



MINISTERO
DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI



E.N.A.C
ENTE NAZIONALE per
L'AVIAZIONE CIVILE

Committente Principale



AEROPORTO INTERNAZIONALE DI FIRENZE AMERIGO
VESPUCCI

Opera

PROJECT REVIEW – PIANO DI SVILUPPO AEROPORTUALE AL 2035

Titolo Documento

Cantierizzazione
Viabilità provvisoria- Relazione tecnica ponte provvisorio

Livello di Progetto

SCHEDE DI APPROFONDIMENTO PROGETTUALE
A LIVELLO MINIMO DI PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

LIV	REV	DATA EMISSIONE	SCALA	CODICE FILE
PSA	02	MARZO 2024	N/A	FLR-MPL-PSA-CAN7-014-ST-RT_Rel Tec
				TITOLO RIDOTTO
				Rel Tec

00	03/2024	EMISSIONE PER PROCEDURA VIA-VAS	Architecnica Engineering	C.Naldi	L.Tenerani
01	03/2023	EMISSIONE PER APPROVAZIONE IN LINEA TECNICA DI ENAC	Architecnica Engineering	C.Naldi	L.Tenerani
00	02/2022	EMISSIONE PER DIBATTITO PUBBLICO	Architecnica Engineering	D.Vestrini	L.Tenerani
REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

COMMITTENTE PRINCIPALE	GRUPPO DI PROGETTAZIONE	SUPPORTI SPECIALISTICI
 ACCOUNTABLE MANAGER Dott. Vittorio Fanti	 DIRETTORE TECNICO Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631	PROGETTAZIONE SPECIALISTICA Ing. Claudia Naldi Ordine degli Ingegneri di Firenze n°7122 SUPPORTO SPECIALISTICO
POST HOLDER PROGETTAZIONE Ing. Lorenzo Tenerani POST HOLDER MANUTENZIONE Ing. Nicola D'ippolito POST HOLDER AREA DI MOVIMENTO Geom. Luca Ermini	RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Claudia Naldi Ordine degli Ingegneri di Firenze n°7122	

È SEVERAMENTE VIETATA LA RIPRODUZIONE E/O LA CESSIONE A TERZI SENZA AUTORIZZAZIONE DELLA COMMITTENTE

SOMMARIO

1	INTRODUZIONE.....	3
1.1	CARATTERISTICHE GENERALI DELL'OPERA.....	3
1.2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
1.3	CONDIZIONI AMBIENTALI E CLASSI DI ESPOSIZIONE.....	5
1.4	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	6
1.4.1	STRUTTURE DI FONDAZIONE.....	6
1.5	CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	8
1.6	SOFTWARE DI CALCOLO.....	9
1.7	CONVENZIONI GENERALI.....	9
1.7.1	UNITÀ DI MISURA.....	9
2	IMPOSTAZIONI GENERALI DELLE ANALISI STRUTTURALI.....	11
2.1	ANALISI GLOBALE IMPALCATO.....	11
2.1.1	MODELLAZIONE STRUTTURALE.....	11
2.1.2	SEZIONI DI VERIFICA.....	11
2.1.3	METODOLOGIA DI VERIFICA.....	11
2.2	COMBINAZIONI DELLE AZIONI.....	11
2.3	COEFFICIENTI PARZIALI DI SICUREZZA E COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE.....	12
3	ANALISI DEI CARICHI.....	15
3.1	PREMESSA.....	15
3.2	CARICHI TRASMESSI DAL PONTE.....	15
3.2.1	AZIONI PERMANENTI.....	16
3.2.2	VARIAZIONI TERMICHE.....	16
3.2.3	AZIONE DELLA NEVE.....	16
3.2.4	AZIONE DA TRAFFICO VEICOLARE.....	16
3.2.5	AZIONE DA FRENAMENTO.....	16
3.2.6	AZIONE SISMICA.....	17
4	ANALISI FONDAZIONI.....	18
4.1	ANALISI STRUTTURALE.....	18
4.1.1	MODELLO FEM.....	18
4.1.2	ANALISI DEL MODELLO.....	18
4.1.3	COMBINAZIONI DI CARICO.....	19
4.2	RISULTATI DELLA ANALISI.....	19
4.3	CALCOLO DEI CEDIMENTI DEI PALI.....	21

INDICE DELLE TABELLE E DELLE MISURE

Figura 1-1. – Planimetria di cantierizzazione	3
Figura 1.1.1-2. Sezione trasversale.....	4
Figura 1.1.1-3. Sezione Longitudinale.....	4
Figura 1.3-4. Classi di esposizione in relazione alle condizioni ambientali, in conformità alla EN 206-1.....	6
Figura 1.5-5– Parametri sismici.....	8
Figura 2.3-1. Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU (Tab.2.6.I delle NTC2018).....	13
Figura 2.3-2. Coefficienti parziali di sicurezza per le combinaizoni di carico agli SLU (Tab.5.1.V delle NTC2018).....	13
Figura 2.3-3. Valori dei coefficienti di combinazione (Tab.2.5.I delle NTC2018)	14
Figura 3.2-1. Valori azioni trasmesse dall'impalcato.....	15
Figura 4 - Modello di calcolo	18
Figura 5 - Modello di calcolo.....	18
Figura 6 - Momento flettente combinazione 1.....	19
Figura 7 - Momento flettente combinazione 2	20
Figura 8 - Momento flettente combinazione 3.....	20

1. INTRODUZIONE

Il ponte stradale provvisorio di tipo metallico, oggetto del presente elaborato, è stato previsto in fase di cantiere per permettere l'attraversamento dell'attuale Fosso Reale, per avere una migliore connessione tra le varie aree di cantiere e per limitare le interferenze dei passaggi dei mezzi di cantiere sul traffico veicolare di via dell'Osmannoro.

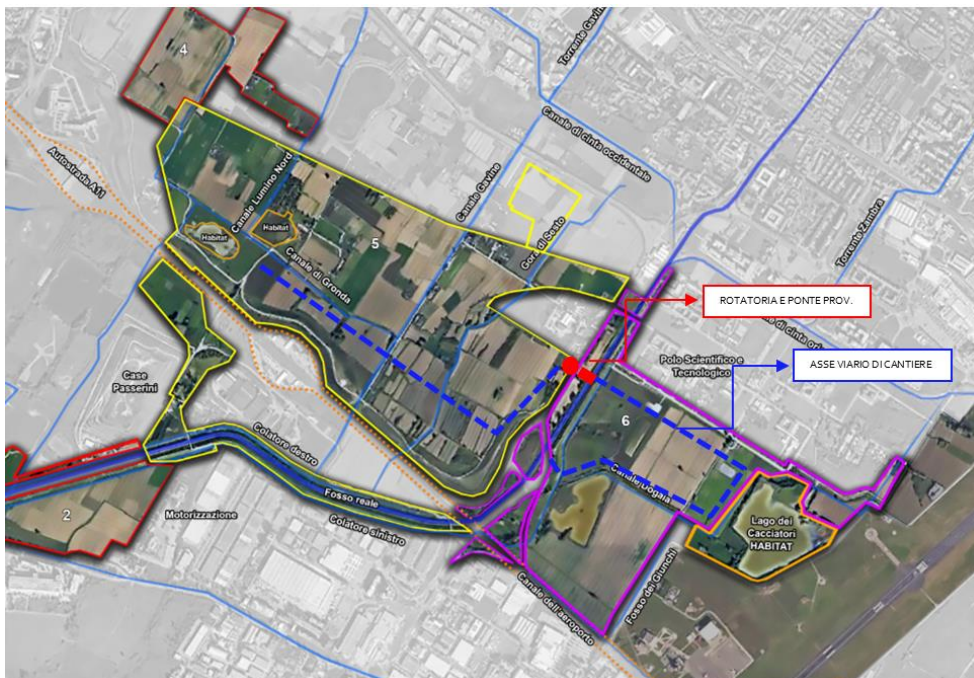


Figura 1-1. – Planimetria di cantierizzazione

1.1 CARATTERISTICHE GENERALI DELL'OPERA

La presente relazione ha come obiettivo l'esposizione delle analisi svolte e dei principali risultati ottenuti per la realizzazione del ponte provvisorio sopra citato. L'intervento prevede la realizzazione del ponte metallico tipo Bailey e delle due spalle su cui poggia la struttura.

1.1.1 IMPALCATO METALLICO

Il ponte dovrà avere le seguenti caratteristiche geometriche:

- un'unica campata con luce di calcolo pari a 27 m;
- una larghezza di 10 m per permettere la realizzazione di due corsie stradali da 3,5 m e 2 passaggi pedonali da 90 cm.

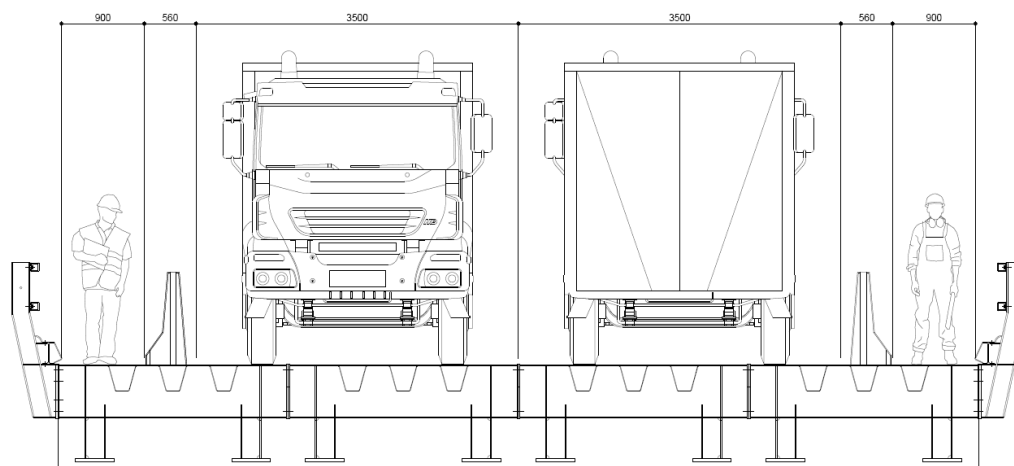


Figura 1.1.1-2. Sezione trasversale

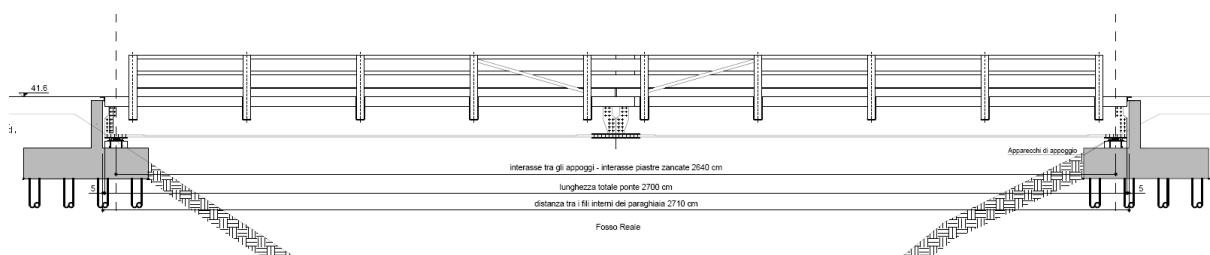


Figura 1.1.1-3. Sezione Longitudinale

Essendo previsto nel computo metrico estimativo il noleggio di questa tipologia di ponte, la progettazione Esecutiva dello stesso sarà a carico del fornitore il quale dovrà sottoporre i disegni costruttivi ed i calcoli di verifica al Progettista per la relativa approvazione.

Gli scarichi che l'impalcato dovrà trasferire in fondazione non dovranno essere superiori a quelli di seguito allegati e utilizzati per il dimensionamento e la progettazione delle fondazioni.

1.1.2 SPALLE

Le spalle saranno dei muri in c.a. di sviluppo totale di 10.80 metri, paramento spessore 30 cm, mensole di fondazione di spessore 80 cm, fondate su micropali di diametro 25 cm, lunghezza 20 metri disposti su 4 file sfalsate. Il profilato metallico sarà a sezione tubolare circolare $\Phi 193.7 \times 6.0$ mm.

Si riporta di seguito le analisi svolte e i principali risultati ottenuti relativamente ai calcoli strutturali, statici e sismici, delle spalle di fondazione su micropali.

1.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le analisi strutturali e le relative verifiche vengono eseguite secondo il metodo semi-probabilistico agli Stati Limite in accordo alle disposizioni normative previste dalla vigente Normativa italiana e da quella europea (Eurocodici).

In particolare si è fatto riferimento alle seguenti norme:

- [1] D.M. 17 gennaio 2018: Nuove norme tecniche per le costruzioni
- [2] Circolare 2 febbraio 2009, n.617 – Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008.

1.3 CONDIZIONI AMBIENTALI E CLASSI DI ESPOSIZIONE

Per l'opera in esame si prevede l'esposizione al seguente "range" di temperature:

$T_{min} = -15 \text{ °C}$

$T_{max} = 45 \text{ °C}$

Per l'umidità ambientale si assume:

$RH = 80 \%$

Ai fini dell'individuazione di dettaglio delle proprietà dei materiali, si farà riferimento alle seguenti classi di esposizione, il cui significato è esplicitato nella tabella di seguito riportata:

Muro: XC2

fondazioni: XC2

Pali: XC2

Le caratteristiche del calcestruzzo dovranno pertanto rispettare, oltre i requisiti di resistenza indicati al punto seguente, anche i criteri previsti dalla vigente normativa (EN 11104 e EN 206) per quanto riguarda l'esposizione alle classi indicate.

prospetto 4.1 Classi di esposizione in relazione alle condizioni ambientali, in conformità alla EN 206-1

Denominazione della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione
1 Nessun rischio di corrosione o di attacco		
X0	Calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo/disgelo, abrasione o attacco chimico. Calcestruzzo con armatura o inserti metallici molto asciutto.	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità dell'aria molto bassa
2 Corrosione indotta da carbonatazione		
XC1	Asciutto o permanentemente bagnato	Calcestruzzo all'interno di edifici con bassa umidità relativa Calcestruzzo costantemente immerso in acqua
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Superfici di calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo Molte fondazioni
XC3	Umidità moderata	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità dell'aria moderata oppure elevata Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia
XC4	Ciclicamente bagnato e asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2
3 Corrosione indotta da cloruri		
XD1	Umidità moderata	Superfici di calcestruzzo esposte ad atmosfera salina
XD2	Bagnato, raramente asciutto	Piscine Calcestruzzo esposto ad acque industriali contenenti cloruri
XD3	Ciclicamente bagnato e asciutto	Parti di ponti esposte a spruzzi contenenti cloruri Pavimentazioni Pavimentazioni di parcheggi
4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare		
XS1	Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare	Strutture prossime oppure sulla costa
XS2	Permanentemente sommerso	Parti di strutture marine
XS3	Zone esposte alle onde, agli spruzzi oppure alle maree	Parti di strutture marine
5 Attacco di cicli gelo/disgelo		
XF1	Moderata saturazione d'acqua, senza impiego di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo
XF2	Moderata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo di strutture stradali esposte al gelo e ad agenti antigelo
XF3	Elevata saturazione d'acqua, senza antigelo	Superfici orizzontali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo
XF4	Elevata saturazione d'acqua, con antigelo oppure acqua di mare	Strade e impalcati da ponte esposti agli agenti antigelo Superfici di calcestruzzo esposte direttamente ad agenti antigelo e al gelo Zone di strutture marine soggette a spruzzi ed esposte al gelo
6 Attacco chimico		
XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della EN 206-1	Suoli naturali e acqua del terreno
XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della EN 206-1	Suoli naturali e acqua del terreno
XA3	Ambiente chimico fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della EN 206-1	Suoli naturali e acqua del terreno

Figura 1.3-4. Classi di esposizione in relazione alle condizioni ambientali, in conformità alla EN 206-1

1.4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

1.4.1 STRUTTURE DI FONDAZIONE

Calcestruzzo per elevazioni spalle: C28/35

Tensione caratteristica cubica

$$R_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

Tensione caratteristica cilindrica
MPa

$$f_{ck} = 0.83 \times R_{ck} = 29.05$$

Tensione di compressione media

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 37.2 \text{ MPa}$$

Tensione massima di compressione per combinazione rara MPa	$0.6 \times f_{ck} = 17.43$
Tensione massima di compressione per combinazione frequente MPa	$0.45 \times f_{ck} = 13.07$
Resistenza di calcolo	$f_{cd} = f_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 15.87$ MPa
Tensione media a trazione MPa	$f_{ctm} = 0.3 \times f_{ck}^{(2/3)} = 2.77$
Tensione caratteristica a trazione MPa	$f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 1.94$
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.29$ MPa
Modulo elastico 32308 MPa	$E_{cm} = 22000(f_{cm}/10)^{0.3} =$

Acciaio per armatura lenta: barre nervate tipo B450C, controllate in stabilimento

$$f_{yk} \geq 450.0 \text{ MPa}$$

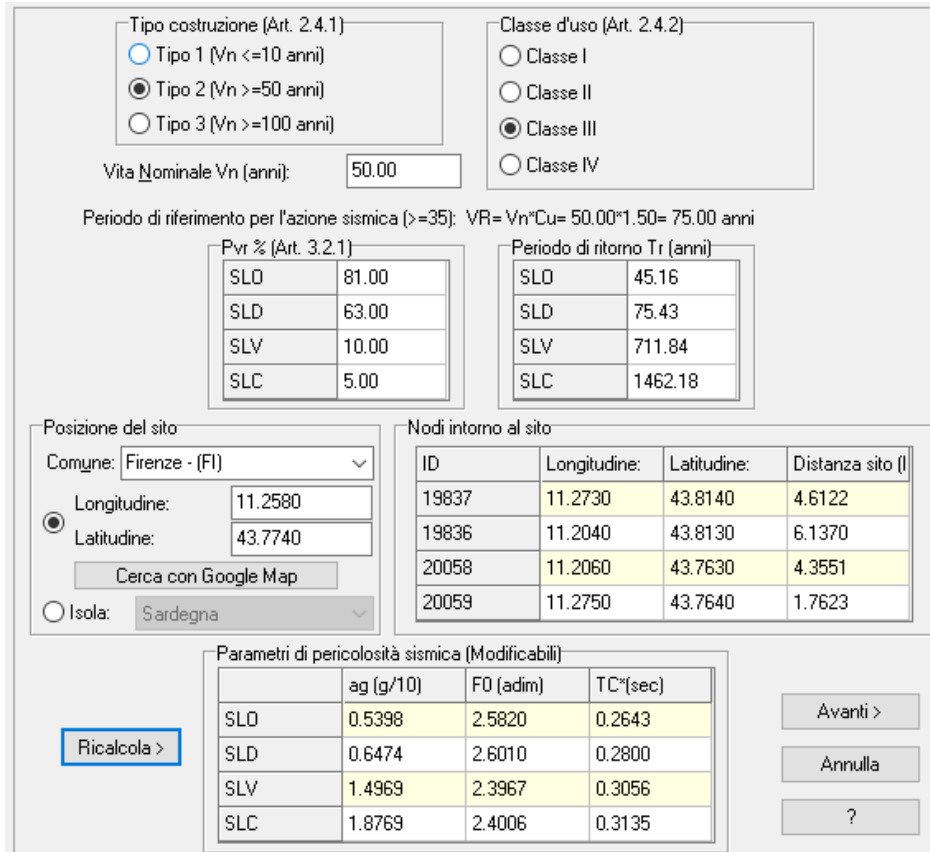
$$f_{tk} \geq 540.0 \text{ MPa}$$

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 0.3$$

1.5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

I parametri sismici delle zona in esame sono riportati a seguire:



Tipo costruzione (Art. 2.4.1)

Tipo 1 ($V_n \leq 10$ anni)

Tipo 2 ($V_n \geq 50$ anni)

Tipo 3 ($V_n \geq 100$ anni)

Vita Nominale V_n (anni):

Classe d'uso (Art. 2.4.2)

Classe I

Classe II

Classe III

Classe IV

Periodo di riferimento per l'azione sismica (≥ 35): $VR = V_n \cdot C_u = 50.00 \cdot 1.50 = 75.00$ anni

Pvr % (Art. 3.2.1)

SLD	81.00
SLD	63.00
SLV	10.00
SLC	5.00

Periodo di ritorno T_r (anni)

SLD	45.16
SLD	75.43
SLV	711.84
SLC	1462.18

Posizione del sito

Comune:

Longitudine:

Latitudine:

Isola:

Nodi intorno al sito

ID	Longitudine:	Latitudine:	Distanza sito (l)
19837	11.2730	43.8140	4.6122
19836	11.2040	43.8130	6.1370
20058	11.2060	43.7630	4.3551
20059	11.2750	43.7640	1.7623

Parametri di pericolosità sismica (Modificabili)

	a_g (g/10)	F_0 (adim)	TC^* (sec)
SLD	0.5398	2.5820	0.2643
SLD	0.6474	2.6010	0.2800
SLV	1.4969	2.3967	0.3056
SLC	1.8769	2.4006	0.3135

Figura 1.5-5- Parametri sismici

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 100 anni

Coefficiente C_u : 1.50

Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %

T_R : 1424 anni

a_g : $0.15 \text{ g} = 1.50 \text{ m/s}^2$

F_0 :	2,390
T_c^* :	0,306 s
S_s : coefficiente di amplificazione stratigrafica	1.485
S_T : coefficiente di amplificazione topografica	1.00
$S = S_s \times S_T =$	1.485
β_m : coefficiente di riduzione a_g	1.00

1.6 SOFTWARE DI CALCOLO

Il codice di calcolo utilizzato è il software agli elementi finiti CDSWin versione 2018 con licenza chiave n° 7284 prodotto dalla « S.T.S. s.r.l. Software Tecnico Scientifico S.r.l., Via Tre Torri n°11 – Compl. Tre Torri, 95030 Sant'Agata li Battiati (CT)».

Per le verifiche tensionali delle sezioni in c.a. si impiega il software di calcolo **VcaSlu**, sviluppato dal Prof. Piero Gelfi. Il programma consente la verifica di sezioni in cemento armato normale e precompresso, soggette a presso-flessione o tenso-flessione retta o deviata, sia allo Stato Limite Ultimo che con il Metodo n e permette inoltre di tracciare il domino M-N.

Per l'elaborazione dei dati di input/output in generale e la creazione di tabelle riepilogative, si adottano procedure opportunamente implementate in fogli elettronici **Microsoft® Office Excel 2016**. La descrizione delle modalità operative dei singoli fogli di calcolo verranno presentate di volta in volta.

1.7 CONVENZIONI GENERALI

1.7.1 UNITÀ DI MISURA

Salvo ove diversamente specificato, le unità di misura sono quelle relative al Sistema Internazionale, ovvero:

Lunghezze:	[m]
Forze:	[kN]
Tensioni:	[MPa]

Per quanto riguarda le convenzioni di segno, si considerano, in generale, positive le trazioni.

Convenzioni specifiche verranno riportate nel prosieguo della presente relazione.

Per quanto riguarda le azioni interne, salvo diversamente specificato, si indicherà con:

Fx: azione assiale;

Fy azione tagliante agente nel piano della sezione trasversale;

Mz momento flettente agente nel piano della sezione trasversale.

2. IMPOSTAZIONI GENERALI DELLE ANALISI STRUTTURALI

2.1 ANALISI globale impalcato

2.1.1 MODELLAZIONE STRUTTURALE

Per la descrizione del modello struttura si faccia riferimento al tabulato di calcolo allegato.

2.1.2 SEZIONI DI VERIFICA

Proprietà geometrico-statiche, elastiche e plastiche

Si riportano di seguito le proprietà geometrico-statiche, elastiche e plastiche delle sezioni in acciaio delle travi principali e dei traversi irrigiditori.

Diametro interno	Spessore	Massa a ml	Area della sezione	Momento d'inerzia	Raggio d'inerzia	Modulo di resistenza elastico	Modulo di resistenza plastico	Momento d'inerzia di torsione	Costante di torsione	Superficie esterna a ml	Lunghezza per ton
D mm	t mm	M kg/m	A cm ²	I cm ⁴	i cm	W _{el} cm ³	W _{pl} cm ³	I _t cm ⁴	C _t cm ³	m ² /m	m/t
193,7	6,0	27,8	35,4	1560	6,64	161	211	3119	322	0,609	36,0

2.1.3 METODOLOGIA DI VERIFICA

Le verifiche sono effettuate nell'ambito del metodo semiprobabilistico agli stati limite, secondo quanto specificato nelle normative prese a riferimento.

Sono stati progettati gli elementi in cls secondo il DM188 ed effettuate le verifiche a:

- Pressoflessione;
- Taglio;
- Instabilità.

2.2 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni (cap.2.5.3 delle NTC2018).

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

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

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

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

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

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

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

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

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

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

Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto:

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

2.3 COEFFICIENTI PARZIALI DI SICUREZZA E COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE

I coefficienti parziali di sicurezza γ_G e γ_Q sono dati nelle tabelle 2.6.I e 5.1.V delle NTC2018.

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

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Figura 2.3-1. Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU (Tab.2.6.I delle NTC2018)

Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Figura 2.3-2. Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU (Tab.5.1.V delle NTC2018)

I valori dei coefficienti di combinazione γ_0 , γ_1 e γ_2 sono riportati nelle tabelle 2.5.I e 5.1.VI delle NTC2018.

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Figura 2.3-3. Valori dei coefficienti di combinazione (Tab.2.5.I delle NTC2018)

3. ANALISI DEI CARICHI

3.1 PREMESSA

Di seguito si riportano in dettaglio i vari contributi di carico considerati nell'analisi strutturale.

3.2 CARICHI TRASMESSI DAL PONTE

Per il dimensionamento e progettazione delle spalle e delle fondazioni si sono considerati le seguenti azioni trasmesse dall'impalcato:

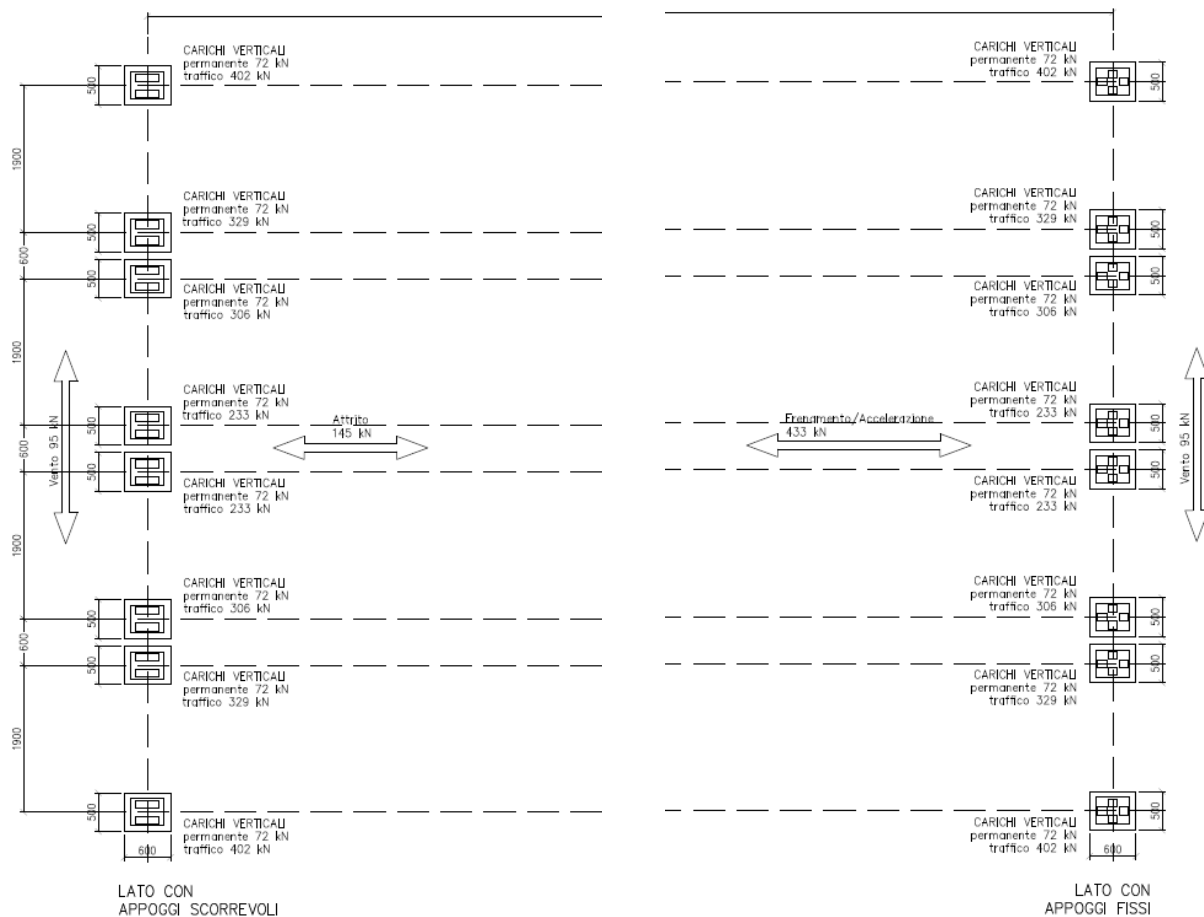


Figura 3.2-1. Valori azioni trasmesse dall'impalcato

3.2.1 AZIONI PERMANENTI

Il peso degli elementi strutturali è conteggiato in riferimento al loro peso specifico. Si è effettuato il calcolo dei pesi propri degli elementi strutturali in funzione dei pesi specifici dei diversi materiali e dei volumi.

Si è considerato una somma di pesi propri di impalcato e carico permanente di 72 kN/appoggio x 8 = 576 kN/spalla.

3.2.2 VARIAZIONI TERMICHE

Il ponte ha uno schema isostatico di trave cerniera-carrello per cui le variazioni termiche non apportano sollecitazioni sulla struttura fondazionale.

3.2.3 AZIONE DELLA NEVE

Le azioni dovute alla neve trasmesse dalla sovrastruttura alle fondazioni sono state ricavate dal modello di calcolo del ponte utilizzato per il dimensionamento delle fondazioni.

L'azione massima dovuta alla neve vale 265 kN per spalla.

3.2.4 AZIONE DA TRAFFICO VEICOLARE

Le azioni dovute al traffico veicolare trasmesse dalla sovrastruttura alle fondazioni sono state ricavate dal modello di calcolo del ponte.

Si è considerato una somma di azioni dovute al traffico di 2540 kN/spalla.

3.2.5 AZIONE DA FRENAMENTO

Le azioni dovute alla neve trasmesse dalla sovrastruttura alle fondazioni sono state ricavate dal modello di calcolo del ponte utilizzato per il dimensionamento delle fondazioni.

La massima azione di frenamento vale 433 kN.

3.2.6 AZIONE SISMICA

Le azioni dovute alla neve trasmesse dalla sovrastruttura alle fondazioni sono state ricavate dal modello di calcolo del ponte utilizzato per il dimensionamento delle fondazioni.

La massima azione dovuta al sisma vale 312 kN per spalla.

3.2.7 RESISTENZE PASSIVE DEI VINCOLI

Le azioni dovute alle resistenze passive dei vincoli trasmesse dalla sovrastruttura alle fondazioni sono state ricavate dal modello di calcolo del ponte.

La massima azione dovuta all'attrito vale 145 kN.

4. ANALISI FONDAZIONI

4.1 ANALISI STRUTTURALE

4.1.1 MODELLO FEM

Per l'analisi strutturale si considera il seguente modello di muro su micropali:

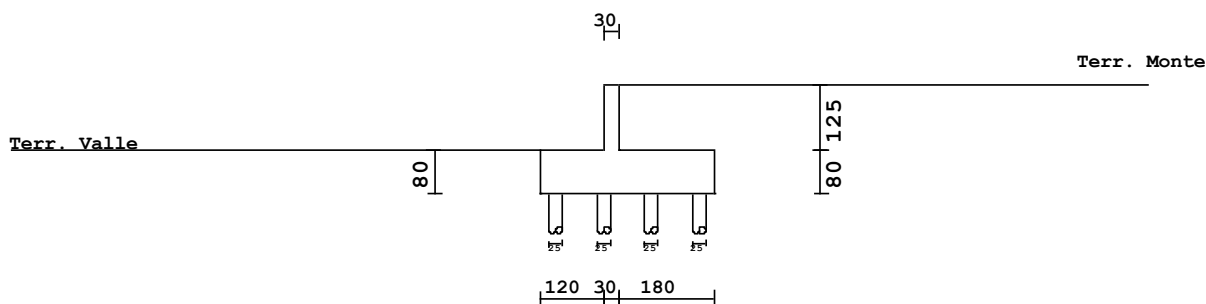


Figura 2 - Modello di calcolo

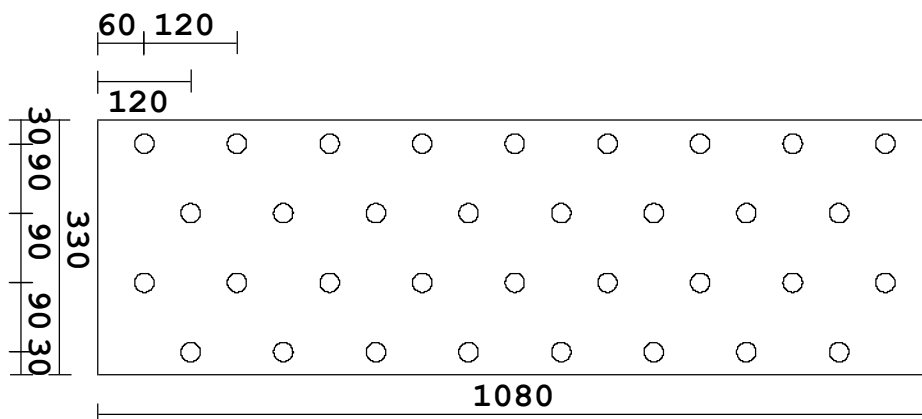


Figura 3 - Modello di calcolo

4.1.2 ANALISI DEL MODELLO

Nell'analisi sono state opportunamente definite le combinazioni di carico descritte al § 2.4, utilizzando i coefficienti di combinazione previsti dalla Norma. Il software fornisce gli involuipi delle sollecitazioni delle diverse combinazioni di carico, in modo da dare in output direttamente i valori massimi e minimi dell'azione tagliante e del momento flettente per ogni elemento del modello.

4.1.3 COMBINAZIONI DI CARICO

Si rinvia al tabulato di calcolo allegato.

4.2 RISULTATI DELLA ANALISI

Si riportano a seguire i diagrammi del momento flettente, del taglio e dello sforzo normale agenti sul muro:

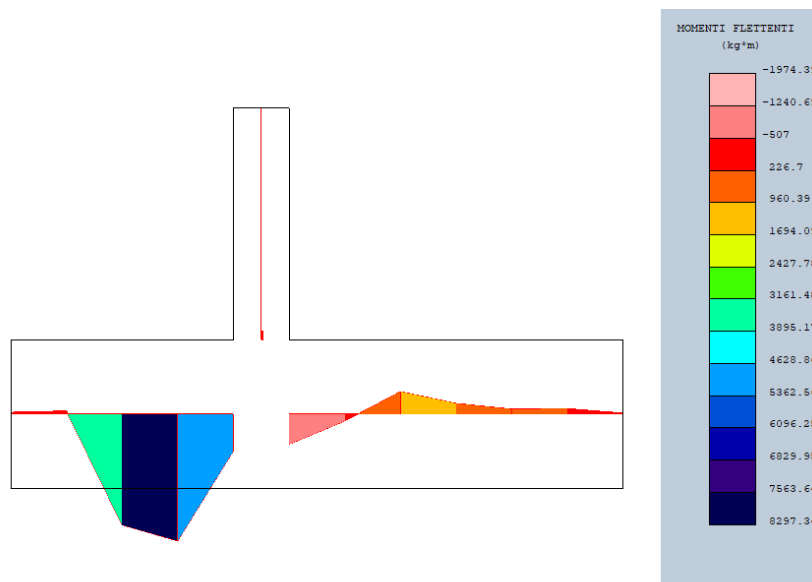


Figura 4 - Momento flettente combinazione 1

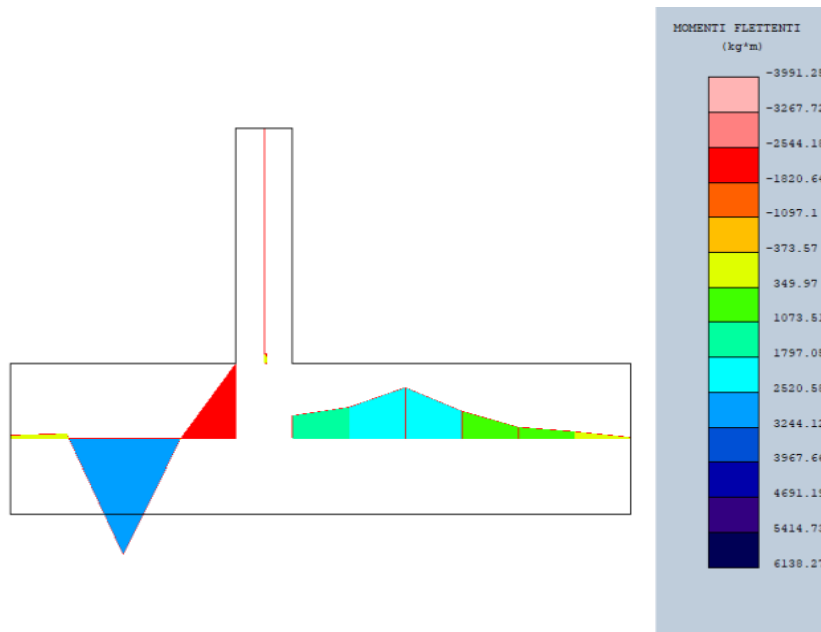


Figura 5 - Momento flettente combinazione 2

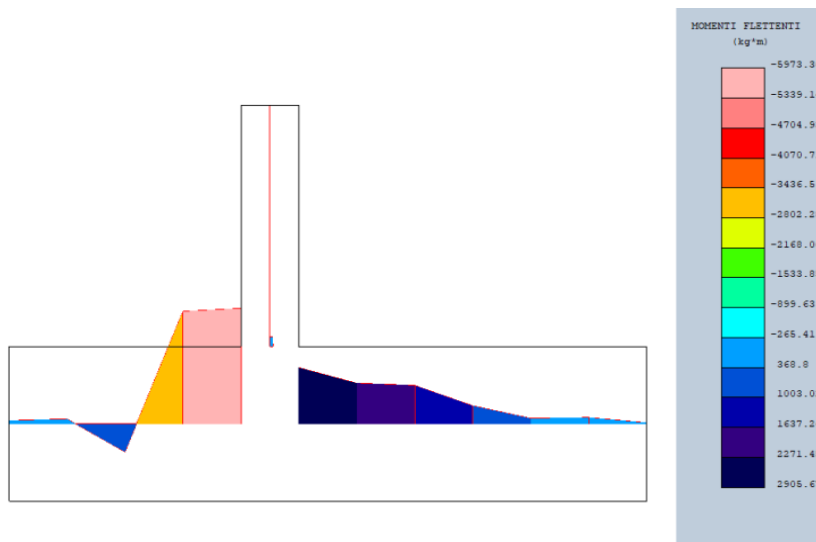


Figura 6 - Momento flettente combinazione 3

4.3 CALCOLO DEI CEDIMENTI DEI PALI

Per il calcolo del cedimento dei pali si utilizza il metodo analitico approssimato¹ considerando l'effetto di gruppo attraverso il metodo del palo equivalente proposto da Poulos e Davis (1980)².

Si riporta la sintesi del calcolo eseguito:

Calcolo palo equivalente		
A_g	cm ²	356400
A_p	cm ²	266,2
E_p	kg/cm ²	300000
E	kg/cm ²	100
d_e	cm	674,6
E_{equ}	kg/cm ²	324,0
Calcolo cedimento palo in		
r_0	cm	12,5
L_p	cm	2000
v	-	0,5
G_L	kg/cm ²	33,3
G_b	kg/cm ²	33,3
G	kg/cm ²	33,3
ξ	-	1
ρ	-	1
\square	-	1
\square	-	9000
\square	-	5,30
\square_L	-	1,036
Q	kg	20000
w	cm	0,33

il valore di cedimento ottenuto viene confrontato con i valori di cedimenti ammissibili riportati in letteratura e sintetizzati nel seguente specchietto:

¹ C. Viggiani – Fondazioni – Hevelius Ed. – pagg. 423-425

² C. Viggiani – Fondazioni – Hevelius Ed. – pag. 433

Tipo di struttura	Danno/rischio	Criterio	Valore limite
Ponti in generale	Difficoltà dei veicoli nel transito Dissesti strutturali Funzionalità	Cedimento totale Cedimento totale Spostamenti orizzontali	100 mm 65 mm 40 mm

La verifica è soddisfatta.