

affondamento falda rispetto al piano di campagna, $z_w=0$ 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: Circolare

diametro, $D=8,75$ cm

area della sezione, $A=60,132$ cm²

momento d'inerzia elastico della sezione rispetto all'asse y, $I_y=287,741$ cm⁴

modulo di resistenza elastico rispetto all'asse y, $W_y=65,769$ cm³

modulo di resistenza plastico rispetto all'asse y, $W_{ply}=111,654$ 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/m³

Strato n° 1-Limo torboso e sabbia limosa

peso dell'unità di volume, $g=18,80$ kN/m³

peso dell'unità di volume saturo, $g_{sat}=19,90$ kN/m³

angolo di resistenza al taglio denato, $\phi_i=24^\circ$

coesione drenata, $c'_i=0$ kN/m²

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

angolo di attrito palo-terreno lato spinta passiva, $\delta_{p}=5^\circ$

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, $\phi_i=24^\circ$

coesione drenata, $c'_i=0$ kN/m²

coesione non drenata, $c_u=0$ kN/m²

coefficiente per il calcolo adesione (aliquota di c_u), $\alpha=1$

adesione al contatto palo-terreno, $a=0$ kN/m²

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

coeff. empirico k che lega la tens. norm. orizz. alla tens. effett. litost. vertic., $k=0,7$

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 Limo torboso e sabbia limosa	2,16039	7,22175	0,5

DATI MATERIALI COSTITUENTI IL PALO

tipo di acciaio micropalo/palo: S 355

modulo di elasticità longitudinale acciaio, $E_s=210000$ N/mm²

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

tensione caratteristica di rottura acciaio, $f_{tk}=510$ N/mm²

tensione caratteristica di snervamento acciaio, $f_{yk}=355$ N/mm²

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, $f_{yd}=f_{yk}/g_{M0}=338,1$ N/mm²

CARICHI ESTERNI APPLICATI IN TESTA AL PALO (valori caratteristici)

Combinazione di carico allo SLU n° 1

componente verticale permanente, $N_{x0G}=4,8$ kN

componente verticale variabile, $N_{x0Q}=0$ kN

componente orizzontale permanente, $T_{z0G}=0$ kN

componente orizzontale variabile, $T_{z0Q}=0$ kN

componente momento permanente, $M_{y0G}=0,08$ kN*m

componente momento variabile, $M_{y0Q}=0$ kN*m

Combinazione di carico allo SLE n° 1 SLE

componente verticale, $N_{x0}=1,7$ kN

componente orizzontale, $T_{z0}=0$ kN

componente momento, $M_{y0}=0,0044$ kN*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, $L_{me}=0,5$ 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, $U=\pi \cdot D=0,942$ m

rapporto $L/D=8,3$

area sezione (sul diametro D), $A_p=0,0707$ mq

volume palo (sul diametro D), $V_p=0,18$ mc

peso del palo, $W_p=1,18$ kN

VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI

Combinazione di carico allo SLU n° 1 (1)

A) Verifica a breve termine in condizioni non drenate

SOLLECITAZIONI AGENTI SUL PALO DI FONDAZIONE (calcolo FEM)

sez./n odo	x (m)	N_x (kN)	T_z (kN)	M_y (kN*m)
1	0,0	-6,24	0,02	-0,10
2	0,5	-6,55	0,06	-0,09
3	1,0	-6,85	0,07	-0,06
4	1,5	-7,16	0,04	-0,03
5	2,0	-7,47	0,01	-0,01

6 2,5 -7,77 0,01 0,00

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

K_s = costante orizzontale di Winkler (N/cmc)

R_vX = componente della reazione vincolare lungo X (kN)

R_vY = componente della reazione vincolare lungo Y (kN)

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

p_{Xv} = pressione orizzontale del terreno (molle) (kN/mq)

sez./nodo	x (m)	K_s	R_vX	R_vY	R_vZ	p_{Xv}
1	0	2,16	0,01	0	0	0,2
2	0,5	7,27	0,03	0	0	0,23
3	1	9,38	0	0	0	0,01
4	1,5	11,01	-0,02	0	0	-0,12
5	2	12,37	-0,02	0	0	-0,15
6	2,5	13,58	-0,01	-5,98	0	-0,15

VERIFICA CONDIZIONI DI EQUILIBRIO PALO (calcolo FEM)

Equilibrio alla traslazione orizzontale

somma delle forze esterne orizzontali applicate al palo, $S_{Fx}=0,00$ kN

somma delle reazioni vincolari lungo X, $SommR_vX=0,00$ kN

equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale: $S_{Fx}+SommR_vX=0,00$ kN

Equilibrio alla traslazione verticale

peso proprio del palo, $W_p=1,18$ kN

somma delle forze verticali applicate al palo, $S_{Fy}=4,80$ kN

somma delle reazioni vincolari lungo Y, $SommR_vY=-5,98$ kN

equazione di equilibrio alla traslazione verticale: $W_p+S_{Fy}+SommR_vY=0,00$ kN

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

momento delle forze orizzontali applicate al palo, $M_{Fx}=-0,08$ kN*m

momento delle reazioni vincolari lungo X, $M_{R_vX}=0,08$ kN*m

reazioni vincolari momento, $M_{R_vZ}=0,00$ kN*m

equazione di equilibrio alla rotazione: $M_{Fx}+M_{R_vX}+M_{R_vZ}=0,00$ 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	-0,01	0,62	-0,0002
2	0,5	0	0,62	-0,0001
3	1	0	0,62	0
4	1,5	0	0,62	0
5	2	0	0,62	0
6	2,5	0	0,62	0

VERIFICA SEZIONI A SFORZO NORMALE ECCENTRICO E TAGLIO

Dati meccanici della sezione

Resistenza plastica a sforzo normale della sezione lorda A, $N_{pl_Rd}=2\ 033,03$ kN

Area resistente al taglio della sezione lungo z, $A_{vz}=60,13$ cmq

Resistenza di progetto a taglio lungo z, $V_{cz_Rd}=1\ 173,77$ kN

Momento resistente elastico lungo l'asse vettore y, $M_{ely_Rd}=22,24$ kN*m

Momento resistente plastico lungo l'asse vettore y, $M_{ply_Rd}=37,75$ kN*m

tensione di snervamento di progetto, $f_{yd}=338$ N/mm²

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	-6,24	0,02	-0,1	2,6		SI
2	0,5	-6,55	0,06	-0,09	2,5		SI
3	1	-6,85	0,07	-0,06	2,1		SI
4	1,5	-7,16	0,04	-0,03	1,6		SI
5	2	-7,47	0,01	-0,01	1,4		SI
6	2,5	-7,77	0,01	0	1,3		SI

Momento resistente o di plasticizzazione del palo, $M_{yR}=37,75$ kN*m

CARICO LIMITE PER CARICHI ASSIALI

APPROCCIO 2 (A1+M1+R3)**Azione di progetto**

$E_d = g_{Gs} \cdot N_{x0g} + g_{Qs} \cdot N_{x0q} + g_{Gs} \cdot W_p = 7,77 \text{ kN}$

Resistenza di progetto**Verticale di indagine n° 1 ()**

Parametri geotecnici di progetto

coesione, $c_d = 0 \text{ kN/mq}$

angolo di resistenza al taglio, $F_{i_d} = 24^\circ$

Resistenza alla punta

fattore $N_q = 9,82$

fattore $N_c = 19,8$

tensione litostatica verticale totale alla profondità L, $s_{VL} = 49,75 \text{ kN/mq}$

Resistenza unitaria alla punta, $p = 0,25 \text{ N/mm}^2$

Resistenza alla punta, $P_{max} = 17,50 \text{ kN}$

Resistenza laterale

Resistenza laterale, $S_{max} = 7,49 \text{ kN}$

Resistenza alla punta e laterale di progetto

Resistenza alla punta (valore medio), $P_{max_med} = 17,50 \text{ kN}$

Resistenza alla punta (valore minimo), $P_{max_min} = 17,50 \text{ kN}$

Resistenza laterale (valore medio), $S_{max_med} = 7,49 \text{ kN}$

Resistenza laterale (valore minimo), $S_{max_min} = 7,49 \text{ kN}$

Fattore di correlazione, $\xi_3 = 1,7$

Fattore di correlazione, $\xi_4 = 1,7$

Resistenza alla punta (valore caratteristico), $P_{max_k} = 10,30 \text{ kN}$

Resistenza laterale (valore caratteristico), $S_{max_k} = 4,41 \text{ kN}$

Resistenza alla punta di progetto, $P_{max_d} = P_{max_k} / g_b = 8,95 \text{ kN}$

Resistenza laterale di progetto, $S_{max_d} = S_{max_k} / g_s = 3,83 \text{ kN}$

Carico limite per carichi assiali di compressione

$Q_{lim_d} = P_{max_d} + S_{max_d} = 12,78 \text{ kN}$

Carico limite di sfilamento per carichi assiali di trazione

$Q_{limt_d} = S_{max_d} = 3,83 \text{ kN}$

Verifica al carico limite per carichi assiali di compressione

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

coeff. di sicurezza, $\eta = Q_{lim_d} / E_d = 1,64$