

Concetto Green S.r.l.

Impianto agrivoltaico "Lugo" da 69.423,2 ed opere connesse

Comuni di Lugo, Alfonsine, Bagnacavallo, Fusignano e Ravenna (RA)

Progetto Definitivo Impianto di Utanza

Allegato C.05 - Relazione geotecnica e calcoli preliminari strutture - Impianto di Utanza



Professionista incaricato: Ing. Daniele Cavallo – Ordine Ingegneri Prov. Brindisi n. 1220

Rev. 0

Giugno 2023



wood.

Indice

1	PREMESSA	4
2	inquadramento geologico dell'area	6
3	Documenti di riferimento	7
4	Normativa di riferimento	8
5	FONDAZIONE TRASFORMATORE DI POTENZA	9
5.1	Descrizione generale dell'opera	9
5.2	Modellazione della struttura – criteri generali	10
5.3	Carichi di progetto	12
5.4	Valutazione dell'azione sismica	12
5.5	Tipo di analisi strutturale	12
5.6	Generazione del modello	12
5.7	Risultati delle analisi	15
5.7.1	Sollecitazioni e deformazioni	15
5.7.2	Pressioni al suolo	17
6	APPARECCHIATURE AT	18
6.1	Descrizione generale delle opere	18
6.2	Normativa di riferimento	19
6.3	Azioni agenti sulle apparecchiature	19
6.4	Criteri di progetto delle fondazioni apparecchiature AT	20
6.4.1	Fondazione per sezionatore orizzontale	20
6.4.2	Fondazione per interruttore tripolare	22
6.4.3	Fondazioni unipolari per Trasformatore di Tensione TV	24
6.4.4	Fondazioni unipolari per Trasformatore di Corrente TA	25
6.4.5	Fondazioni unipolari per Scaricatori	27
6.4.6	Fondazioni per sistema sbarre	29
6.5	Verifiche geotecniche	31
7	EDIFICIO DI COMANDO	32
7.1	Descrizione generale dell'opera	32
7.2	Criteri di modellazione della struttura	33
7.3	Risultati delle analisi	38
7.3.1	Sollecitazioni sulle aste	38
7.3.2	Pressioni al suolo	40

7.4 Conclusioni	41
7.5 Verifiche geotecniche	41
7.5.1 Caratterizzazione dell'area di sedime	41
7.5.2 Verifiche di capacità portante	42

Questo documento è di proprietà di Concetto Green S.r.l. e il detentore certifica che il documento è stato ricevuto legalmente. Ogni utilizzo, riproduzione o divulgazione del documento deve essere oggetto di specifica autorizzazione da parte di Concetto Green S.r.l.

1 PREMESSA

La presente relazione illustra i criteri preliminari di dimensionamento delle opere strutturali previste nel progetto dell'Impianto di Utente per la connessione alla RTN dell'Impianto agrivoltaico da 69.423,2 kWp che la Società proponente intende realizzare nei comuni di Lugo, Alfonsine, Fusignano, Bagnacavallo e Ravenna, in Provincia di Ravenna.

L'Impianto di Utente, che comprende sia la Stazione Utente di trasformazione 132/30 kV che le Opere Condivise a 132 kV, ricadrà nel Comune di Ravenna e verrà realizzata in adiacenza alla esistente Stazione RTN 132 kV denominata "Santerno".

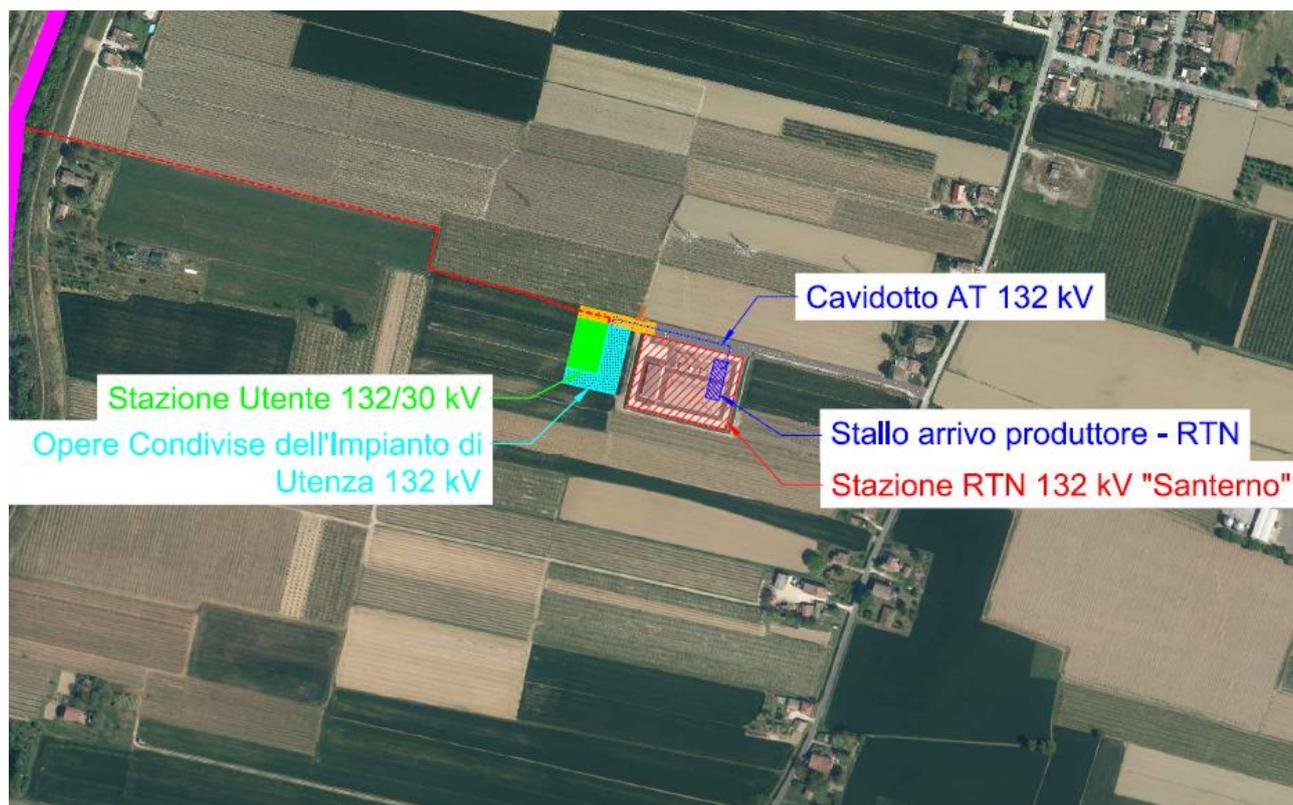


Figura 1-1 - Inquadramento Impianto di Utente e Impianto di Rete su ortofoto

Nella presente relazione verranno trattate solo le opere strutturali principali, che ricadono tutte all'interno della Stazione Utente e sono di seguito elencate:

- la fondazione del trasformatore di potenza 30/132 kV (56/70 MVA);
- le apparecchiature elettromeccaniche con relative fondazioni (unipolari/tripolari);
- l'edificio utente.

Le opere considerate sono indicate schematicamente nella figura successiva.

L'intenzione progettuale è quella di sollevare la stazione al fine di preservarla da eventuali fenomeni di inondazione. A tal fine si prevede di impostare il piano finito di progetto fino alla quota di +7,60 m s.l.m., rispetto alla quota media del p.c. attuale che è di circa +5,80 m s.l.m.

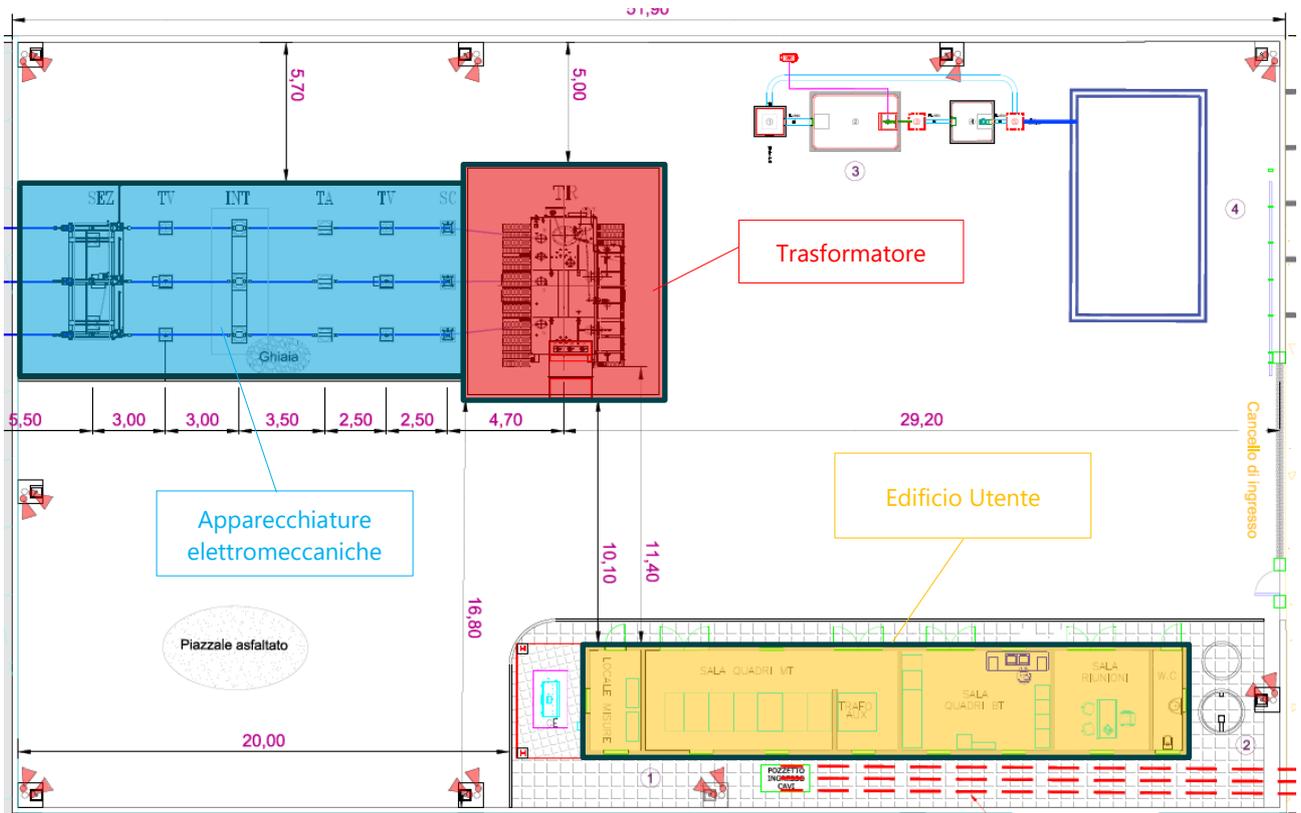


Figura 1-2 Identificazione opere strutturali considerate

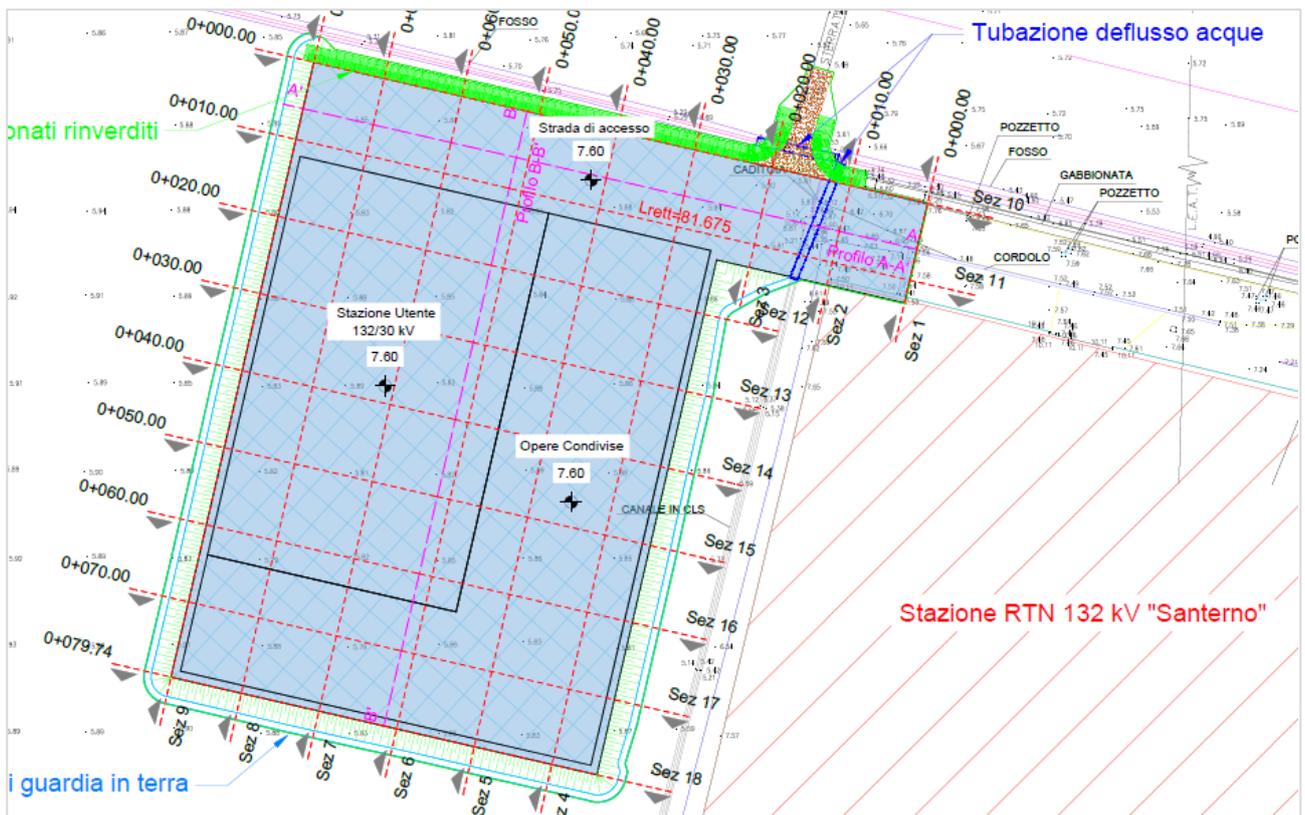


Figura 1-3 Progetto del piano finito del piazzale Stazione Utente e Opere Condivise

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA

L'inquadramento geologico di riferimento è quello descritto nell'Allegato C.04 "Relazione Geologica, Geomorfologica, Idrologica, Idrogeologica e di prime considerazione geotecniche" del progetto definitivo dell'Impianto di Utenza, elaborato dal Dott. Geol. Bedeschi Sara, iscritta all'Ordine Regionale dei Geologi della Regione Emilia Romagna Sez. A n. 1194, a valle della campagna di indagini in situ condotta tra i mesi di Aprile e Giugno 2023.

La Carta Geologica dell'Emilia-Romagna in scala 1:10.000 (disponibile dal sito del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli) indica che l'area di studio ricade in un ambiente di piana alluvionale, che nello specifico trattasi di litotipi sabbio-limosi ovvero di terreni tipici dei depositi di canale, argine e rotta fluviale. L'unità geologica è la AES8a, ovvero l'unità di Modena, in particolare trattasi del Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subintema di Ravenna.

La AES8a è un'unità costituita da ghiaie e ghiaie sabbiose o da sabbie con livelli e lenti di ghiaie ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, in contesti di conoide alluvionale, canale fluviale e piana alluvionale intravalliva. Al tetto l'unità presenta localmente un suolo calcareo poco sviluppato di colore grigio-giallastro.

La condizione litologica superficiale, riscontrata in fase di indagine penetrometrica, non è pienamente conforme con quanto indicato dalle cartografie tematiche di cui sopra che sostanzialmente considerano la litologia di superficie ovvero dei primi decimetri di spessore. Dall'analisi delle risultanze delle prove penetrometriche eseguite e delle indagini bibliografiche, si è potuto sostanzialmente rilevare, dopo un primo spessore esiguo di litotipi limosi e sabbio-limosi/argillo-limosi tra 0,60 m e -2,20 m dal p.c., la presenza di litotipi argillosi e argillosi debolmente limosi fino a fine prova (-20 m dal p.c.).

Si riportano le evidenze riscontrate in fase di prove penetrometriche:

- **Orizzonte 1:** da -0,00 m a -2,80 m dal p.c.

Litotipi limo-argillosi e limo-sabbiosi a componente sia coesiva che granulare. I valori di Q_c sono mediamente compresi tra 15 e 45 kg/cm²

- **Orizzonte 2:** da -2,80 m a -9,20 m dal p.c.

Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica/torba a componente coesiva prevalente. I valori di Q_c sono mediamente compresi tra 10 e 15 kg/cm²

- **Orizzonte 3:** da -9,20 m a 12,00 m dal p.c.

Litotipi argillosi e argillosi debolmente limosi a componente coesiva prevalente. I valori di Q_c sono mediamente compresi tra 15 e 20 kg/cm²

- **Orizzonte 4:** da -12,00 m a 20,00 m dal p.c.

Litotipi argillosi e argillo-limosi con probabile presenza di sostanza organica/torba a componente coesiva prevalente. I valori di Q_c sono mediamente compresi tra 10 e 15 kg/cm².

L'area destinata all'Impianto di Utenza è ubicata a circa 580 m a E del Fiume Lamone. Non si rilevano poi altri corpi idrici se non fossi di scolo e/o scoline in quanto l'area si trova in prossimità di una zona agricola.

La falda freatica locale, o almeno la prima falda sospesa, è stata rilevata, nel foro di esecuzione delle CPT/CPTU alla profondità di -2,00 m dal p.c., correlabile appunto alla presenza di acquiferi non continui localizzati negli orizzonti argillo-limosi con livelli a maggiore permeabilità.

Per l'area in esame è normale attendersi oscillazioni della falda (che caratterizzano un'ampia fascia della Pianura Padana). È cioè naturale/normale registrare variazioni del livello della falda fra i periodi estivi/caldi e "siccitosi" e quelli invernali/freddi e piovosi. Il regime delle precipitazioni atmosferiche ed il regime termico locale determina la più o meno veloce ricarica (per semplice infiltrazione diretta) o depressione (relativamente ai fenomeni evapo-traspirativi) della prima falda freatica locale. Dalla misura sopra riportata si potranno registrare nei periodi caldi/siccitosi un approfondimento del livello della prima tavola d'acqua rispetto al piano campagna. È plausibile, pertanto, ipotizzare una risalita sino a profondità di 1,50 m circa dal p.c. nei periodi maggiormente piovosi ed un abbassamento sino a 4,00 m circa dal p.c. nei periodi caldi/siccitosi.

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

I documenti di riferimento utilizzati per eseguire il progetto preliminare delle strutture sono di seguito elencati:

- Tav. 05a Planimetria elettromeccanica – Opere Condivise,
- Tav.05b Planimetria elettromeccanica – Stazione Utente,
- Tav. 06a Sezione elettromeccanica – Opere Condivise,
- Tav. 06b Sezione elettromeccanica – Stazione Utente,
- Tav. 07b Planimetria viste e sezioni Edificio Utente – Stazione Utente,
- Tav. 09 Studio plano-altimetrico - Planimetria - Impianto di Utenza All. C.04 Relazione Geologica, Geomorfologica, Idrologica, Idrogeologica e di prime considerazioni geotecniche- Impianto di Utenza.

4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Ai fini del dimensionamento preliminare sono stati utilizzati i metodi classici della scienza delle costruzioni.

I valori caratteristici dei carichi vento verranno calcolati in accordo al D.M. 17 gennaio 2018 - NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI, Cap. 3 - AZIONI SULLE COSTRUZIONI - Par. 3.3 e 3.4, nonché alla Circolare applicativa n. 7 dell'11 febbraio 2019, *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018.*

5 FONDAZIONE TRASFORMATORE DI POTENZA

5.1 Descrizione generale dell'opera

L'opera in oggetto è una vasca interrata in c.a. adibita a supporto del trasformatore di potenza. La vasca presenta una pianta rettangolare di dimensioni 8,00 x 9,50 m ed un'altezza $h = 1,85$ m (le dimensioni potrebbero variare in base alla scelta del trasformatore).

L'interno della vasca presenta 2 setti intermedi, in cima ai quali sono fissate le rotaie in acciaio che fungono da appoggio per il trasformatore, e ne garantiscono lo scorrimento per le fasi di esercizio e manutenzione.

Sulla parte superiore della vasca è presente un grigliato metallico sul quale è posato lo strato tagliafiamma in pietrame, per uno spessore complessivo di ca 50 cm.

La fondazione appartiene alla tipologia di tipo diretto.

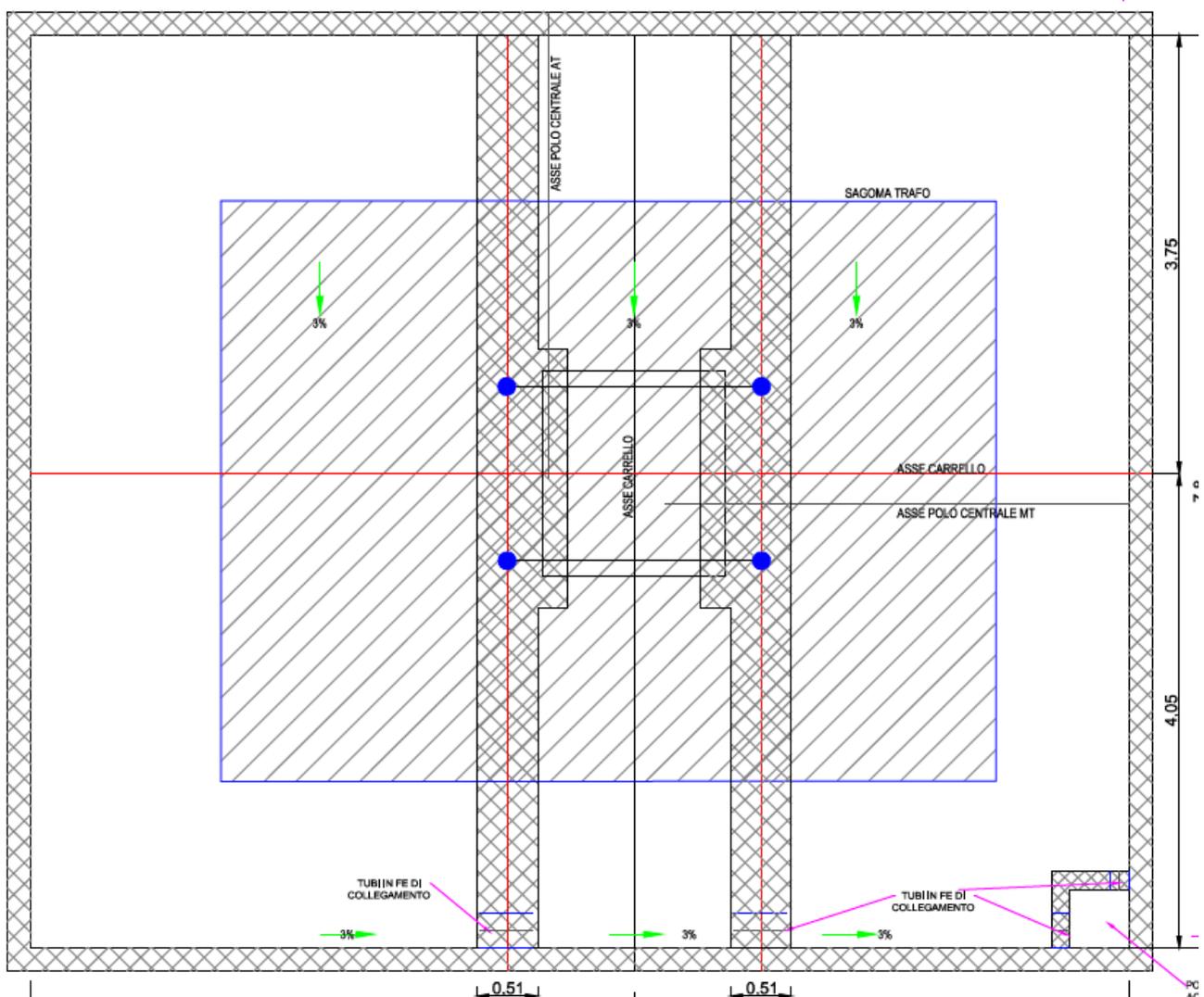


Figura 5-1 Pianta vasca di fondazione

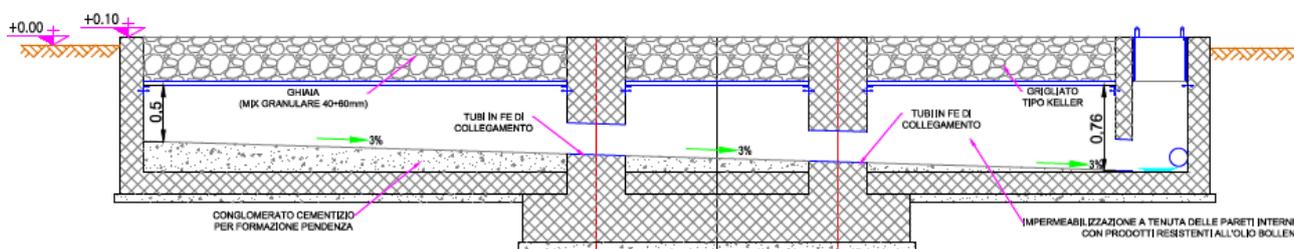


Figura 5-2 Sezione vasca di fondazione

5.2 Modellazione della struttura – criteri generali

La struttura viene modellata per mezzo di elementi shell 2D, del tipo guscio, ossia reagenti sia nel piano che fuori piano.

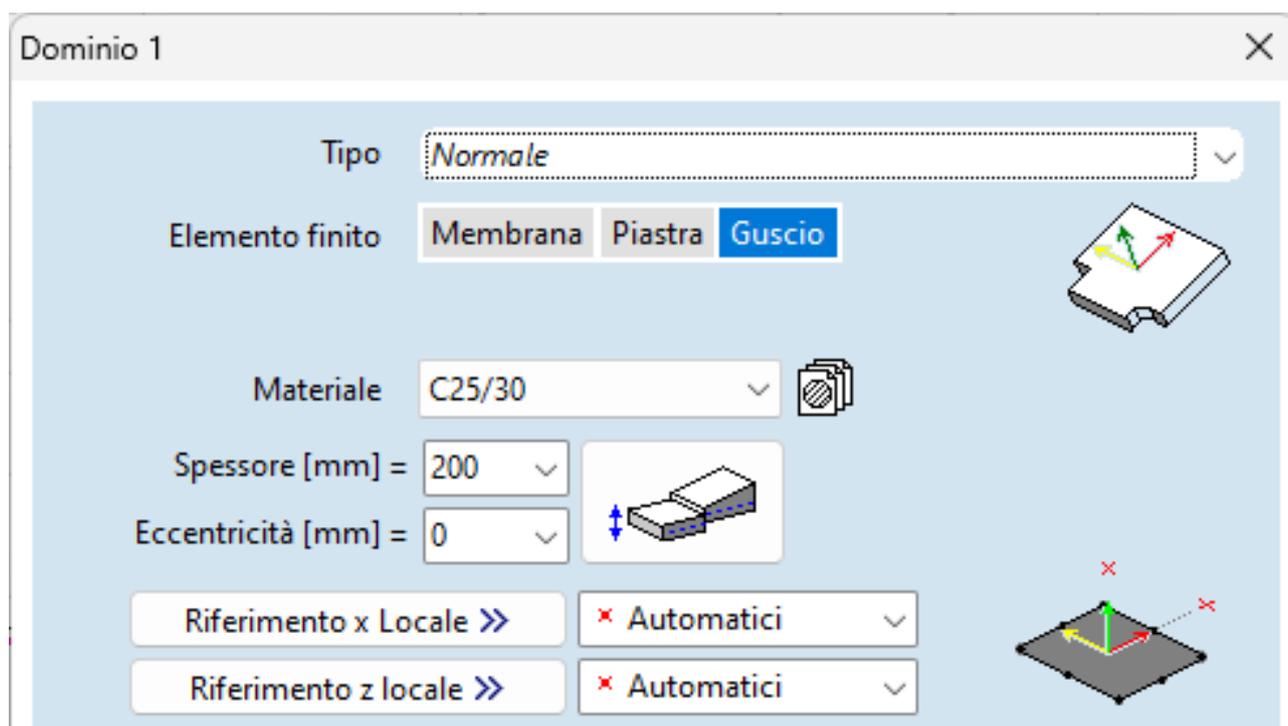


Figura 5-3 Input del modello di simulazione

Gli elementi guscio possono essere usati per modellare strutture con comportamento dipendente sia dagli effetti nel piano (membranal) che dagli effetti flessionali (di piastra). L'elemento guscio è una sovrapposizione dell'elemento membrana e dell'elemento piastra.

Le sollecitazioni interne nell'elemento guscio sono:

- forze n_x , n_y , e n_{xy} (componenti membranal);
- momenti m_x , m_y , e m_{xy} , e tagli q_x , q_y (componenti di piastra).

Gli elementi shell hanno spessori variabili in funzione delle proprietà strutturali attribuiti in fase di progetto, e più precisamente:

- i setti perimetrali hanno spessore pari a 20 cm;
- i due setti centrali hanno spessore pari a 50 cm;
- la piastra di base ha spessore pari a 40 cm.

La piastra di base è vincolata per mezzo di un letto di molle alla Winkler, di rigidezza pari a:

- $k_x = k_y = 1.500 \text{ kN/ml}$ (rigidezza non elevata nella direzione orizzontale), a simulare l'ammorsamento laterale;
- $k_z = 8.500 \text{ kN/ml}$ (rigidezza elevata nella direzione z), a simulare uno strato di terreno ben compattato sul quale viene impostata la fondazione.

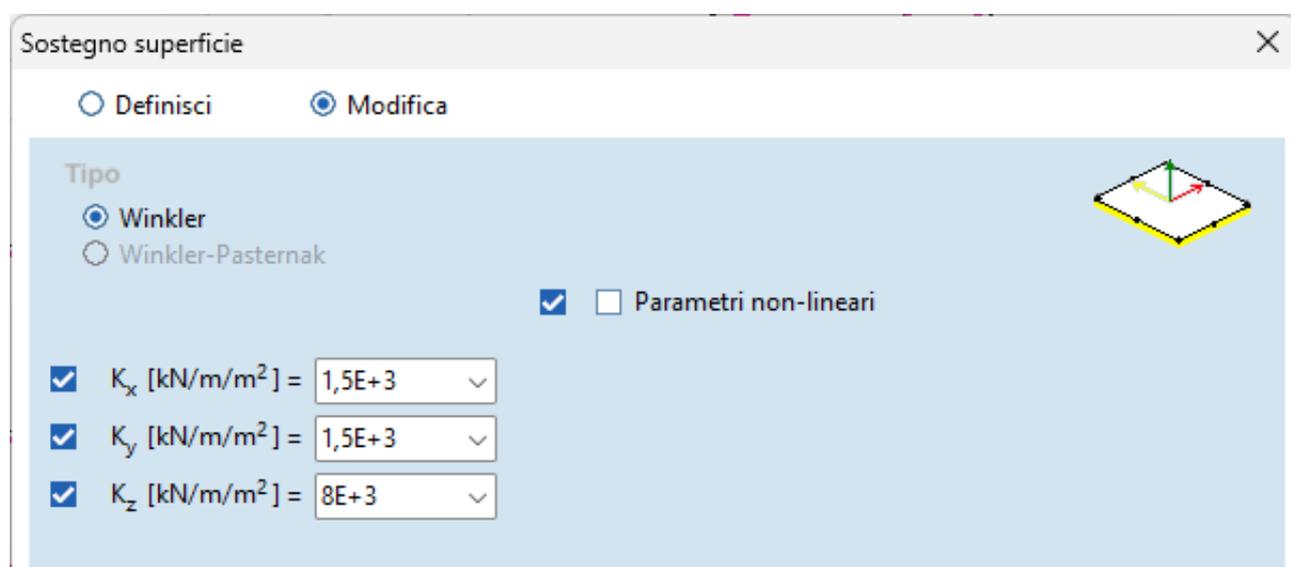


Figura 5-4 Input del modello di simulazione

5.3 Carichi di progetto

I carichi provenienti dal trasformatore sono applicati come carichi nodali in corrispondenza dei punti di appoggio del trasformatore stesso. Si assume come peso complessivo del TRAFO quello fornito da scheda tecnica.

Il peso complessivo stimato dal produttore (102 tonn) viene amplificato fino a 120 tonn e suddiviso nei 4 appoggi per un valore di 30 tonn cadauno.

Oltre ai carichi derivanti dal trafo vengono attribuiti in automatico dal software i pesi propri strutturali della fondazione in c.a.

APPROXIMATE WEIGHTS AND DIMENSIONS		
Core an coils assembly	kg	53000
Oil	kg	23500
Total transformer in service with oil	kg	102000
Transport weight (main body without oil)	kg	67000
Overall dimensions (L x W x H)	mm	6500 x 5000 x 7000
Transport dimensions (main body)	mm	6500 x 2500 x 3800

Figura 5-5 Scheda tecnica trasformatore: pesi e dimensioni

5.4 Valutazione dell'azione sismica

Non vengono presi in considerazione carichi sismici in quanto questo tipo di struttura risulta solidale al suolo e non risente delle accelerazioni inerziali alla base.

5.5 Tipo di analisi strutturale

L'analisi è del tipo statico lineare ad elementi finiti. La struttura, modellata con le ipotesi sopra descritte, viene risolta, in termini di sollecitazioni e spostamenti, per mezzo del solutore FEM:

- AXIS VM release 6
- Licenza n. 7754
- rilasciata a SCM Ingegneria srl
- rilasciata da STA DATA srl di Torino

5.6 Generazione del modello

Di seguito alcune viste del modello generato

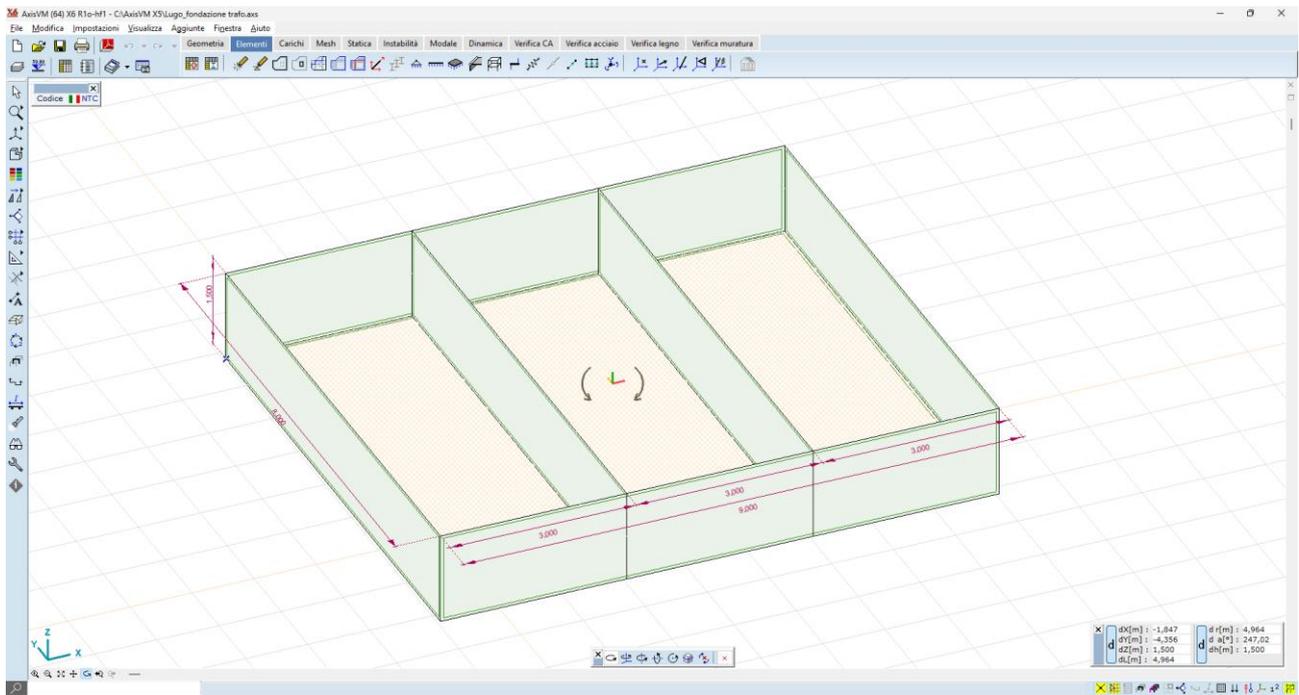


Figura 5-6 Vista elementi 2D guscio

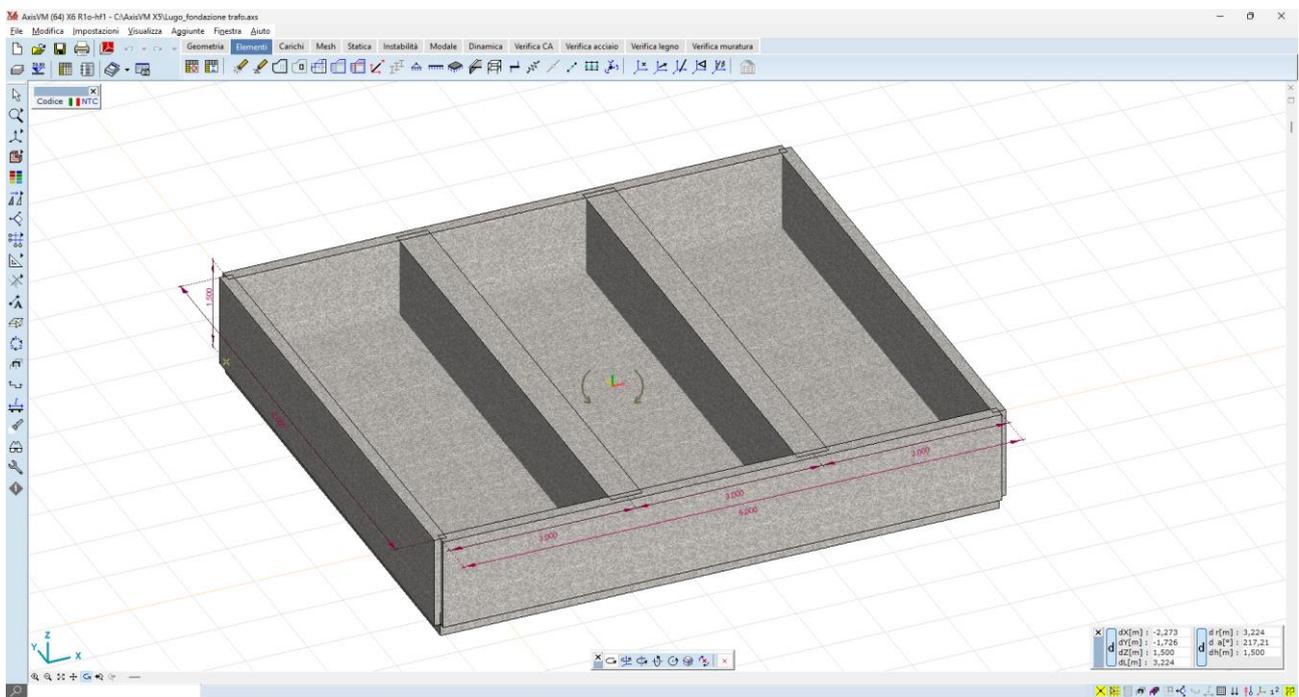


Figura 5-7 Vista rendere 3D

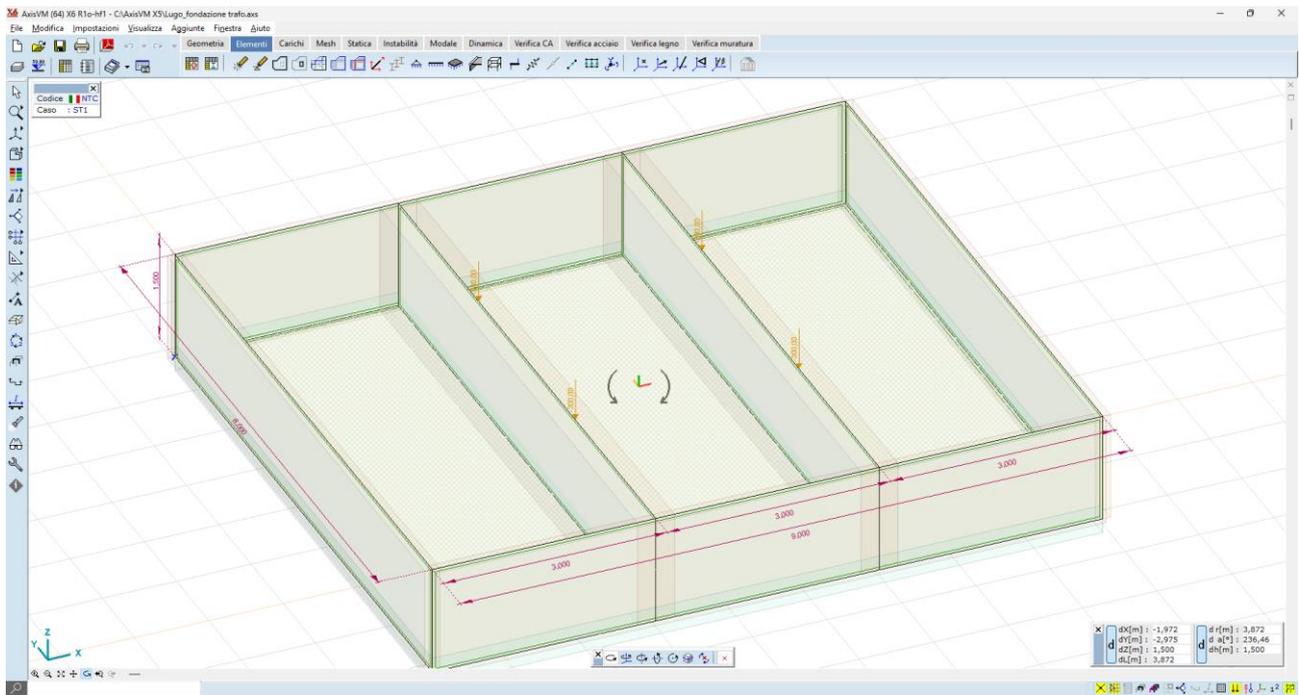


Figura 5-8 Applicazione carichi nodali

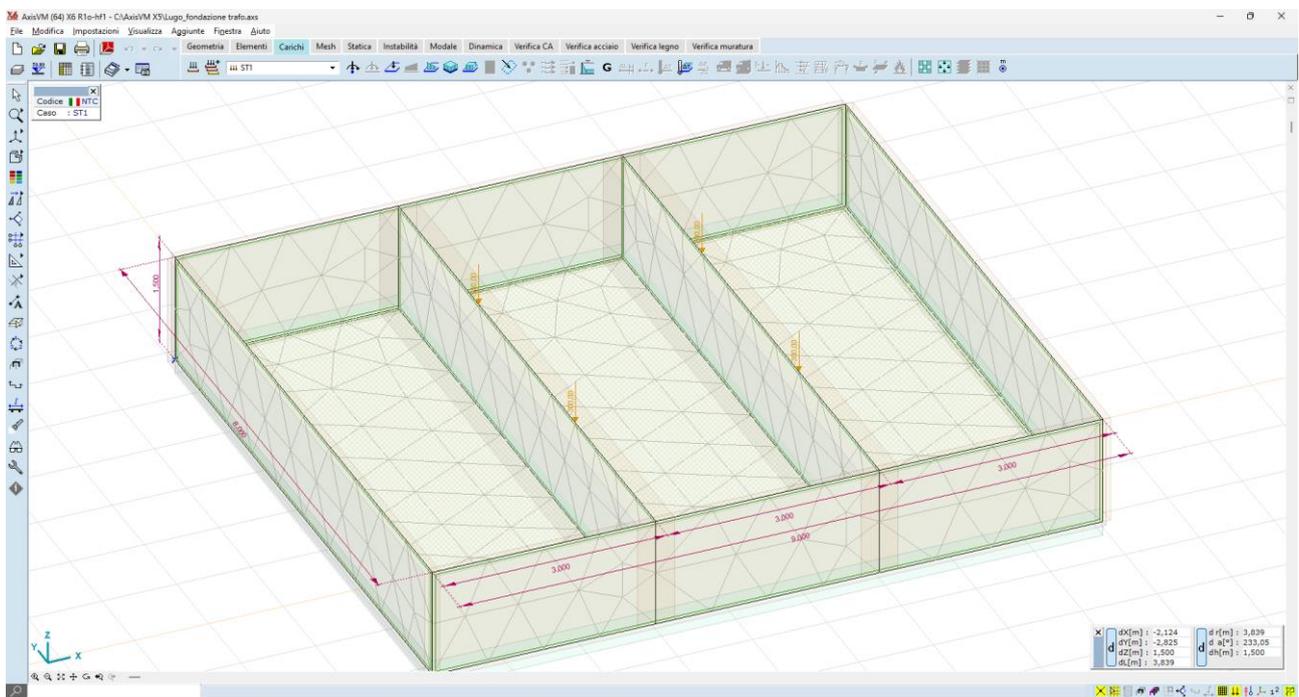


Figura 5-9 Meshatura

5.7 Risultati delle analisi

5.7.1 Sollecitazioni e deformazioni

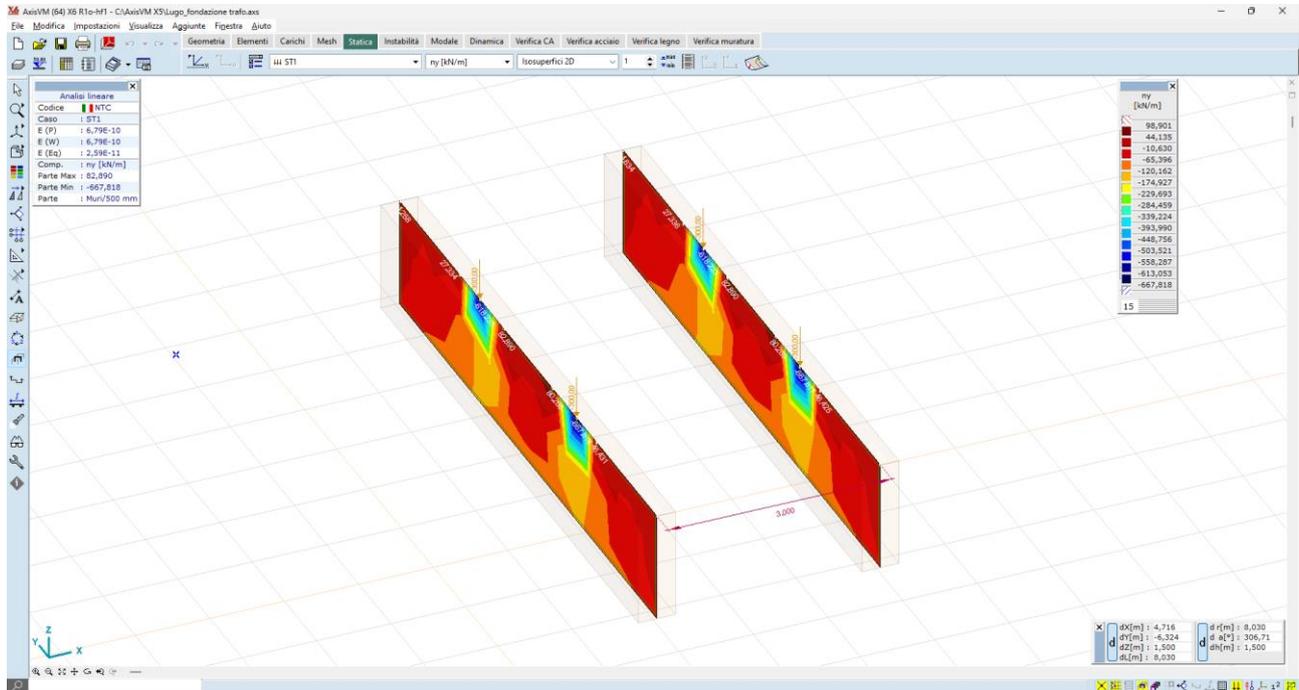


Figura 5-10 Sollecitazioni normali n_y su setti – valori max dell'ordine dei 600 kN/m

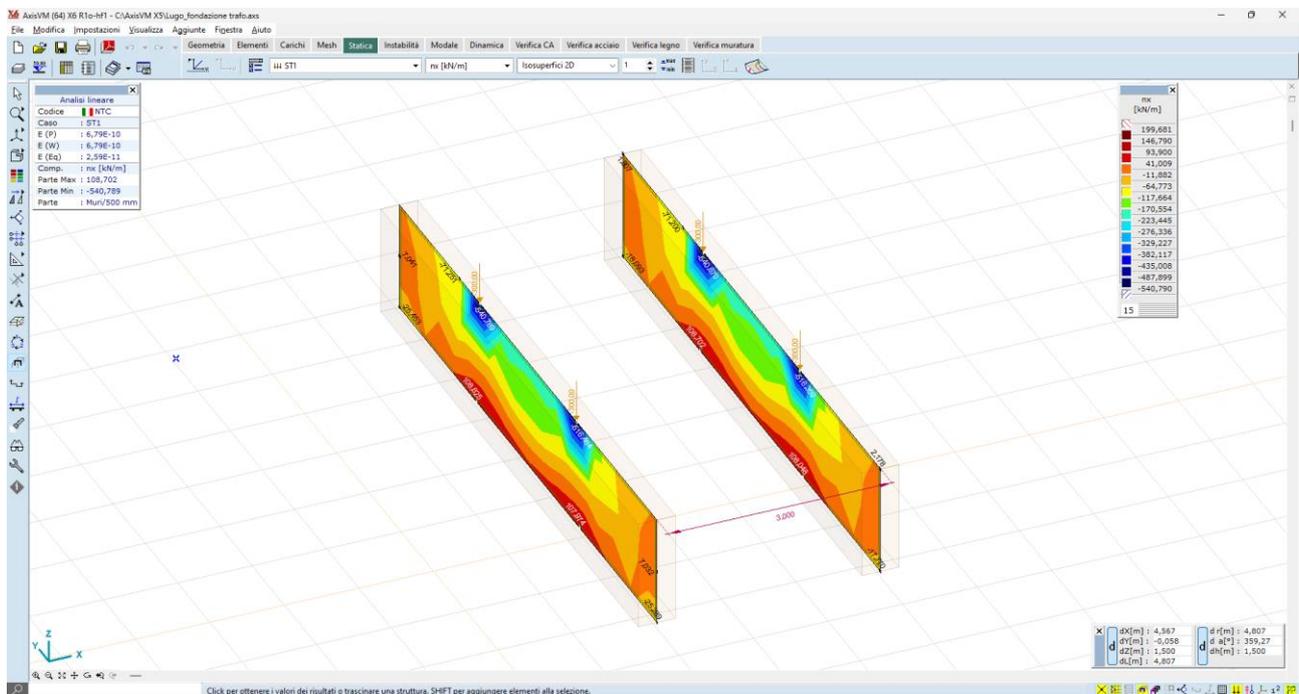


Figura 5-11 Sollecitazioni normali n_x su setti – valori max dell'ordine dei 540kN/m

I valori si ritengono ammissibili in quanto è stato trascurato a vantaggio di sicurezza l'effetto diffusore indotto dalla presenza dei binari in acciaio. Ad ogni modo è possibile calcolare una tensione di compressione pari a:

$$30.000 \text{ daN} / 30 \times 30 \text{ cmq} = 33,33 \text{ daN/cmq}$$

che è un valore ampiamente al di sotto dei valori limite di portanza del cls.

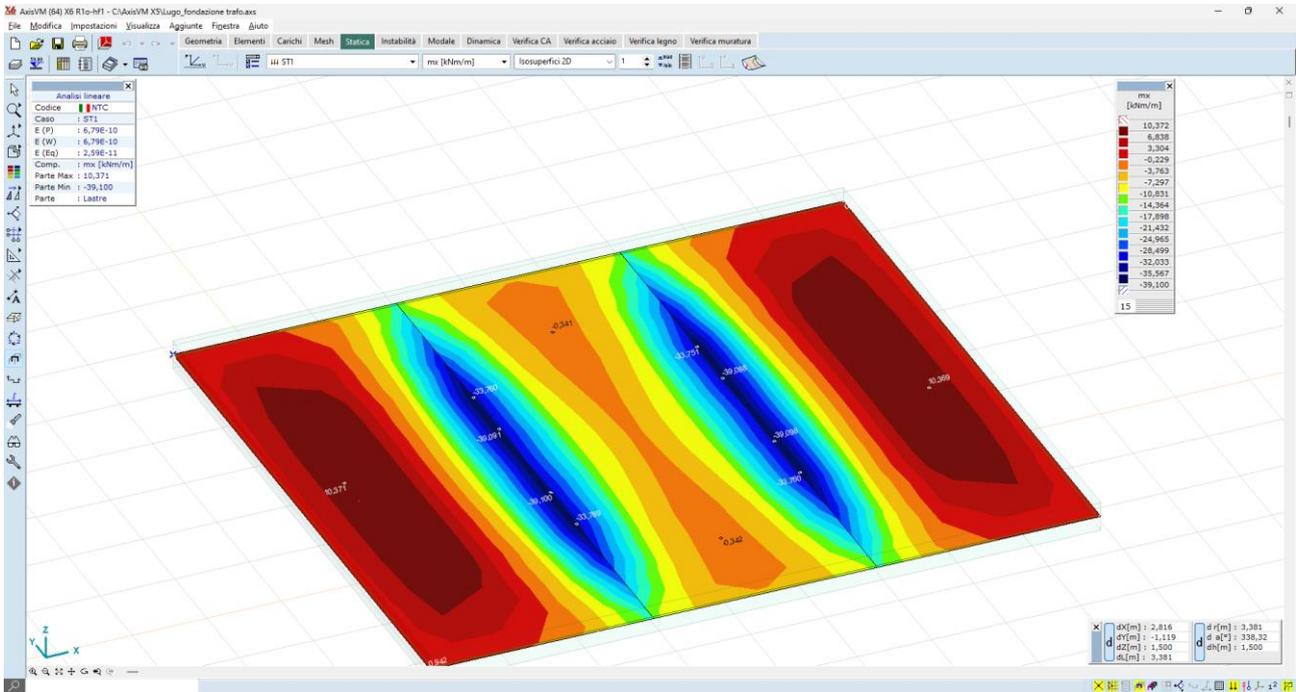


Figura 5-12 Sollecitazioni flessionali mx su piastra – valori max dell'ordine dei 39 kN*m/m

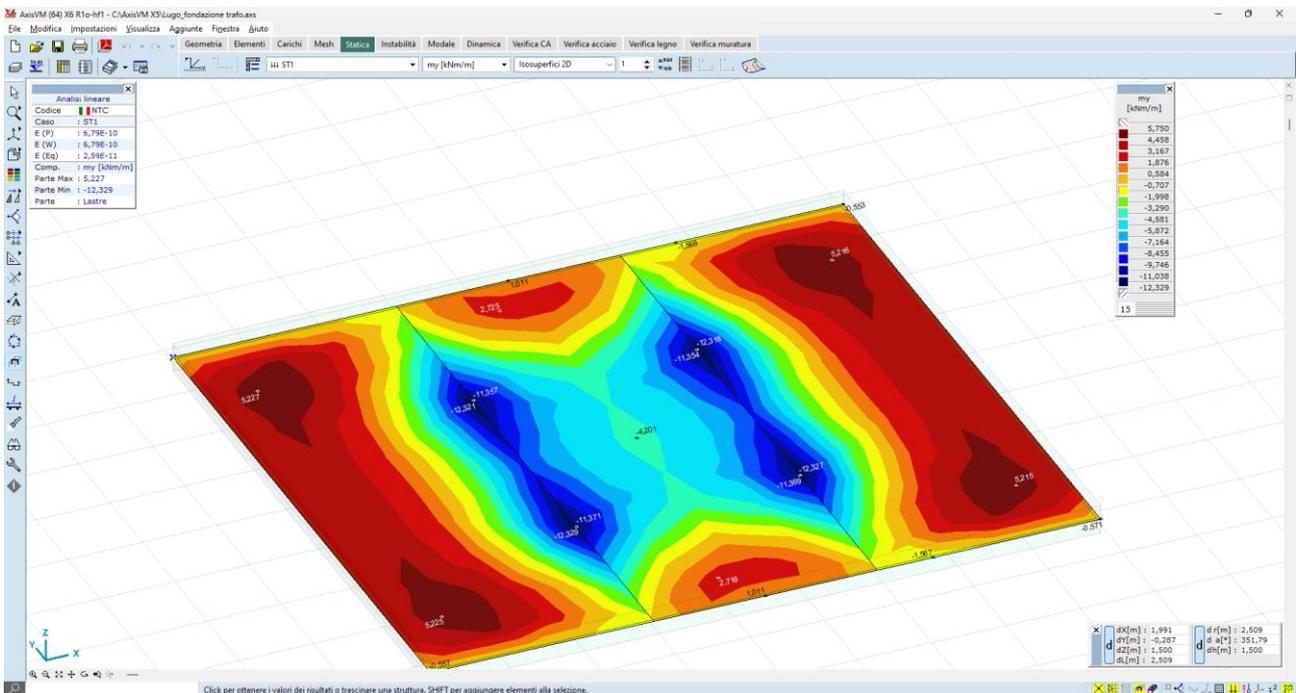


Figura 5-13 Figura 14_ sollecitazioni flessionali my su piastra – valori max dell'ordine dei 14 kN*m/m

I valori di sollecitazioni flessionali sulla piastra di base risultano modesti, e pertanto ammissibili con ampi margini di sicurezza.

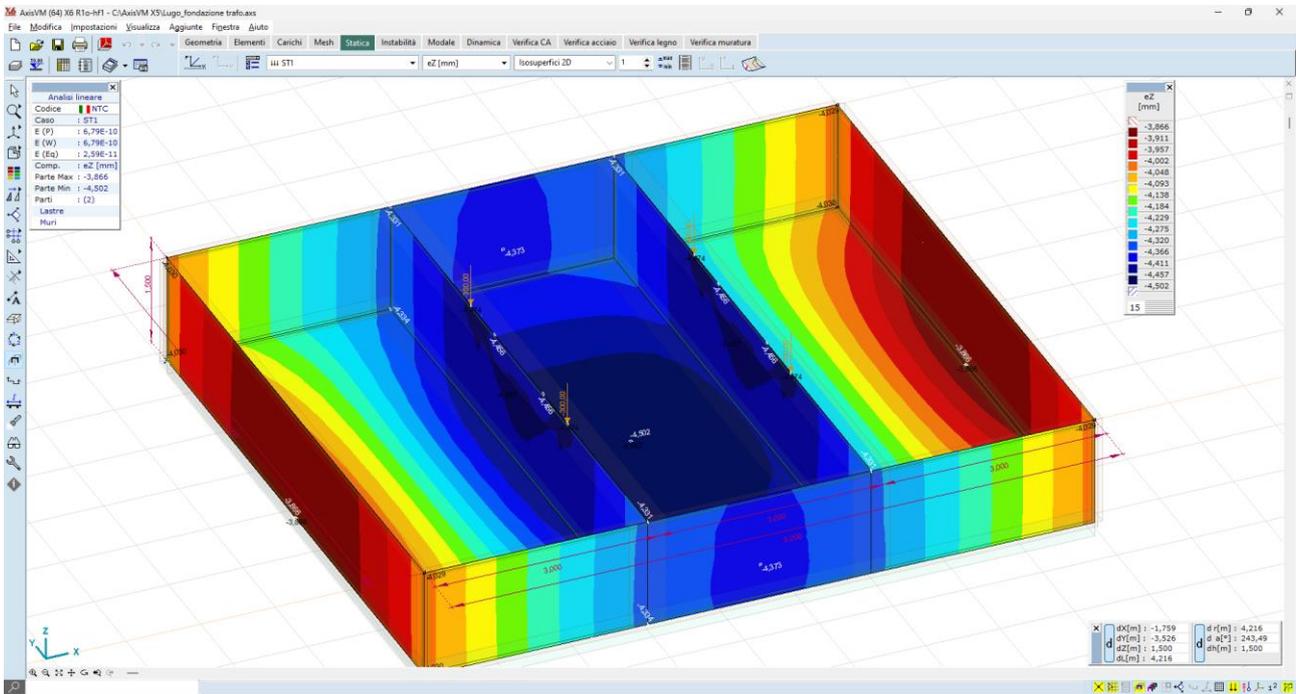


Figura 5-15 Deformazioni eZ – abbassamenti dell'ordine dei 4,5 mm

5.7.2 Pressioni al suolo

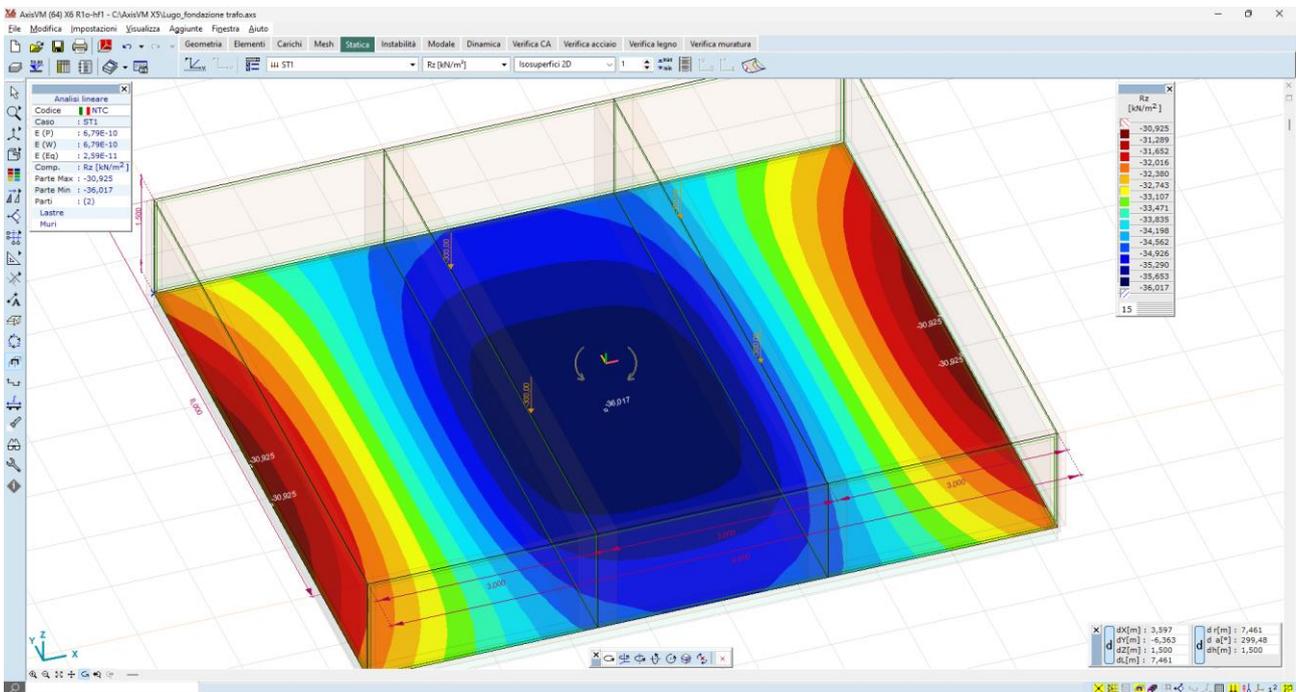


Figura 5-16 Diagramma delle reazioni al suolo Rz – valori massimi dell'ordine dei 36 kN/mq

6 APPARECCHIATURE AT

6.1 Descrizione generale delle opere

Le apparecchiature AT inserite nel progetto della Stazione Utente sono rappresentate da:

- Sezionatore orizzontale (SEZ)
- Interruttore tripolare (INT)
- Trasformatore di Tensione (TV)
- Trasformatore di corrente (TA)
- Scaricatore (SC)
- Sistema sbarre condiviso.

Il progetto delle strutture di sostegno delle apparecchiature potrà essere compiutamente definito solo a seguito della individuazione della tipologia specifica da porre in opera, in sede di progettazione esecutiva; in questa fase vengono riportate le caratteristiche principali di alcuni tipologici di ricorrente utilizzo.

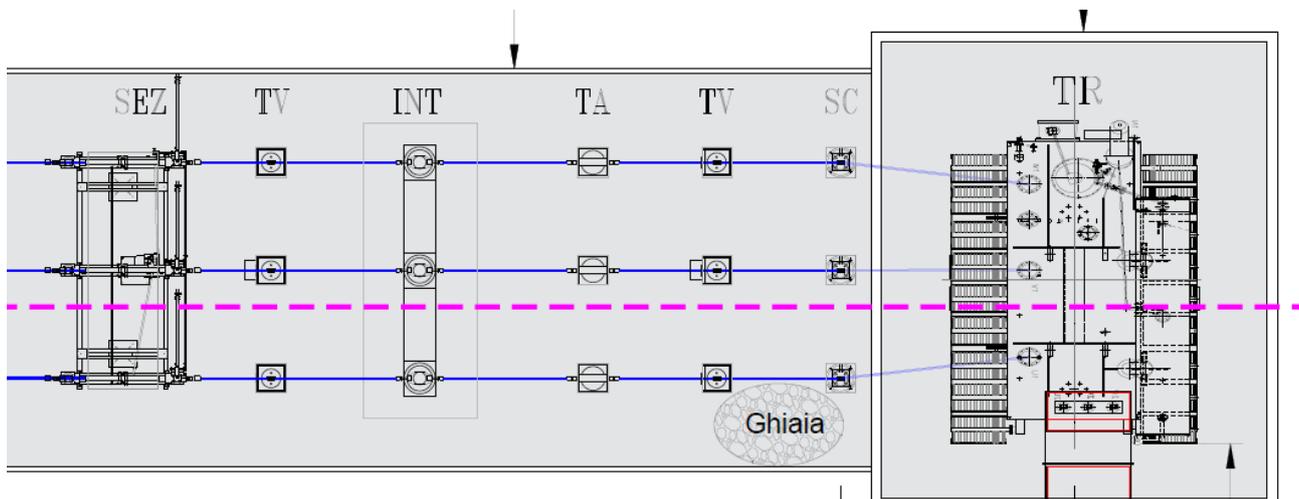


Figura 6-1 Layout elettromeccanico apparecchiature AT (trafo escluso)

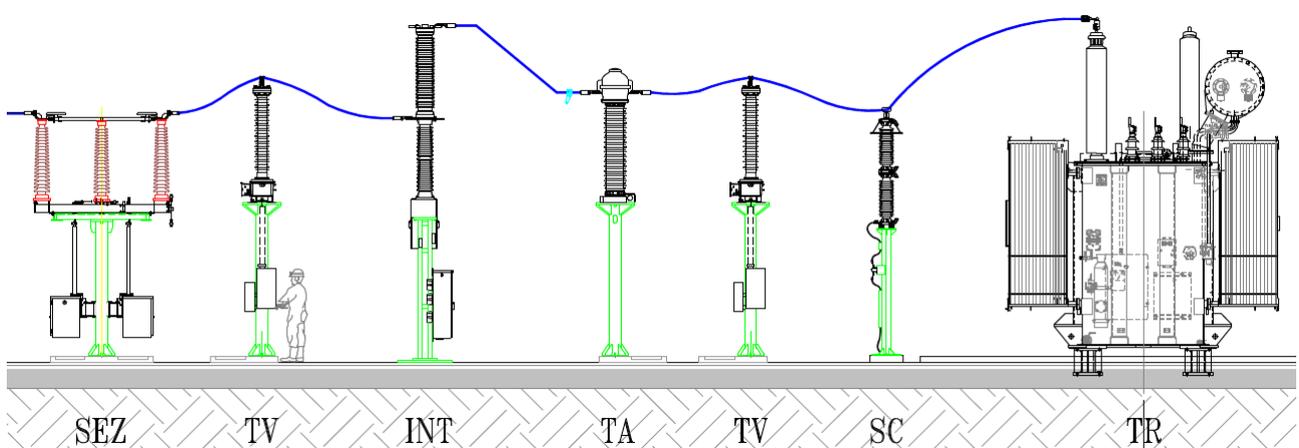


Figura 6-2 Sezione elettromeccanica apparecchiature AT (trafo escluso)

6.2 Normativa di riferimento

- [1] EUROCODICE 1 - Azioni sulle strutture
- [2] EUROCODICE 3 - Strutture di acciaio
- [3] CEI 11-1 – Impianti elettrici con tensione superiore a 1kV in corrente alternata
- [4] CEI 11-4 – Esecuzione delle linee elettriche esterne
- [5] D.M. 21 Marzo 1998 – Norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle linee elettriche aeree esterne
- [6] D.M. 17 Gennaio 2018 – Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni
- [7] Circolare Min. Infrastrutture e Trasporti 2 febbraio 2009, n.617 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al Decreto Ministeriale 14 Gennaio 2008

6.3 Azioni agenti sulle apparecchiature

Il carico di vento viene ricavato dalla Tabella 3.3.I del D.M. 17 gennaio 2018; L'Emilia Romagna ricade nella Zona di vento 2, come da tabella riportata di seguito, da cui si ricavano i valori di $v_{b,0}$, a_0 , k_s :

$v_{b,0} = 25$ m/s;

$a_0 = 750$ m;

$k_s = 0,45$

Tabella 6-1 Tabella 3.3.I del D.M. 17 gennaio 2018: Valori dei parametri $v_{b,0}$ – a_0 - k_s

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

6.4 Criteri di progetto delle fondazioni apparecchiature AT

Le fondazioni per le apparecchiature AT saranno realizzate nel rispetto del "Progetto Unificato" TERNA, e saranno della tipologia in c.a. gettato in opera.

La progettazione farà riferimento alle condizioni di massima sollecitazione (secondo le norme CEI 11-4 e NTC 2018) ed alla presenza di sforzi elettrodinamici in regime di corto circuito.

Vengono presi in considerazione i pesi delle apparecchiature, nonché gli incrementi dinamici degli stessi in regime di cortocircuito.

Si terrà conto dell'effettiva configurazione risultante dai disegni costruttivi e delle modalità di ancoraggio delle carpenterie di sostegno delle apparecchiature.

Le carpenterie metalliche a sostegno delle apparecchiature elettromeccaniche sono connesse alle strutture di fondazione in c.a. per mezzo di tirafondi in acciaio zincato, i quali consentono la regolazione in altezza delle piastre di base (queste ultime non a diretto contatto con il cls).

La stabilità delle fondazioni superficiali sarà verificata rispetto al collasso per slittamento ed a quello per rottura generale.

6.4.1 Fondazione per sezionatore orizzontale

La fondazione per il sezionatore tripolare di linea con lame di terra ha una superficie in pianta pari a 4.90 x 1.50 m. Per favorire il collegamento con le strutture di supporto in acciaio sono stati definiti tre elementi di cemento armato di dimensioni pari a 0.70 x 0.5 m, dove due vengono disposti lungo la linea d'asse della fondazione ad interasse pari a 1.70 m dal centro in entrambi i lati, mentre il terzo è posizionato al centro, ma con una eccentricità rispetto ai centri di 0.45 m.

I carichi utilizzati per il calcolo della fondazione agenti sui due elementi laterali sono stati determinati sulla base dell'esperienza di casi simili già realizzati; in fase esecutiva le analisi dovranno tener conto delle attrezzature che effettivamente saranno installate, variabili a seconda del fornitore delle stesse.

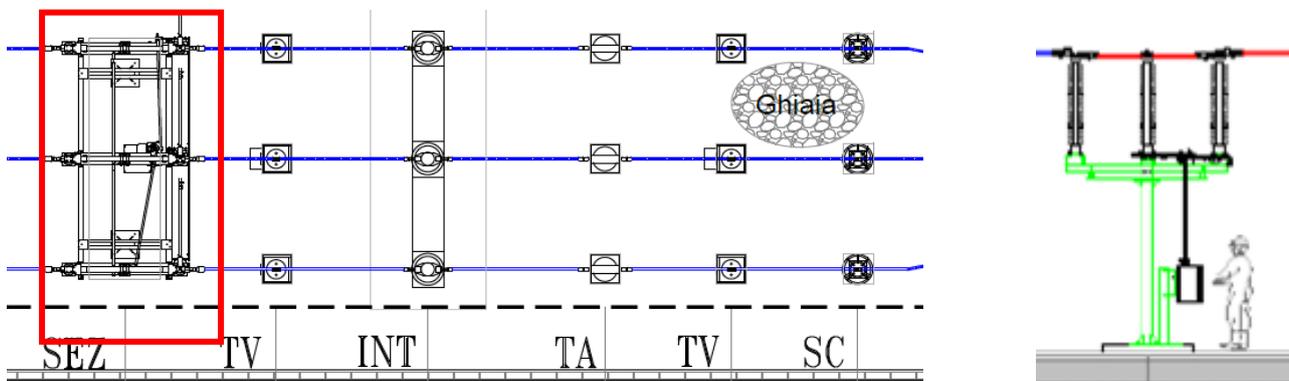


Figura 6-3 Tipico sezionatore tripolare – vista prospettica e planimetrica

Il supporto è costituito da due gambe in tubolare completo di piastra alla base ed in testa ove, per ogni gamba, sono fissate due travi in UPN 100x50 alle quali, alle due estremità, è fissata una struttura a trave in profilato HEB 100 per il fissaggio della apparecchiatura, con relative nervature come di seguito definito. Sulla testa del supporto, sui profilati HEB è installato il Sezionatore tripolare di Linea con Lama di Terra. Le caratteristiche tecniche principali dell'apparecchiatura sono riportate di seguito:

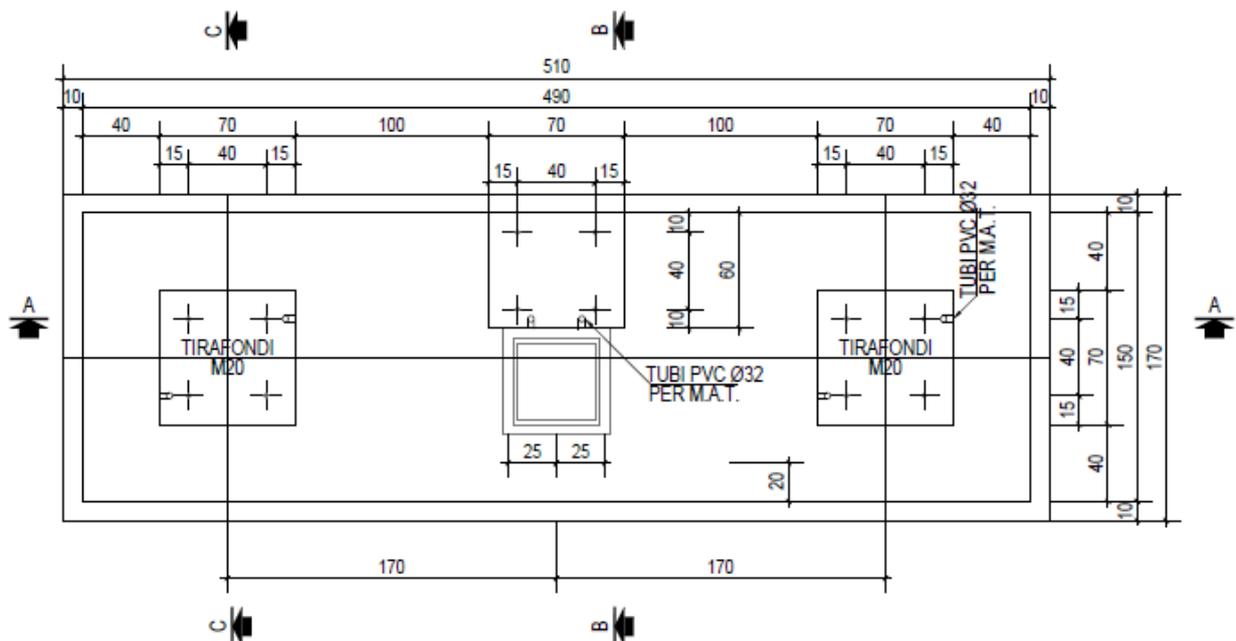
- Numero di gambe n° = 2
- Distanza tra le gambe d = 340 cm
- Altezza h = 250 cm
- Profilo:

tubolare metallico cavo:	S275J0H
diámetro esterno ND	= 219,1 mm
spessore pareti t	= 6,3 mm
area della sezione A	= 42,10 cm ²
modulo di resistenza elastico Wel	= 218 cm ³
modulo di resistenza plastico Wpl	= 285 cm ³
momento di inerzia I	= 2386 cm ⁴
momento di inerzia di torsione It	= 4722 cm ⁴
raggio d'inerzia i	= 7,53 cm

• Piastre e nervature:	S275JR
• Peso del supporto compreso UPN 100 e HEB 100 DW	= 650 daN
• Superficie esposta al vento X tubolare $Ws3=0,219 \times 2,36$	= 0,52 m ²
• Superficie esposta al vento X UPN $Ws3.1=0,10 \times 1,85$	= 0,185 m ²
• Superficie esposta al vento Y HEB $Ws3.2=0,10 \times 5$	= 0,5 m ²
• Conduttore di fase in corda di alluminio crudo ($n^\circ \times \varphi$)	= 1 x 36 mm
• Lunghezza lineare del conduttore di fase in testa all'apparecchio	= 2,5 m
• Altezza conduttore dalla testa dell'apparecchiatura	= 0,10 m

Il dimensionamento delle fondazioni nasce dal peso dell'apparecchiatura che vi andrà ad essere installata.

Peso totale delle apparecchiature (per tre linee): 1200 daN



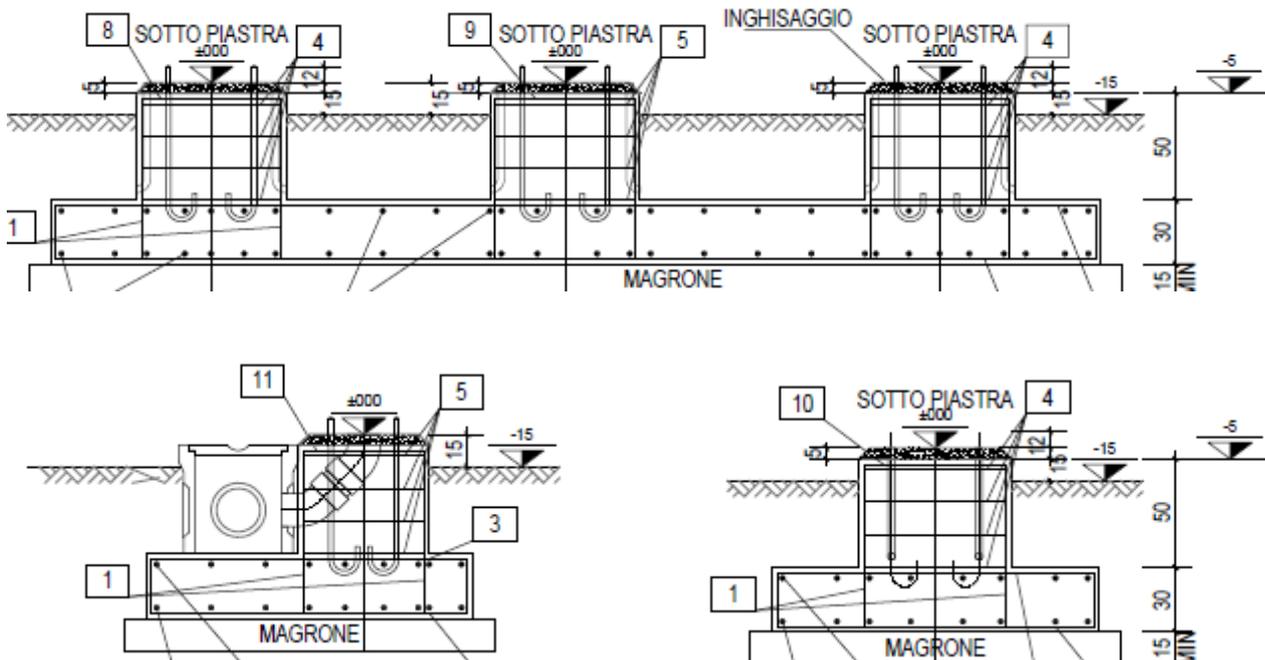


Figura 6-4 Tipici dimensionali proposti per fondazione sezionatore tripolare

I tipici dimensionali proposti risultano verificati in termini di tensioni di lavoro nei materiali strutturali.

6.4.2 Fondazione per interruttore tripolare

La fondazione per l'interruttore tripolare ha una superficie in pianta pari a 6.20 x 1.60 m.

È costituita da una piastra di fondazione sulla quale sono impostati i tre elementi di cemento armato di dimensioni pari a 0.8 x 0.8 m, disposti lungo la linea d'asse della fondazione ad interasse pari a 2.20 m dal centro in entrambi i lati.

I carichi utilizzati per il calcolo della fondazione agenti sui due elementi laterali sono stati determinati sulla base dell'esperienza di casi simili già realizzati; in fase esecutiva le analisi dovranno tener conto delle attrezzature che effettivamente saranno installate, variabili a seconda del fornitore delle stesse.

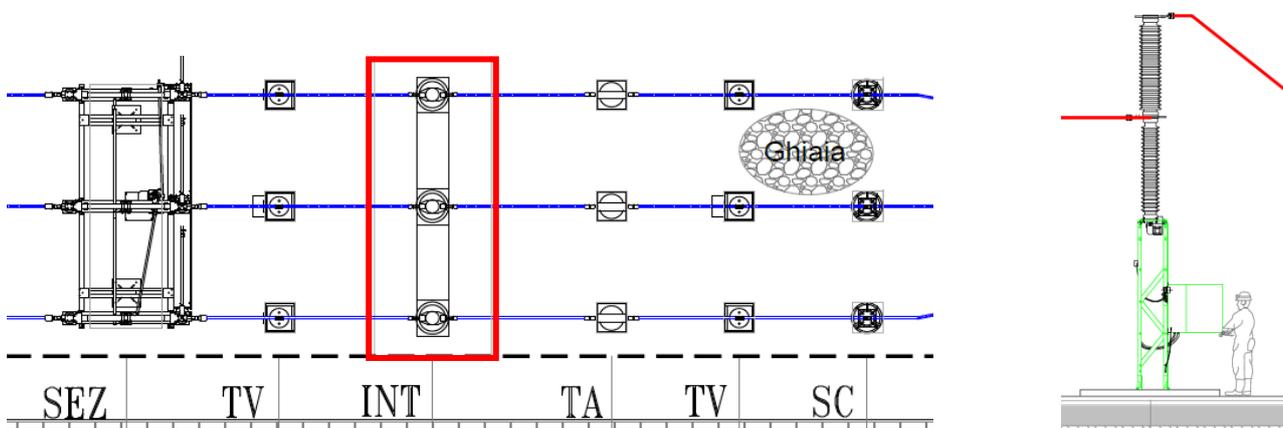


Figura 6-5 Tipico interruttore tripolare – vista prospettica e planimetrica

6.4.3 Fondazioni unipolari per Trasformatore di Tensione TV

La fondazione per il TV ha una superficie in pianta pari a 1.60 x 1.60 m.

È costituita da una piastra di fondazione sulla quale è impostato l'elemento in cemento armato di dimensioni pari a 0.7 x 0.7 m, disposti lungo la linea d'asse della fondazione.

I carichi utilizzati per il calcolo della fondazione sono stati determinati sulla base dell'esperienza di casi simili già realizzati; in fase esecutiva le analisi dovranno tener conto delle attrezzature che effettivamente saranno installate, variabili a seconda del fornitore delle stesse.

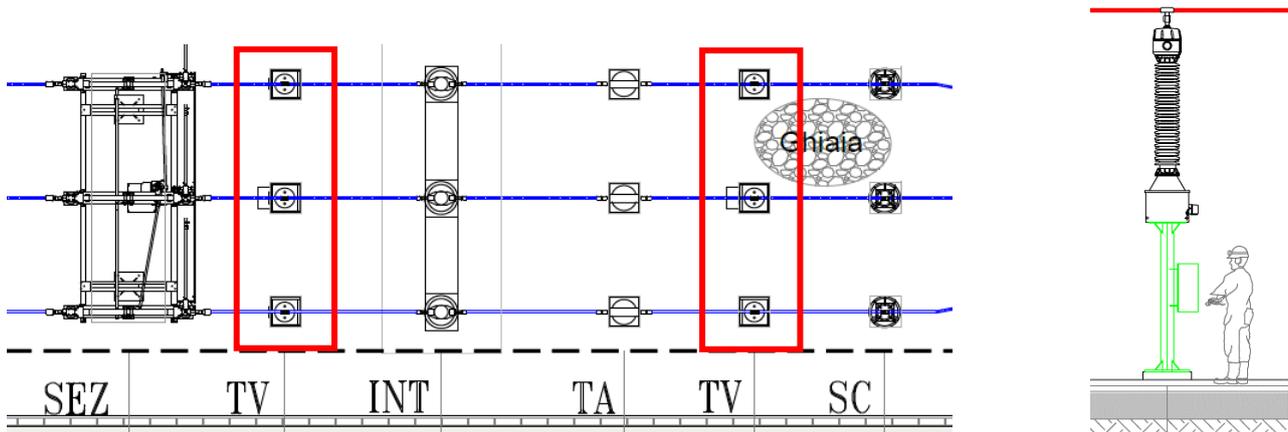


Figura 6-7 Tipico Trasformatore di tensione – vista prospettica e planimetrica

Il supporto è costituito da un tubolare completo di piastra alla base ed in testa per il fissaggio della apparecchiatura, con relative nervature come di seguito definito. Sulla testa del supporto è installato il Trasformatore di Tensione Induttivo. Le caratteristiche tecniche principali dell'apparecchiatura sono riportate di seguito:

- Numero di gambe n° = 1
- Distanza tra le gambe d = NA cm
- Altezza h = 258,5 cm
- Profilo:
 - tubolare metallico cavo: S275J0H
 - diametro esterno ND = 168,3 mm
 - spessore pareti t = 6,3 mm
 - area della sezione A = 32,10 cm²
 - modulo di resistenza elastico Wel = 125 cm³
 - modulo di resistenza plastico Wpl = 165 cm³
 - momento di inerzia I = 1053 cm⁴
 - momento di inerzia di torsione It = 2107 cm⁴
 - raggio d'inerzia i = 5,73 cm
- Piastre e nervature: S275JR
- Peso del supporto DW = 180 daN
- Superficie esposta al vento Ws2=0,1683 x 2,585 = 0,44 m²

- Conduttore di fase in corda di alluminio crudo ($n^\circ \times \varphi$) = 1 x 36 mm
- Lunghezza lineare del conduttore di fase in testa all'apparecchio = 2,5 m
- Altezza conduttore dalla testa dell'apparecchiatura = 0,10 m

Il dimensionamento delle fondazioni nasce dal peso dell'apparecchiatura che vi andrà ad essere installata.

Peso dell'apparecchiatura (totale per le tre linee) 132 kV: 630 daN

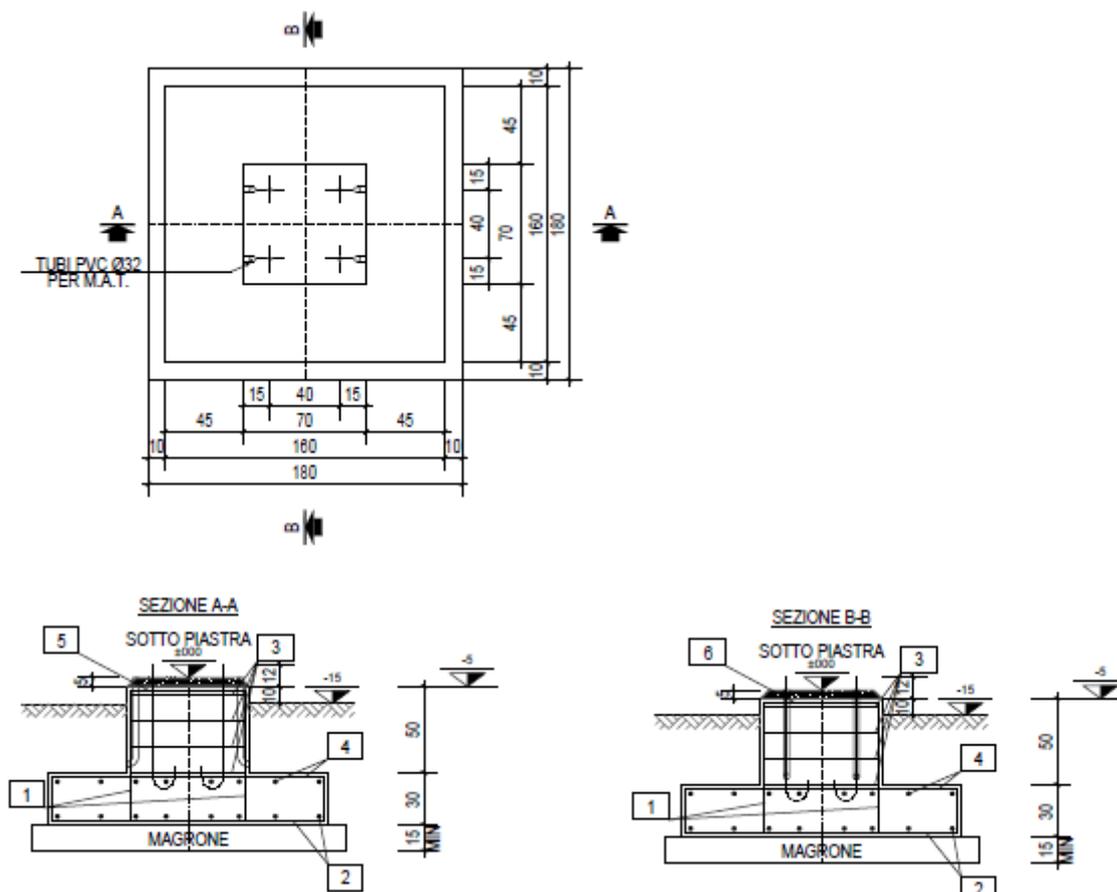


Figura 6-8 Tipici dimensionali proposti per fondazioni trasformatore di tensione TV

6.4.4 Fondazioni unipolari per Trasformatore di Corrente TA

La fondazione per il TA ha una superficie in pianta pari a 1.50 x 3.00 m.

È costituita da una piastra di fondazione sulla quale sono impostati gli elementi in cemento armato di dimensioni pari a 0.7 x 0.7 m, disposti lungo la linea d'asse della fondazione.

I carichi utilizzati per il calcolo della fondazione sono stati determinati sulla base dell'esperienza di casi simili già realizzati; in fase esecutiva le analisi dovranno tener conto delle attrezzature che effettivamente saranno installate, variabili a seconda del fornitore delle stesse.

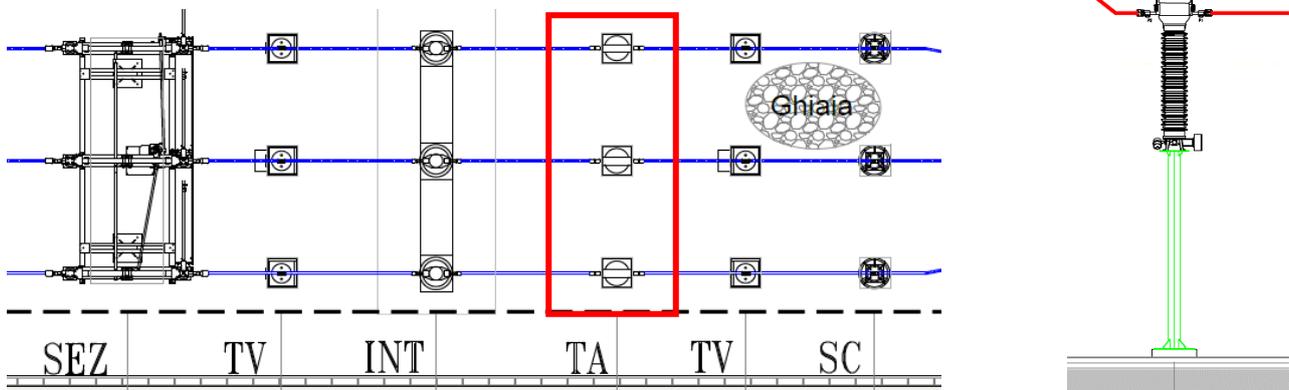


Figura 6-9 Tipico trasformatore di corrente – vista prospettica e planimetrica

Il supporto del trasformatore di corrente è costituito da un tubolare completo di piastra alla base ed in testa per il fissaggio della apparecchiatura, con relative nervature come di seguito definito. Sulla testa del supporto è installato il Trasformatore di Corrente. Le caratteristiche tecniche principali dell'apparecchiatura sono riportate di seguito:

- Numero di gambe n° = 1
- Distanza tra le gambe d = NA cm
- Altezza h = 260 cm
- Profilo:
 - tubolare metallico cavo: S275J0H
 - diametro esterno ND = 168,3 mm
 - spessore pareti t = 6,3 mm
 - area della sezione A = 32,10 cm²
 - modulo di resistenza elastico Wel = 125 cm³
 - modulo di resistenza plastico Wpl = 165 cm³
 - momento di inerzia I = 1053 cm⁴
 - momento di inerzia di torsione It = 2107 cm⁴
 - raggio d'inerzia i = 5,73 cm
- Piastre e nervature: S275JR
- Peso del supporto DW = 180 daN
- Superficie esposta al vento Ws2=0,1683 x 2,585 = 0,44 m²
- Conduttore di fase in corda di alluminio crudo (n° x φ) = 1 x 36 mm
- Lunghezza lineare del conduttore di fase in testa all'apparecchio = 2,5 m
- Altezza conduttore dalla testa dell'apparecchiatura = 0,10 m

Il dimensionamento delle fondazioni nasce dal peso dell'apparecchiatura che vi andrà ad essere installata.

Peso dell'apparecchiatura (totale per le tre linee) 132 kV 300 daN

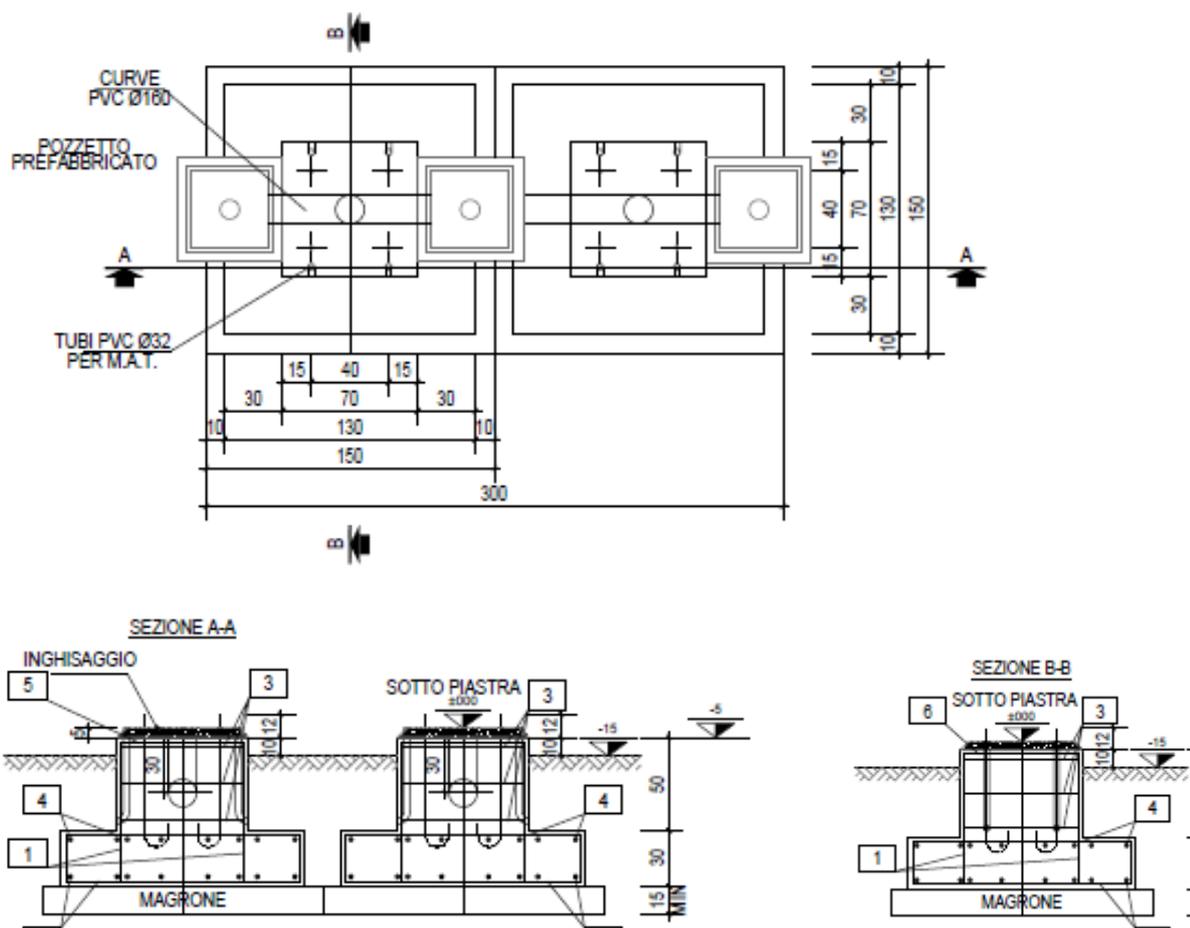


Figura 6-10 Tipici dimensionali sottoposti per fondazioni trasformatore di corrente TA

6.4.5 Fondazioni unipolari per Scaricatori

La fondazione per lo scaricatore di sovratensione ha una superficie in pianta pari a 1.60 x 1.60 m.

È costituita da una piastra di fondazione sulla quale è impostato l'elemento in cemento armato di dimensioni pari a 0.7 x 0.7 m, disposti lungo la linea d'asse della fondazione.

I carichi utilizzati per il calcolo della fondazione sono stati determinati sulla base dell'esperienza di casi simili già realizzati; in fase esecutiva le analisi dovranno tener conto delle attrezzature che effettivamente saranno installate, variabili a seconda del fornitore delle stesse.

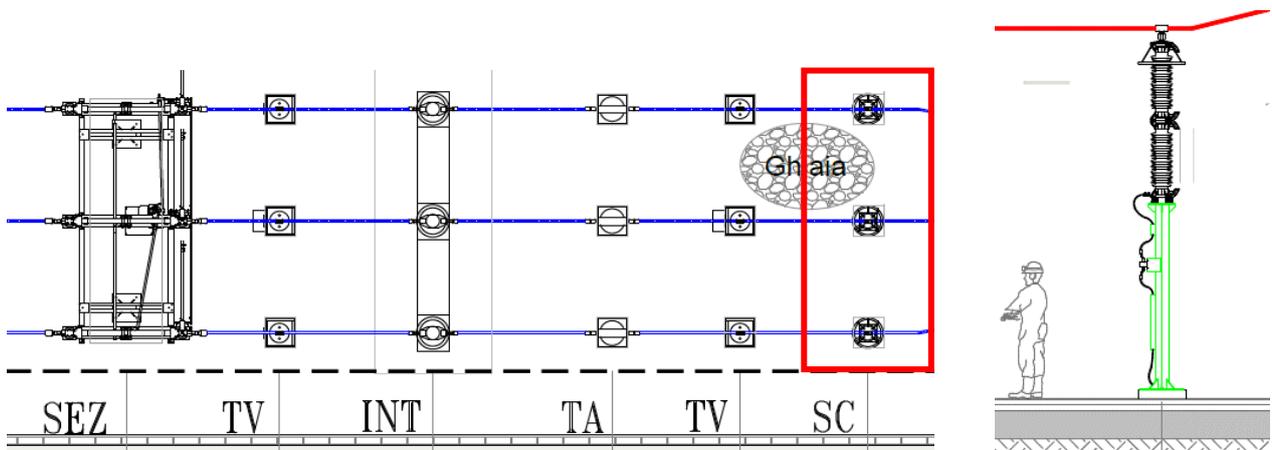


Figura 6-11 Tipico scaricatore di sovratensione – vista prospettica e planimetrica

Il supporto dello Scaricatore di Sovratensione è costituito da un tubolare completo di piastra alla base ed in testa ove è fissata una struttura a trave in profilati UPN 100 x 50 per il fissaggio delle apparecchiature, con relative nervature come di seguito definito. Sulla testa del supporto, ai due estremi della trave sono installati a 1 m dal centro linea del sostegno il Terminale Cavo e a 1,025 m lo Scaricatore di Sovratensione. Le caratteristiche tecniche principali dell'apparecchiatura sono riportate di seguito:

- Numero di gambe n° = 1
- Distanza tra le gambe d = NA cm
- Altezza h = 233 cm
- Profilo:
 - tubolare metallico cavo: S275J0H
 - diametro esterno ND = 168,3 mm
 - spessore pareti t = 6,3 mm
 - area della sezione A = 32.10 cm²
 - modulo di resistenza elastico Wel = 125 cm³
 - modulo di resistenza plastico Wpl = 165 cm³
 - momento di inerzia I = 1053 cm⁴
 - momento di inerzia di torsione It = 2107 cm⁴
 - raggio d'inerzia i = 5,73 cm
- Piastre e nervature: S275JR
- Peso del supporto compreso la trave UPN 100 DW = 340 daN
- Superf. esposta al vento X tubolare $W_{s1}=0,1683 \times 2,33$ = 0,39 m²
- Superf. esposta al vento X UPN $W_{s1.1}=0,10 \times 2,50$ = 0,25 m²
- Conduttore di fase in corda di alluminio crudo (n° x φ) = 1 x 36 mm

Il dimensionamento delle fondazioni nasce dal peso dell'apparecchiatura che vi andrà ad essere installata.

Peso totale delle apparecchiature (totale per le tre linee) 132 kV 150 daN

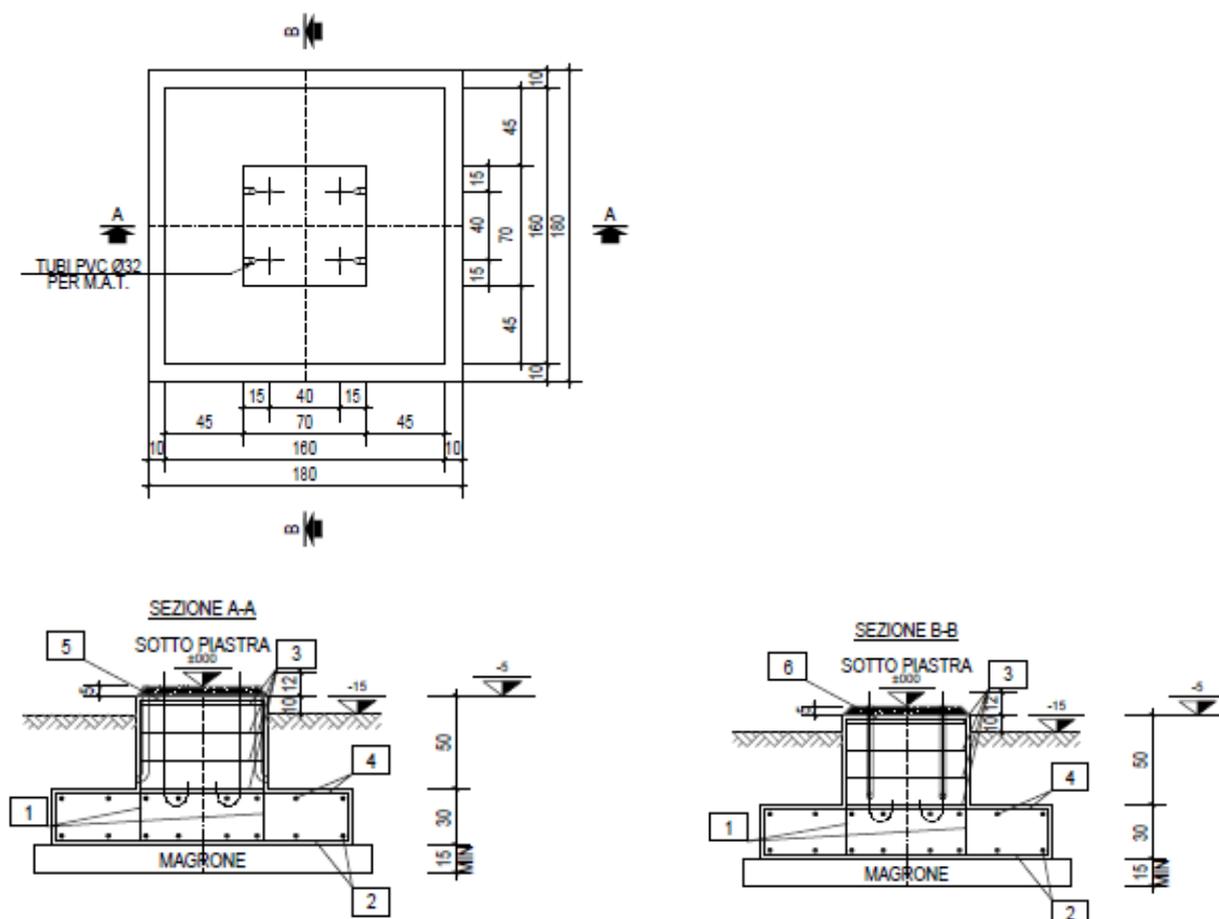


Figura 6-12 Tipici dimensionali proposti per fondazioni scaricatore

6.4.6 Fondazioni per sistema sbarre

Il sistema sbarre è sorretto da una serie di sostegni metallici, posti ad interasse di 10-11mt, ognuno dei quali fondato su un plinto in c.a. di dimensioni pari a 0.7 x 0.7 m

I carichi utilizzati per il calcolo della fondazione sono stati determinati sulla base dell'esperienza di casi simili già realizzati; in fase esecutiva le analisi dovranno tener conto delle attrezzature che effettivamente saranno installate, variabili a seconda del fornitore delle stesse.

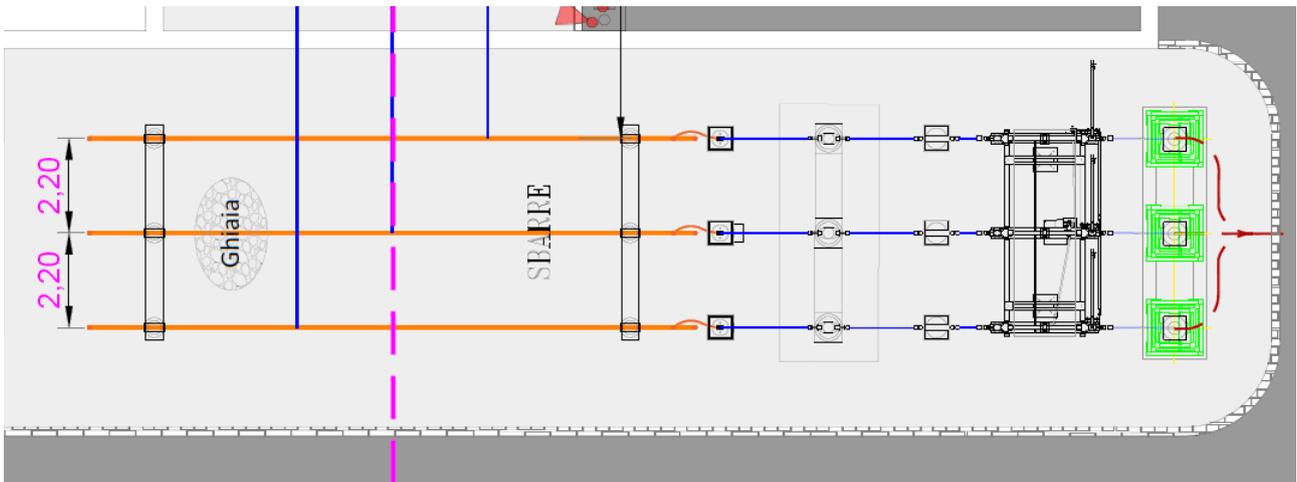


Figura 6-13 Vista planimetrica Sistema sbarre

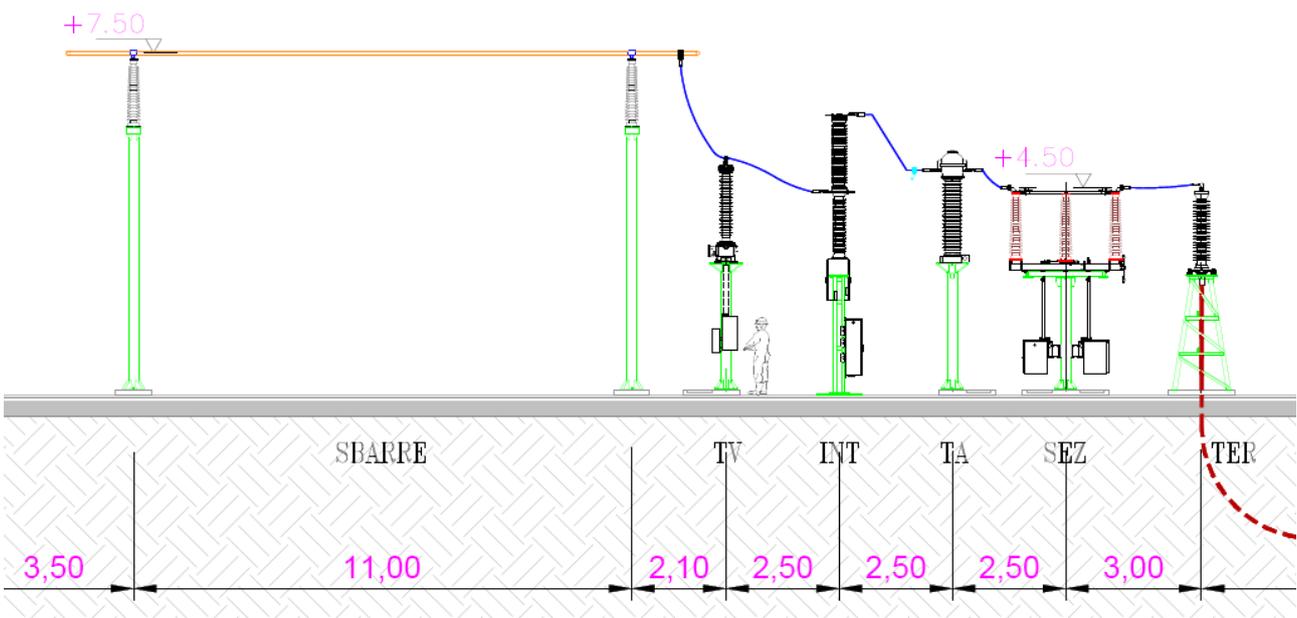


Figura 6-14 Vista prospettica Sistema sbarre

Peso dell'apparecchiatura (una apparecchiatura per ogni sostegno) 132 kV 60 daN

Peso conduttori 132 kV

- conduttore in corda in alluminio o 36 mm 2,12 daN/m
- conduttore in tubo in alluminio o 100/86 mm 5,52 daN/m

Il tipico unificato Terna di seguito ipotizzato soddisfa i requisiti in termini di tensioni di lavoro dei materiali strutturali.

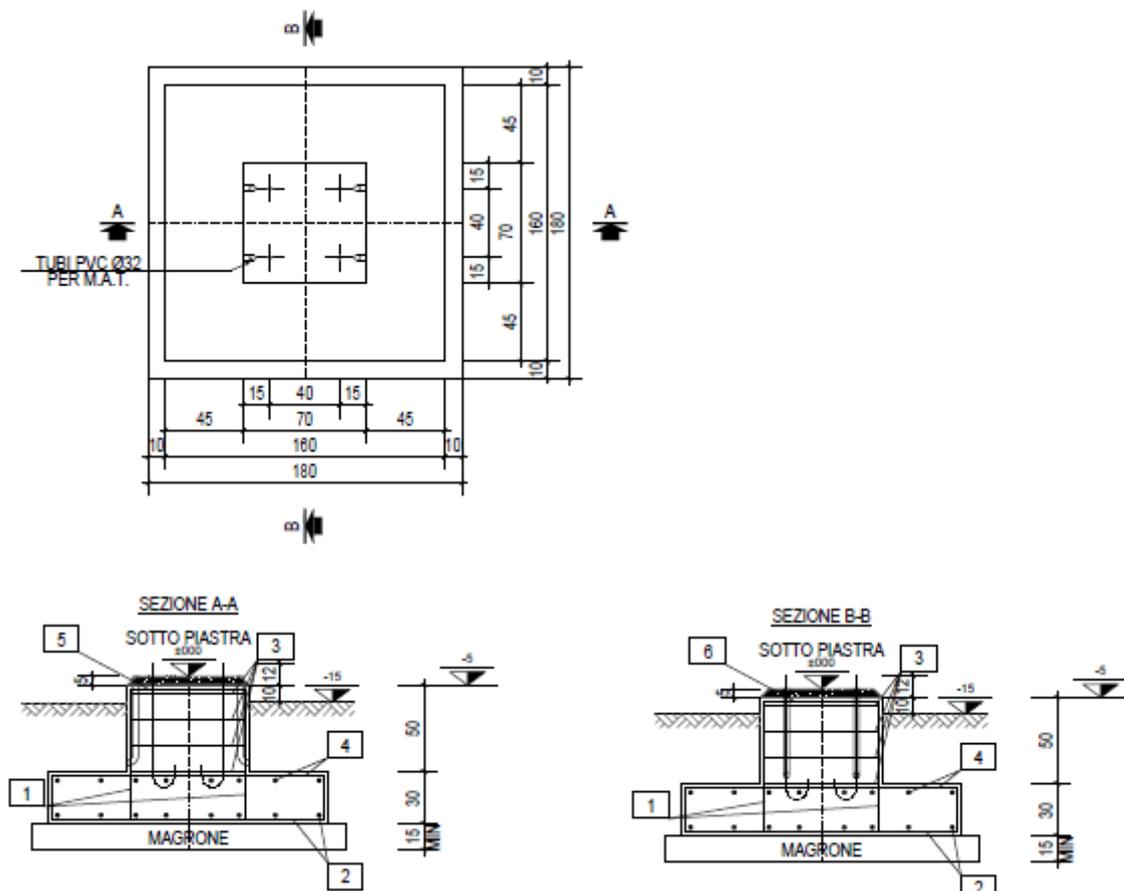


Figura 6-15 Tipici dimensionali proposti per fondazioni sistema sbarre

6.5 Verifiche geotecniche

Il substrato sul quale verranno fondate le strutture di supporto sopra descritte è caratterizzato dagli stessi parametri geotecnici significativi che riguardano la fondazione del TR.

Essendo tuttavia i valori degli scarichi al suolo estremamente inferiori a quelli della fondazione Trafo, si ritengono anche per queste strutture ampiamente verificati i margini di sicurezza.

Per tali motivi si può asserire che le opere strutturali descritte nel presente capitolo posseggono requisiti di sicurezza tali da assicurarne la realizzabilità.

7 EDIFICIO DI COMANDO

7.1 Descrizione generale dell'opera

L'edificio di comando ospita la sala quadri MT, con una parte dedicata al trasformatore TSA e uno spazio per le misure, il locale quadri BT e controllo, oltre ad una sala uso uffici. È costituito da un corpo di fabbrica disposto su unico piano, isolato, dalle dimensioni architettoniche in pianta di circa 25x5 m e altezza di 4,5 m dal piano finito delle sistemazioni esterne adiacenti. Per i dettagli architettonici si rimanda all'elaborato grafico Tav. 07b "Planimetria viste e sezioni Edificio Utente – Stazione Utente", parte integrante del progetto definitivo dell'Impianto di Utenza.

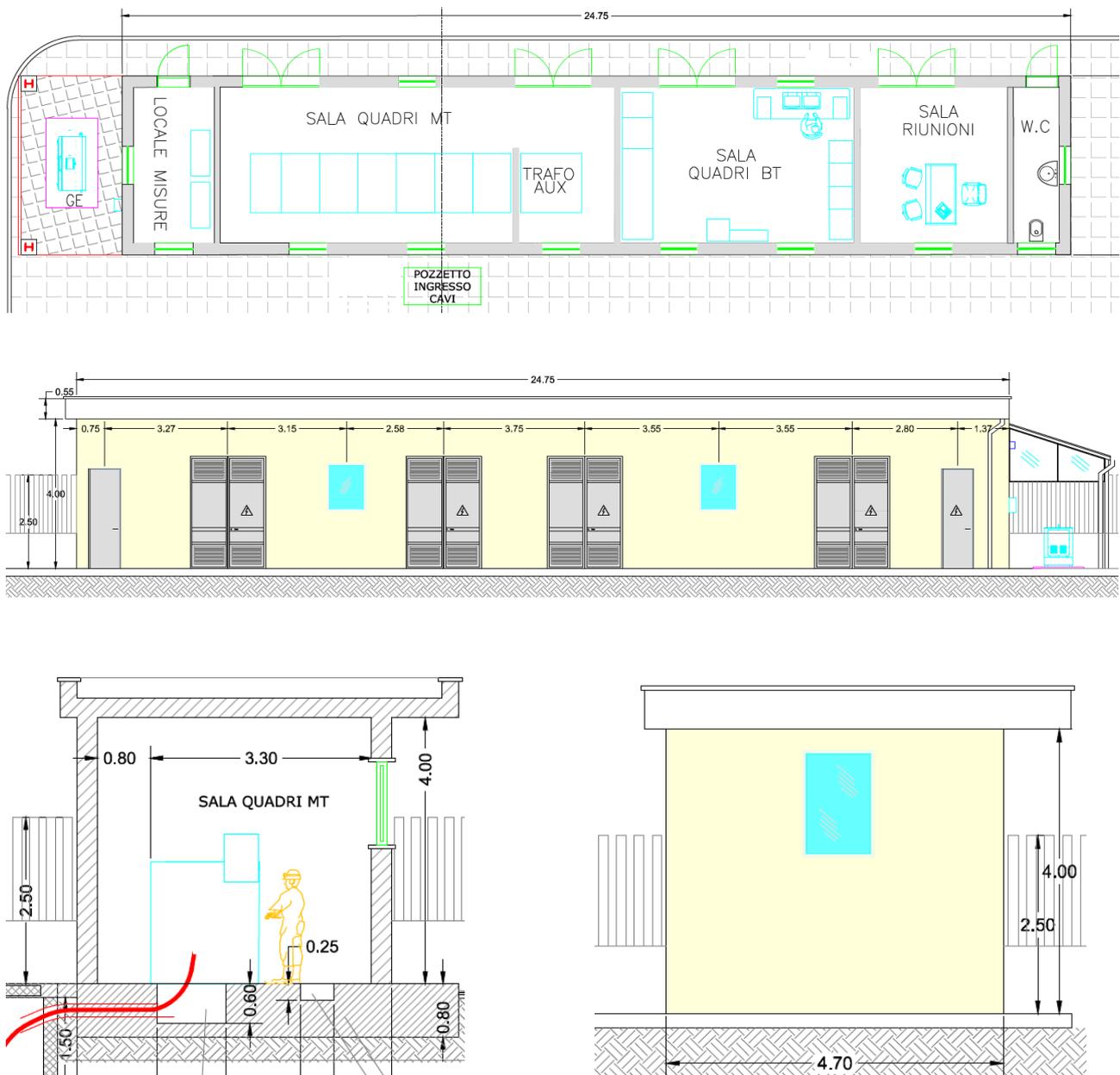


Figura 7-1 Pianta, prospetti e sezioni edificio utente

7.2 Criteri di modellazione della struttura

Sulla base del progetto architettonico si è ipotizzata una struttura portante costituita da un reticolo di pilastri e travi in c.a. gettato in opera, dalle sezioni più avanti descritte, copertura costituita da solaio laterocementizio di spessore 25+5cm e struttura di fondazione costituita da una platea nervata dello spessore di 25 cm, impostata a -1,00 m dal piano delle finiture esterne.

Le assunzioni principali della modellazione sono:

- I pilastri e le travi sono stati modellati come elementi monodimensionali tipo asta (*beam*)
- La platea di fondazione è modellata come elemento bidimensionale tipo (*shell*);
- Il vincolo al suolo è modellato con appoggio elastico bidimensionale, ossia un letto di molle verticali aventi rigidità
 - o nella direzione globale verticale pari a $k_z = 1E+4 \text{ KN/m}^3$ (valore elevato, a simulare un sottofondo ben costipato);
 - o nella direzione globale orizzontale pari a $k_x = k_y = 1.500 \text{ KN/m}^3$ (valore modesto, a simulare un basso ammortamento laterale, in quanto la struttura si considera appoggiata sul rilevato);
- Il solaio di copertura è modellato come *diaframma*, ossia elemento infinitamente rigido nel proprio piano, che trasmette alle travi sottostanti i carichi portati

Tabella 7-1 Elementi asta

ID	Nome	Figura	h (mm)	B (mm)	Ix (mm ⁴)	Iy (mm ⁴)
1	PILASTRO 30x30	Rett.	300,0	300,0	1,1E+09	6,7E+08
2	TRAVE 30x50	Rett.	500,0	300,0	2,8E+09	3,1E+09
3	Nervatura 40x55	Rett.	550,0	400,0	3,3E+09	4,2E+09

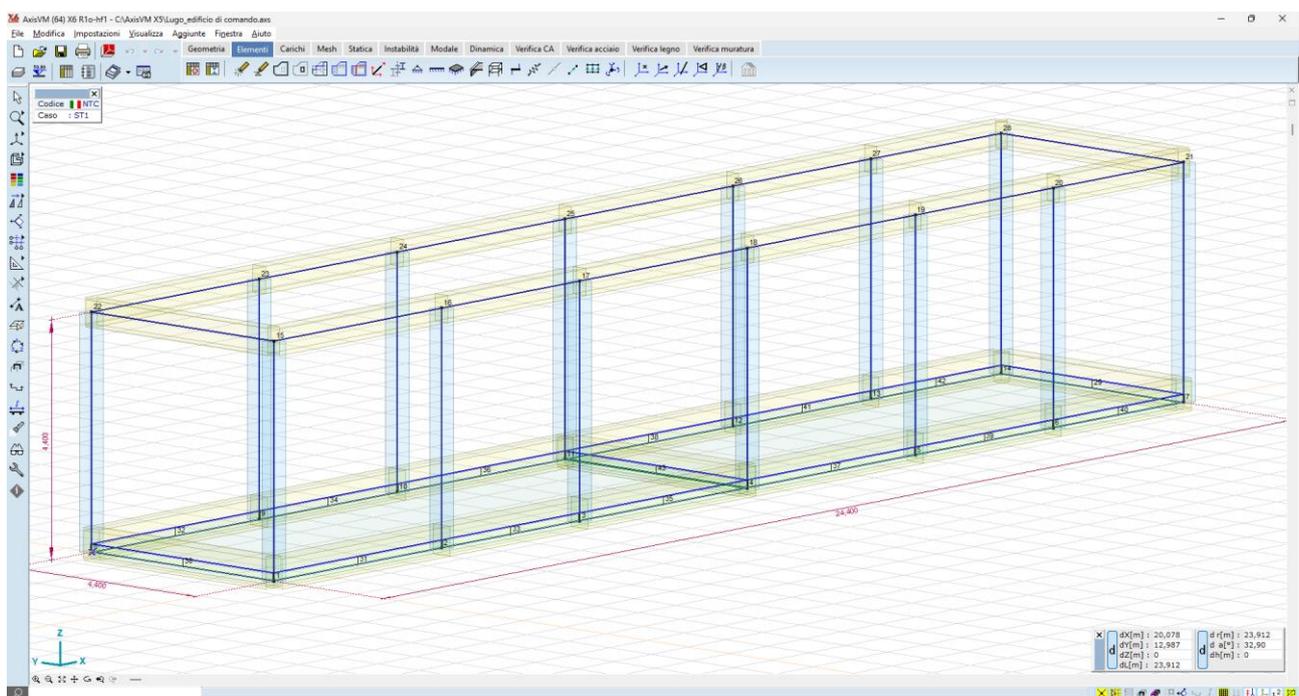


Figura 7-2 Vista modello - elementi asta/shell/nodi

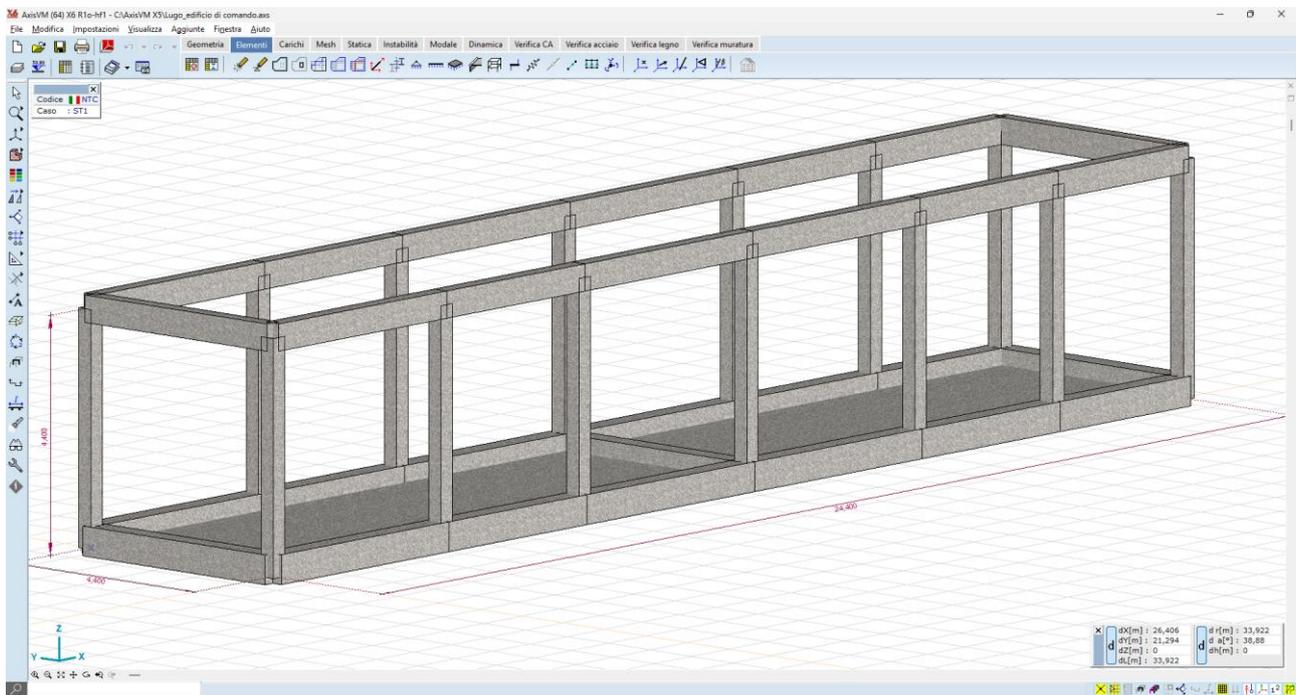


Figura 7-3 Vista modello solido - render 3D

Analisi dei carichi

Carichi da solaio di copertura

Peso proprio strutturale solaio laterocementizio 25+5cm	360 daN/mq
Peso permanente portato dal solaio	140 daN/mq
Carico accidentale (Cat.H tab 3.1.II della NTC2018)	50 daN/mq

In fase di idimensionamento preliminare si considerano con valori unitari, per cui viene attribuito un carico distribuito complessivo pari a 550 daN/mq.

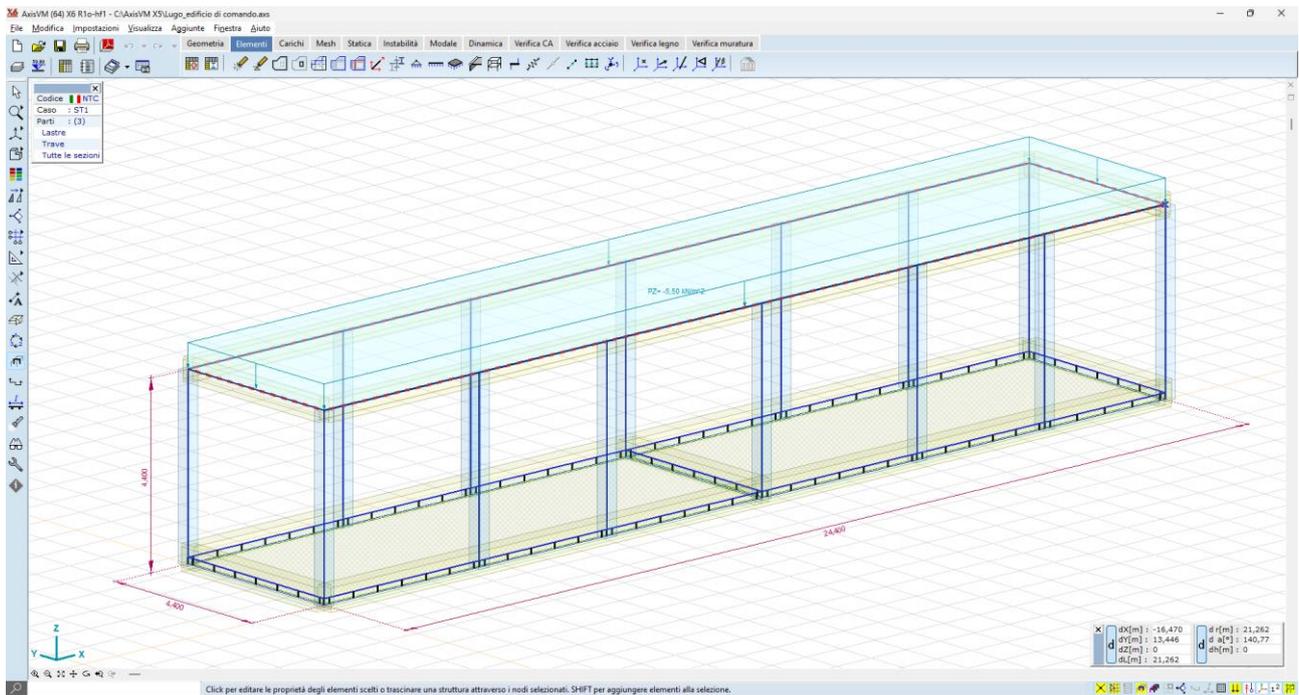


Figura 7-4 Carichi solaio copertura

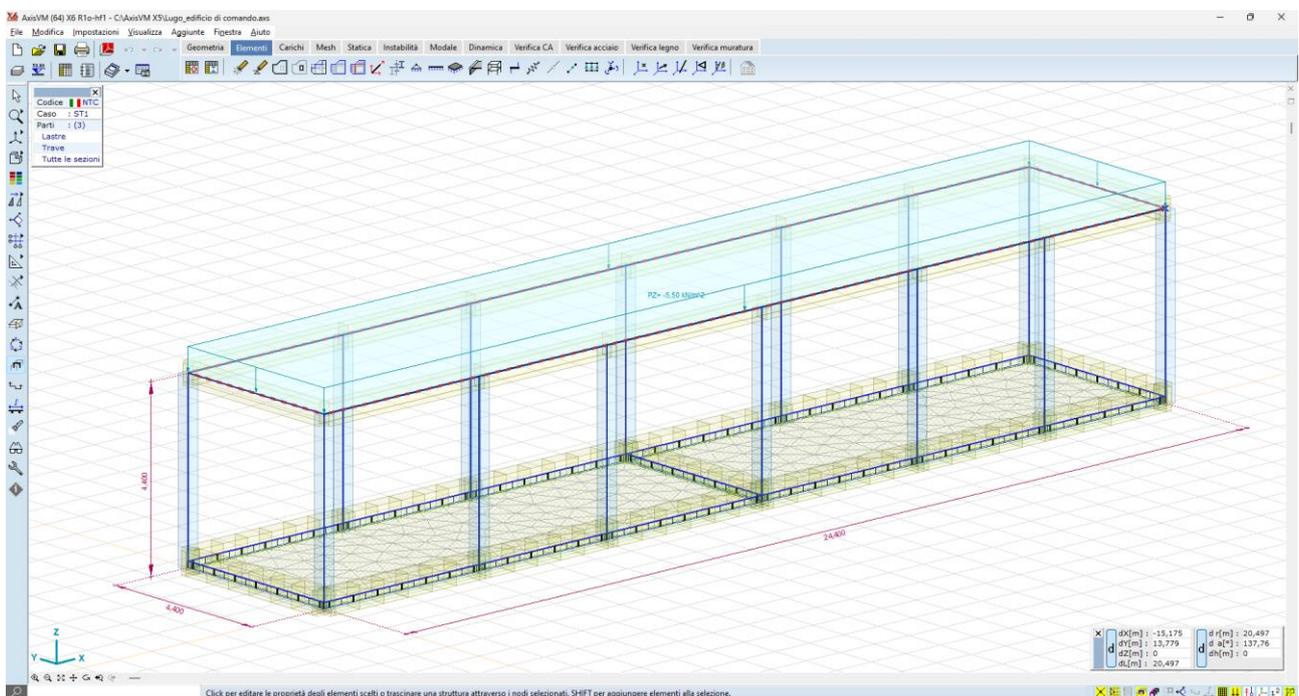


Figura 7-5 Meshatura elemento shell

Carichi sismici

In considerazione del fatto che:

- la struttura è regolare in pianta e in altezza;

– che il primo modo di vibrare della struttura è di tipo flessionale, e che da solo eccita il 85% delle masse sismiche, è consentito utilizzare una analisi di tipo semplificato, che consiste nell'attribuire un tagliante di piano al solaio di copertura pari al 7% delle masse sismiche del solaio stesso.

I risultati dell'analisi modale di seguito illustrata dimostrano che il primo modo di vibrare della struttura è di tipo flessionale, ed eccita il 93% delle masse; questo modo ha una frequenza propria di vibrazione pari a 2,18Hz, che equivale ad un periodo proprio pari a:

$$T1=0,413 \text{ sec}$$

Al quale corrisponde un'accelerazione spettrale orizzontale pari a:

$$S_d(T1) = 1,074$$

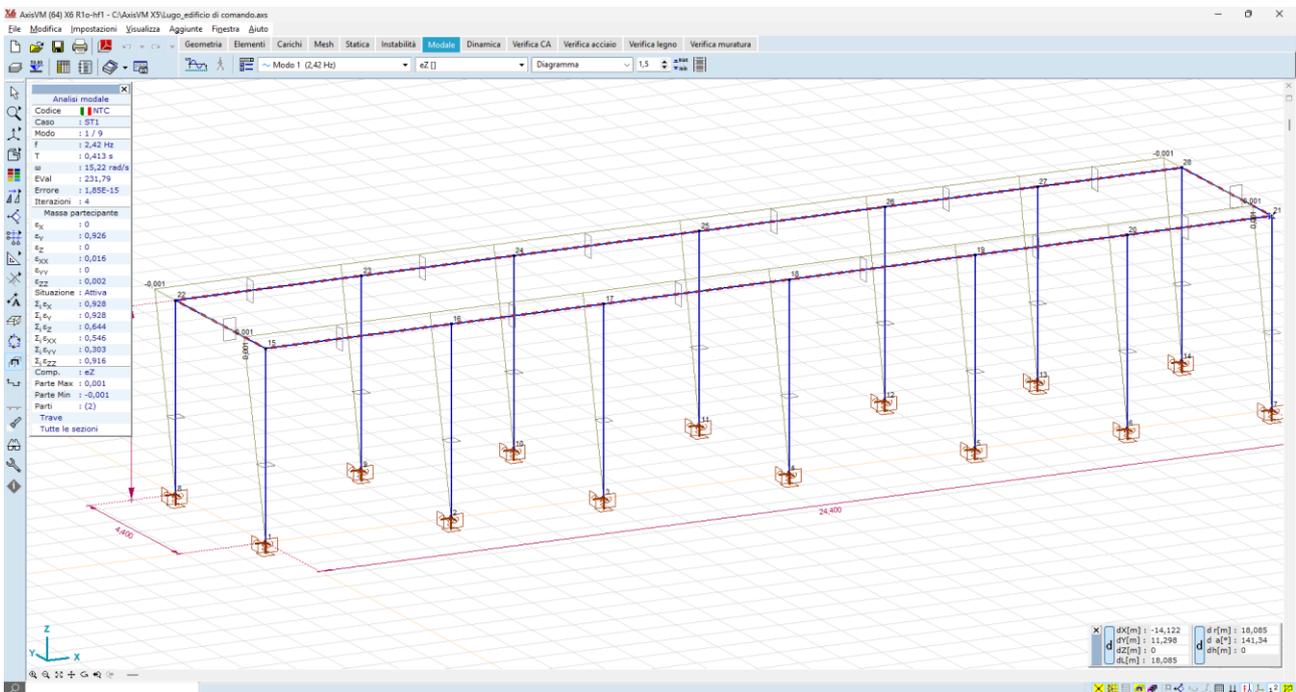


Figura 7-6 Primo modo di vibrare – flessionale - $T = 0.413 \text{ sec}$ – massa partecipante 92,6%

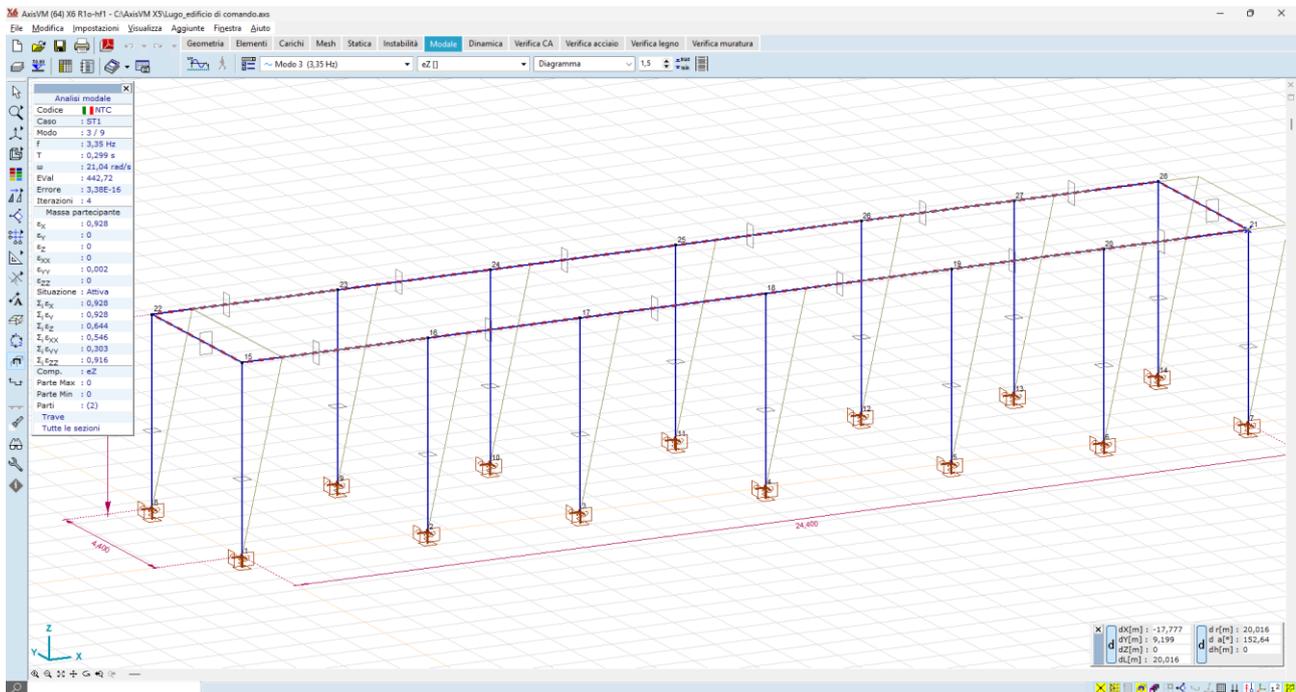


Figura 7-7 Primo modo di vibrare – flessionale - $T = 0.299$ sec – massa partecipante 92,6%

Ai sensi del cap. 7.3.3.2 della NTC2018 l'azione sismica può essere assimilata ad una forza orizzontale alla massa che costituisce il solaio di copertura pari a:

$$F_h = S_d(T_1) * \lambda * W/g$$

dove:

- a_g è l'accelerazione orizzontale massima del terreno, funzione del Tempo di ritorno e dello SL di riferimento
- S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione $S = S_s * S_t$
- λ è un coeff nel nostro caso pari a 1,0
- W è la massa dell'impalcato

S_s è determinato dalla formula $= 1,4 - 0,4 F_0 * a_g / g = 1,4 - (0,4 * 2,648 * 0,485 / 9,81)$

Quindi $S = S_s * S_t = 1.347 * 1.0$

Si deve verificare la condizione che $a_g * S < 0.075g$

ossia che $0.485 * 1.347 < 0.075 * 9,81$

$$\mathbf{0.653 < 0.735} \quad \mathbf{condizione verificata}$$

In definitiva per tali ipotesi è ammesso assimilare l'azione sismica, di tipo inerziale, ad un'azione orizzontale applicata al centro di massa del solaio con un'intensità pari al 7% del peso della copertura.

7.3 Risultati delle analisi

L'analisi è del tipo statico lineare ad elementi finiti. La struttura, modellata con le ipotesi sopra descritte, viene risolta, in termini di sollecitazioni e spostamenti, per mezzo del solutore FEM:

AXIS VM release 6

Licenza n. 7754

rilasciata a SCM Ingegneria srl

rilasciata da STA DATA srl di Torino

7.3.1 Sollecitazioni sulle aste

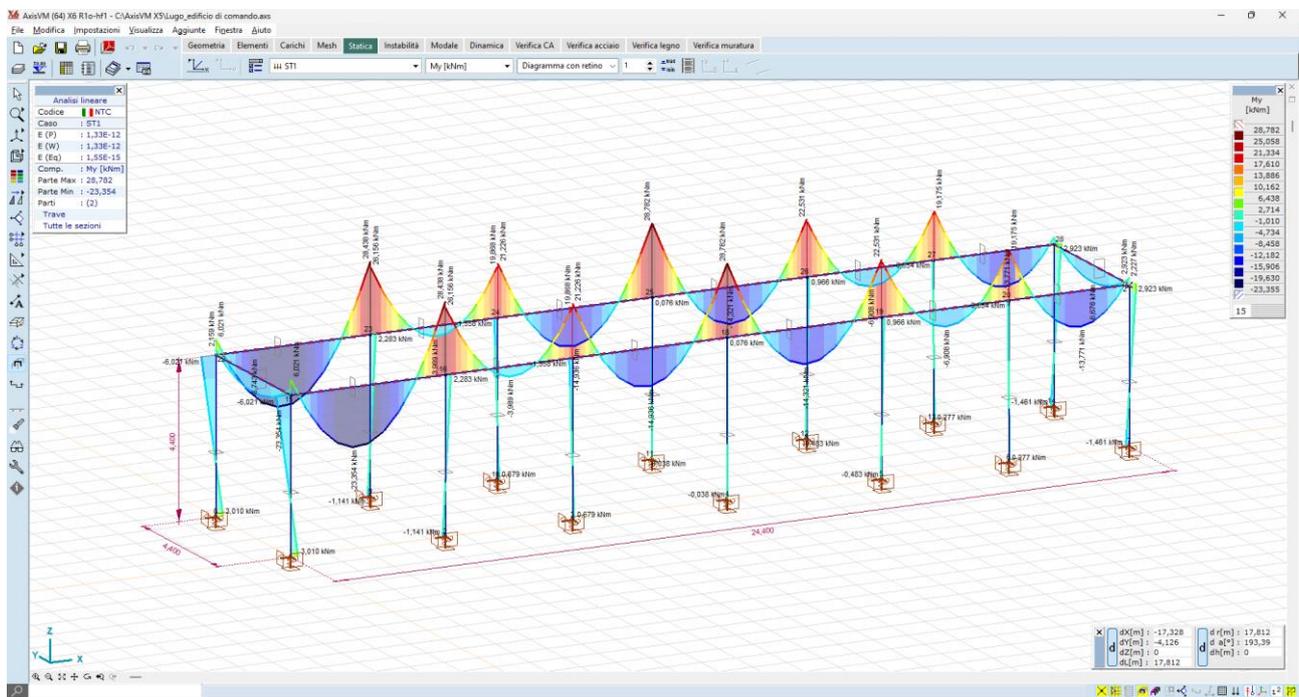


Figura 7-8 Momenti flettenti sulle travi – valori massimi $M_y = 25,00 \text{ kN}\cdot\text{m}$

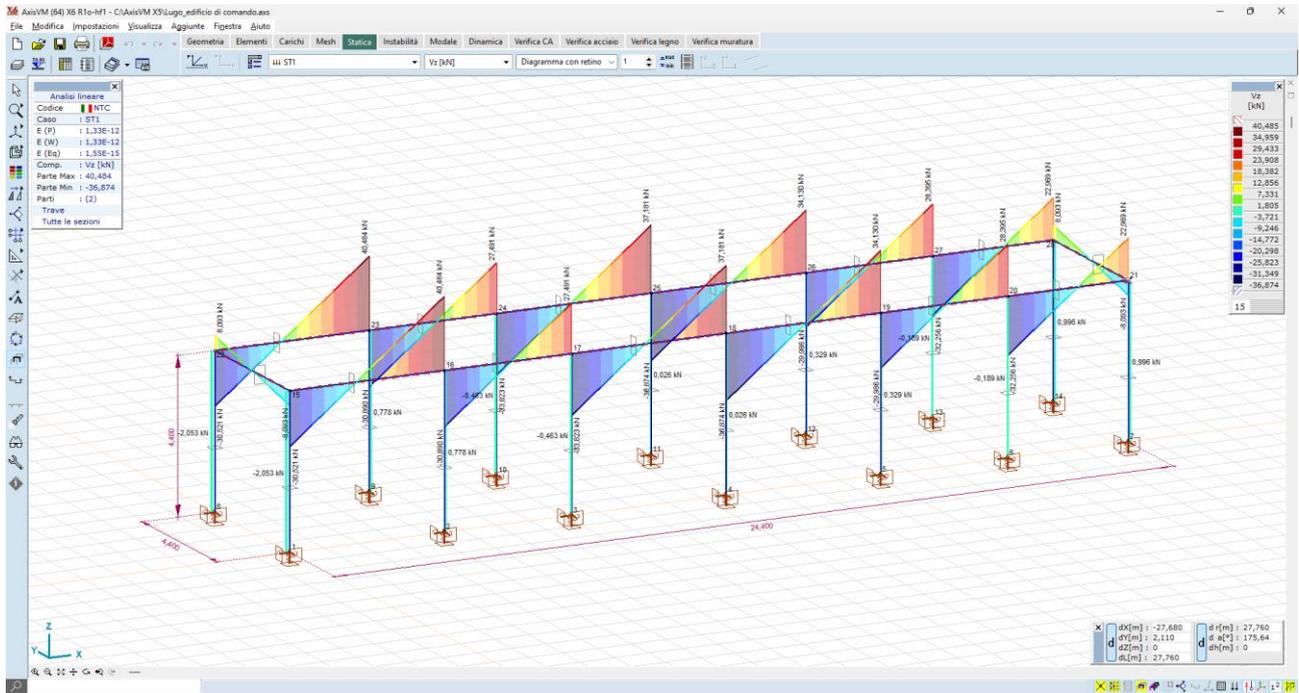


Figura 7-9 Azioni taglianti sulle travi – valori massimi $V_z = 35,00$ kN

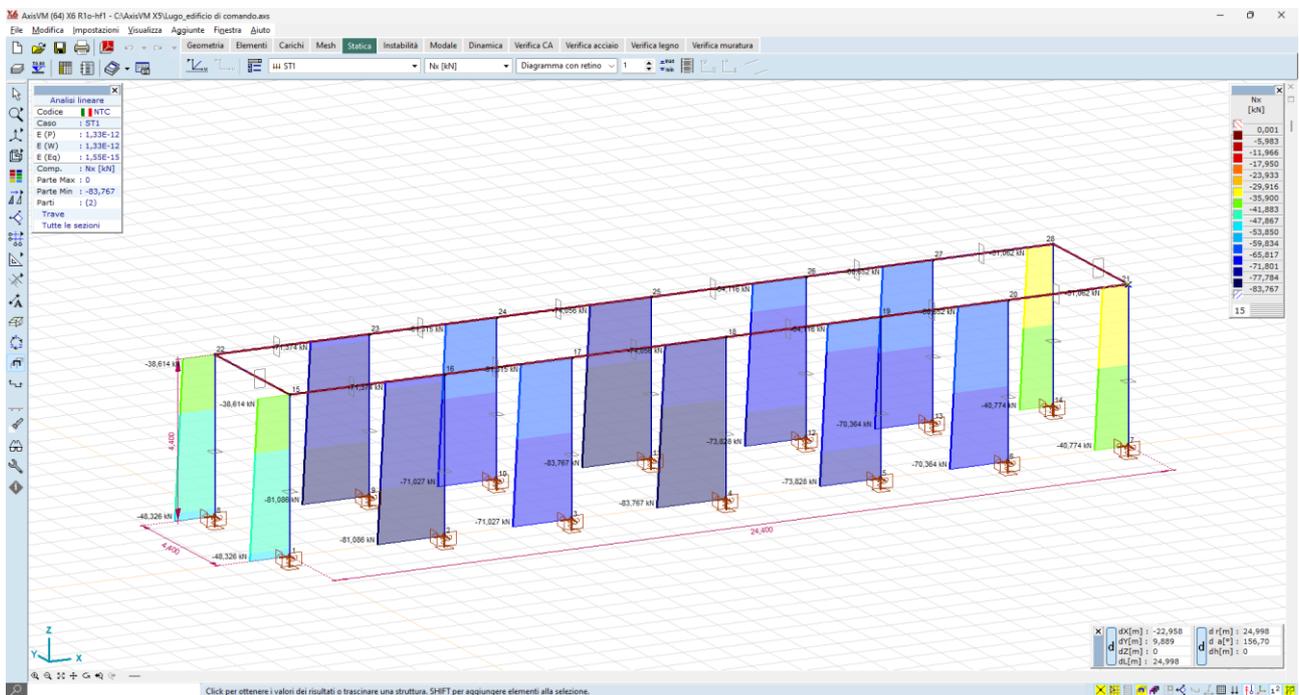


Figura 7-10 Azioni assiali nei pilastri - valori massimi $N_x = 83,00$ kN

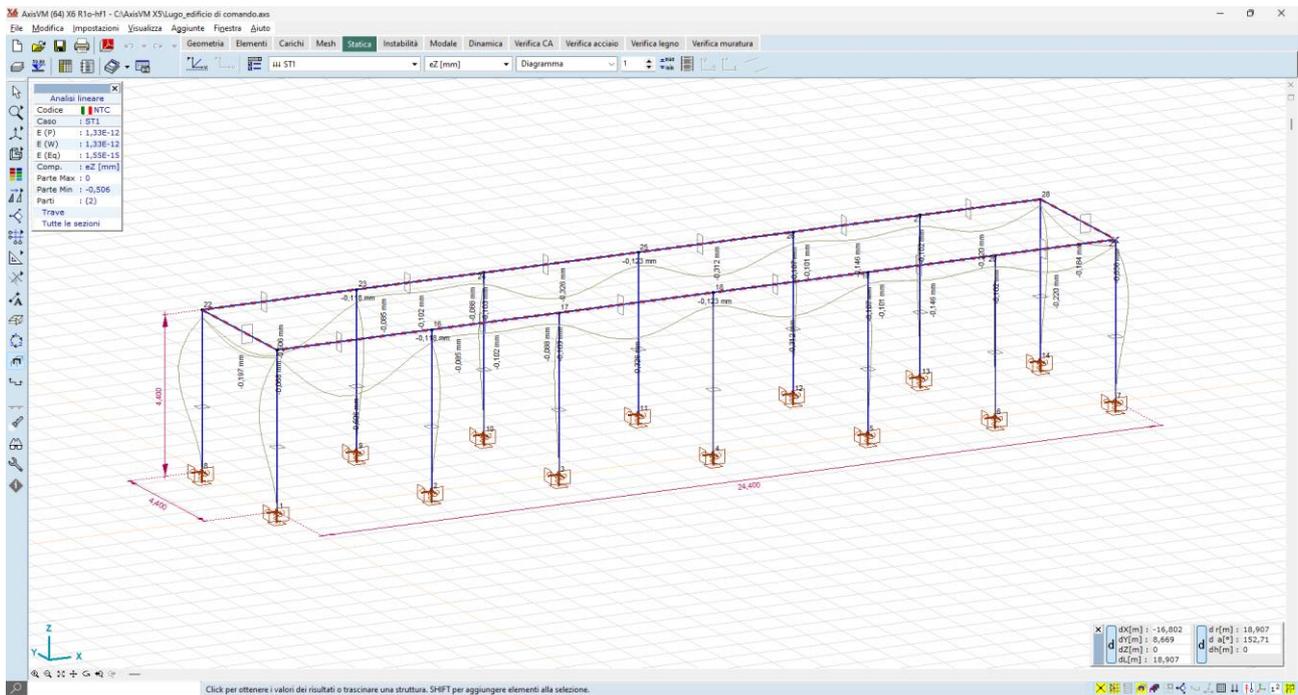


Figura 7-11 Deformazioni della struttura sottocarico_valori massimi $e_z = 0,5$ mm

7.3.2 Pressioni al suolo

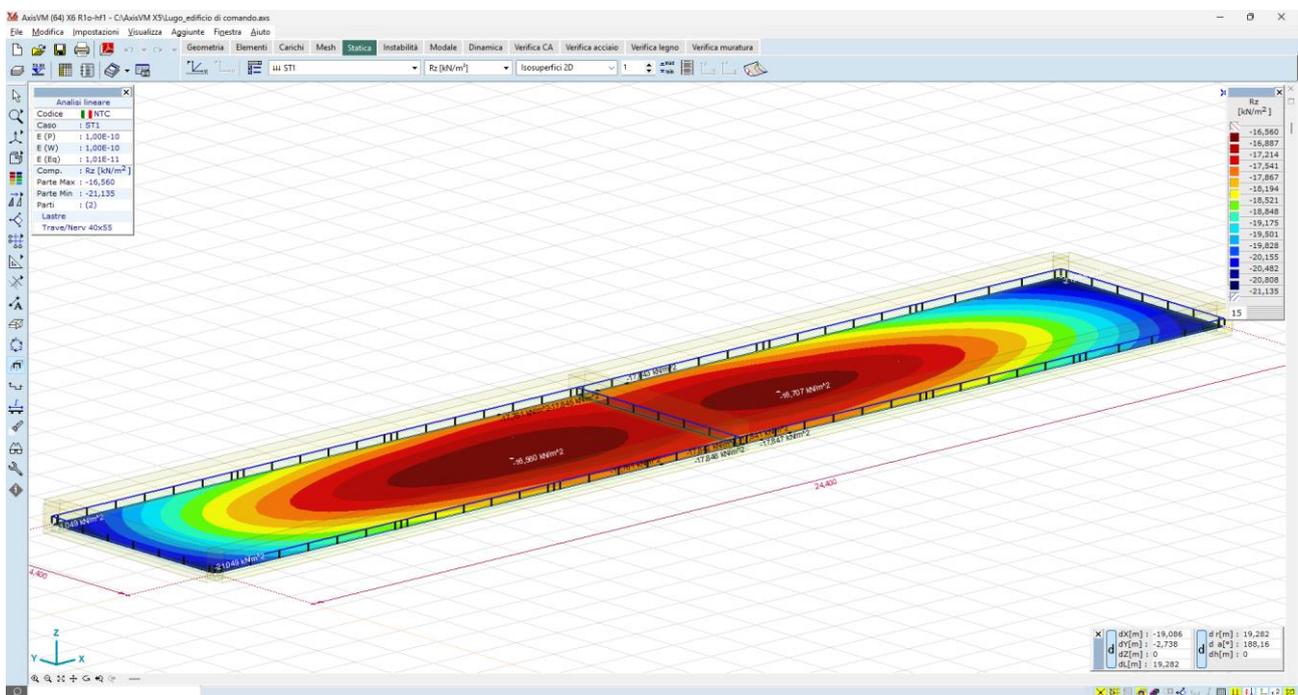


Figura 7-12 Pressioni al suolo R_z – valori massimi dell'ordine dei 21 kN/mq

Il valore medio dei carichi al suolo è pari a 21.130 kN/mq, ossia **0.21 daN/cm²**, ch     assolutamente modesto, e sopportabile dal piano di imposta in rilevato.

7.4 Conclusioni

I risultati numerici derivanti dall'analisi della struttura, condotta in campo lineare, attribuendo i carichi gravitazionali e sismici da normativa, hanno mostrato ampi margini di sicurezza.

Alla luce della caratterizzazione geologica del sottosuolo, si può asseverare che la struttura non influenza significativamente il volume di sedime sul quale andrà ad insistere.

Per tali motivi si può asserire che le opere strutturali descritte nel presente documento posseggono requisiti di sicurezza tali da assicurarne la realizzabilità.

7.5 Verifiche geotecniche

7.5.1 Caratterizzazione dell'area di sedime

Il substrato sul quale verrà fondata la struttura è stato caratterizzato geologicamente e geotecnicamente; si riportano i parametri meccanici significativi:

- Livello Geotecnico (2): Depositi sabbioso-ghiaiosi-arenitici
- Formazione geologica: Depositi Marini Terrazzati
- Descrizione litologica: alternanza di sabbie, sabbie con limo, e strati arenitici da mediamente a ben cementati.
- Soggiacenza della falda: Assente.
- Caratteristiche geotecniche generali: terreni a comportamento geotecnico da discreto a buono, prevalentemente incoerente, a consistenza generalmente medio-bassa nei livelli superficiali, che tende ad aumentare con la profondità.
- I parametri geotecnici caratteristici sono:

	MIN	MAX	BEST FIT
γ (kN/m ³) Peso per unità di volume naturale	17.0	21.0	20.0
γ_{sec} (kN/m ³) Peso per unità di volume secco	16.8	18.0	17.0
γ_{sat} (kN/m ³) Peso per unità di volume saturo	19.5	21.8	20.5
γ_s (kN/m ³) Peso specifico	---	---	24.0
ϕ' (°) Angolo di attrito di picco	31.0	35.0	33.0
ϕ'_{vc} (°) Angolo di attrito a volume costante	26.0	31.0	29
c' (kPa) Coesione efficace	0.0	9.0	4.0

- Comportamento Strato: Granulare sciolto
- Stato di addensamento: da med. addensato a semicoerente.

7.5.2 Verifiche di capacità portante

L'andamento delle tensioni che la struttura trasmette al suolo è rappresentato nell'immagine seguente.

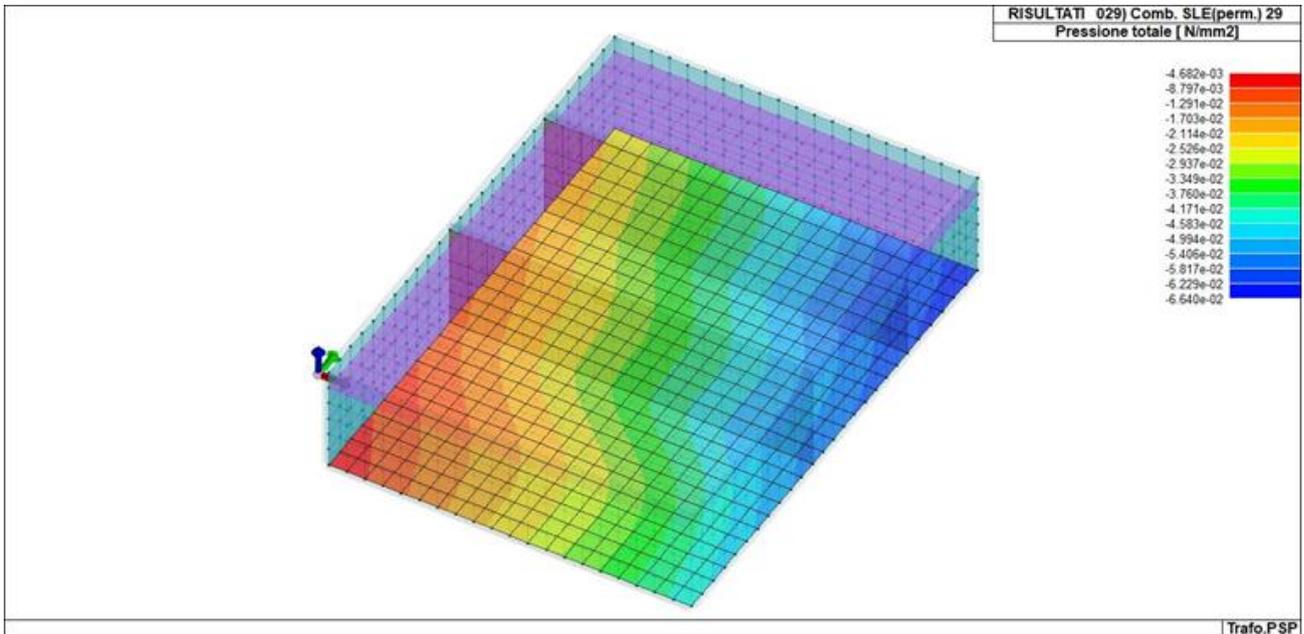


Figura 7-13 Andamento dei carichi al suolo

Il valore medio dei carichi al suolo è pari a circa 0.80 daN/cm², che è lontano dai valori di carico limite del sedime in esame, come di seguito dimostrato:

Ai fini della verifica della capacità portante del terreno, si considera il modello di rottura generale di Terzaghi, che ipotizza un problema piano (fondazione nastriforme) utilizzando il metodo dell'equilibrio limite.

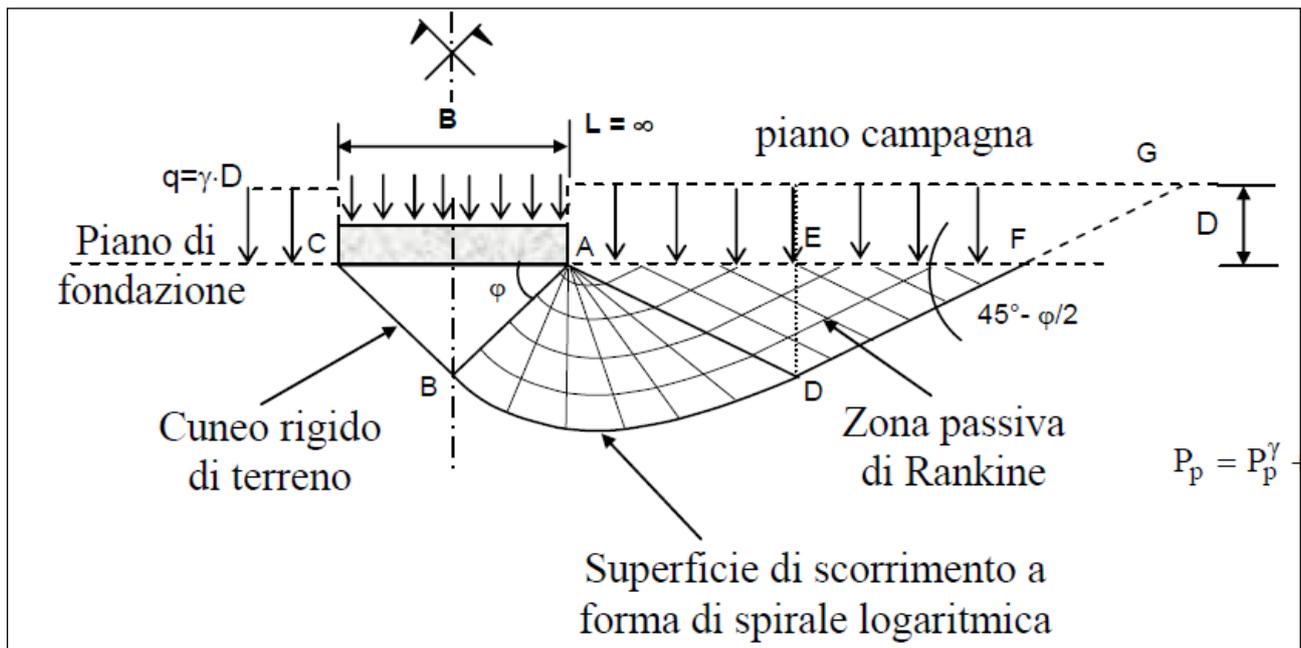


Figura 7-14 Schematizzazione del modello di rottura generale di Terzaghi

Il terreno è schematizzato come un mezzo continuo, omogeneo e isotropo, a comportamento rigido plastico e per il quale vale il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

La valutazione numerica del carico limite unitario si effettua per mezzo della formula trinomia di Terzaghi, che nel caso più generale è:

$$q_{lim} = [q N_q] + [c N_c] + [1/2 * \gamma B' N_\gamma]$$

in cui:

- q : è la tensione verticale geostatica, valutata in corrispondenza del piano di posa della fondazione, alla quale possono aggiungersi carichi esterni se esistenti;
- c è la coesione del volume di terreno al di sotto della fondazione.
- $1/2 * \gamma B$ rappresenta la tensione geostatica a profondità pari a $B/2$ dal piano di posa (γ e B sono rispettivamente il peso dell'unità di volume la larghezza della fondazione)

I termini N_q , N_c , N_γ sono i coefficienti di carico limite, funzione dell'angolo di attrito del terreno:

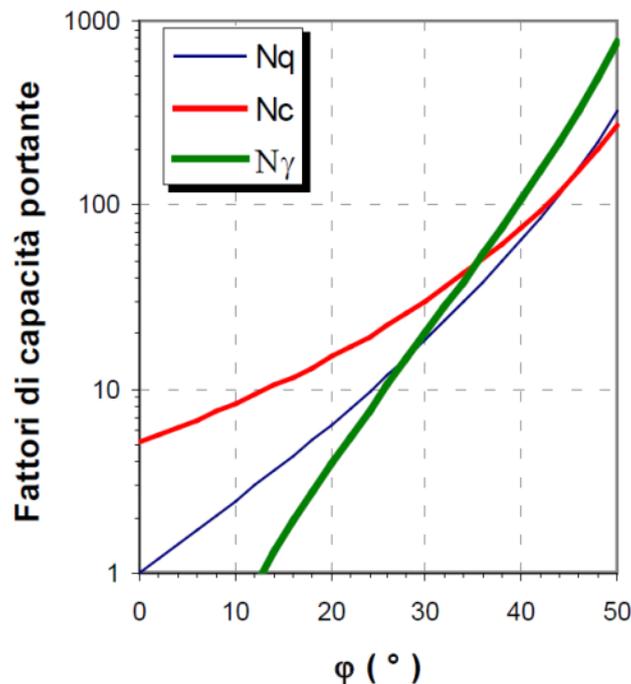


Figura 7-15 Fattori di capacità portante in funzione dell'angolo di attrito del terreno

Nel caso specifico di fondazione a pianta rettangolare, si introducono opportuni coefficienti di forma (S_q , S_c , S_γ) che modificano la formula come di seguito:

$$q_{lim} = [q N_q] s_q + [c N_c] s_c + [1/2 * \gamma B' N_\gamma] s_\gamma$$

I coefficienti di cui sopra modificano i risultati numerici rispetto al modello generico che invece si applica alla striscia indefinita:

Tabella 7-2 Fattori di forma

<i>Tabella 15.1: Fattori di forma (Vesic, 1975)</i>			
<i>Forma della fondazione</i>	s_c	s_q	s_γ
Rettangolare	$1 + \frac{B'}{L'} \cdot \frac{N_q}{N_c}$	$1 + \frac{B'}{L'} \cdot \tan \phi$	$1 - 0,4 \cdot \frac{B'}{L'}$
Circolare o quadrata	$1 + \frac{N_q}{N_c}$	$1 + \tan \phi$	0,6

Dati di progetto

Insert "larghezza fondazione"	B	4,50	m
Insert "profondità piano di posa"	D	1,80	m
insert profondità falda "d"	d	assente	m
Insert "peso volume"	γ_1	1500	daN/mc
Insert "peso volume"	γ_2	2000	daN/mc
Insert "coesione"	c	0,04	daN/cm ²
Insert "angolo di resist a taglio"	φ	30	°

Fattori di capacità portante	N _y	22,40
	N _q	18,40
	N _c	30,14

Fattori di forma	S _y	0,93
	S _q	1,10
	S _c	1,11

Risultati

Carico limite	Q lim	25,79	daN/cm ^q
Carico ammissibile	Q lim/3	8,60	daN/cm ^q

Esito verifiche

Carico esercizio	Q es	18,00	kN/m ^q
Carico ammissibile	Q adm	859,00	kN/m ^q
Fattore sicurezza	F _s	47,00	OK