



**ORDINE DEGLI  
INGEGNERI**  
DELLA PROVINCIA  
DI CASERTA

in collaborazione con

**Agenda Tecnica**  
informazione tecnico-scientifica



# Ponti, viadotti e gallerie esistenti.

**Linee Guida, PNRR, gestione del rischio, controlli e monitoraggi strutturali,  
tecnologie di riqualificazione**

**CASERTA – 12 maggio 2023**

**Partner tecnico**



**Patrocini**



---

# Progetto di adeguamento alle NTC 2018 del viadotto Calata San Domenico A56 - Tangenziale di Napoli S.p.a.

Opera con impalcato in c.a.p.

Relatore: ing. Umberto Mele  
Tecne – Autostrade per l'Italia



---

# Indice

- Descrizione del viadotto «Calata San Domenico»
- Analisi storico critica e Stato di conservazione
- Indagini strutturali
- Valutazione Accurata di Livello 4 (VAL 4)
- Progetto di adeguamento

# Viadotto “Calata San Domenico”

Il viadotto “Calata San Domenico”, aperto al traffico nel 1973, planimetricamente si presenta prevalentemente in rettilineo ad eccezione delle prime tre campate dove il raggio di curvatura planimetrico medio è di circa 350m.

Ciascuna carreggiata ospita tre corsie stradali (senza emergenza).

L’opera è costituita da due viadotti paralleli composti ciascuno da n.10 campate di lunghezza variabile da 20,0m a 33,1m per una lunghezza complessiva pari a circa 235÷240m.



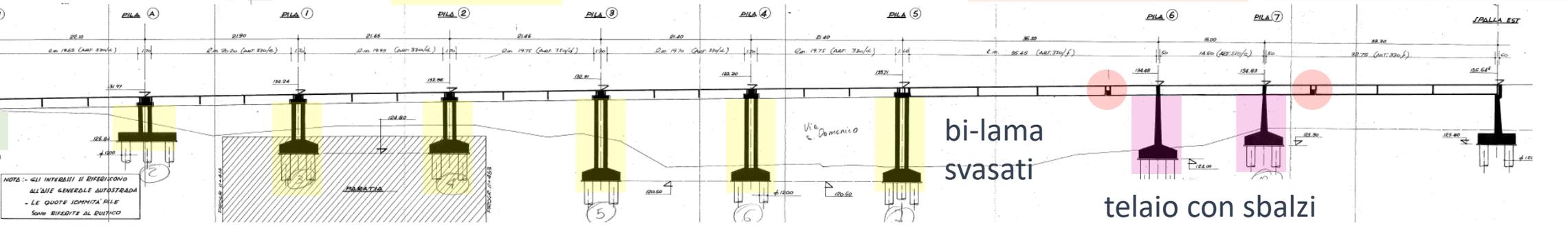
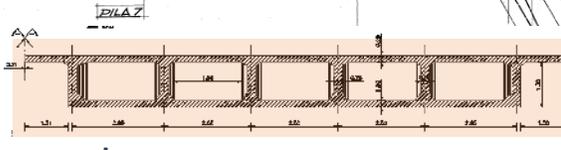
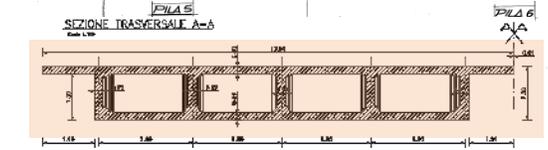
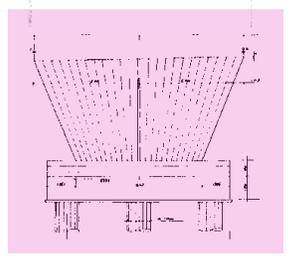
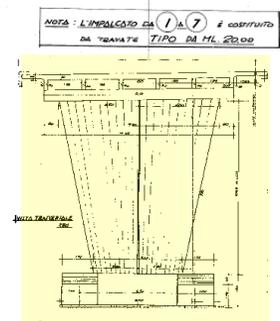
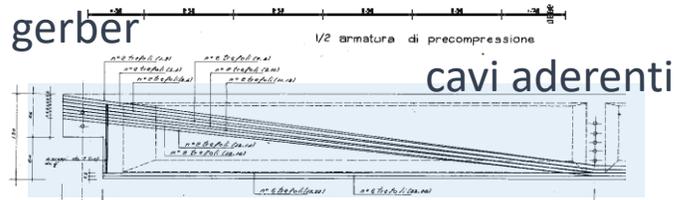
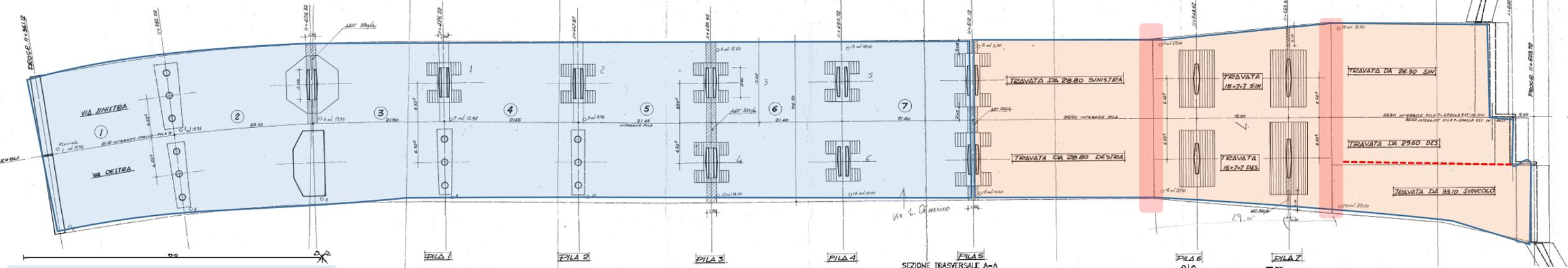
# Vista planimetrica



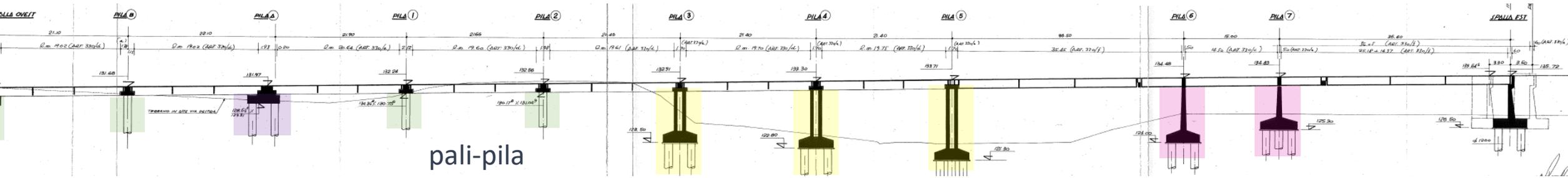
# Descrizione

## grigliati aperti (7x20m)

## scatolari chiusi



NOTE: - GLI INTERESSI SI RIFERISCONO ALL'ALTEZZA GENERALE AUTOSTRADA - LE QUOTE INDICATE SOTTO SONO RIFERITE AL DATUM



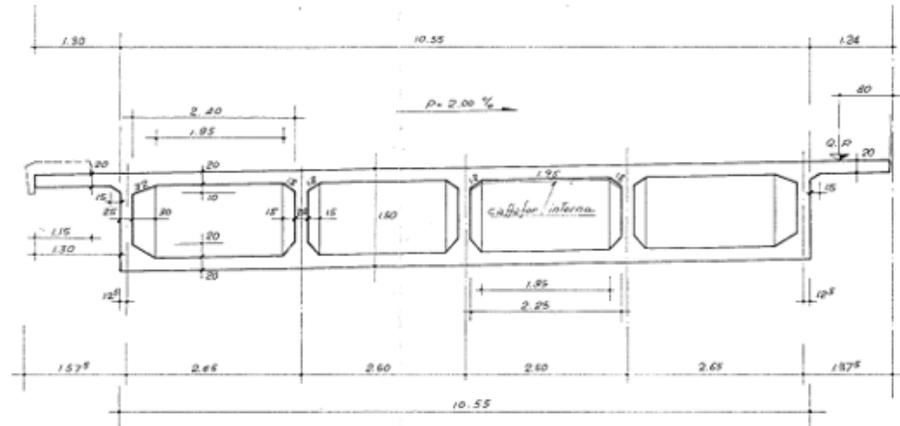
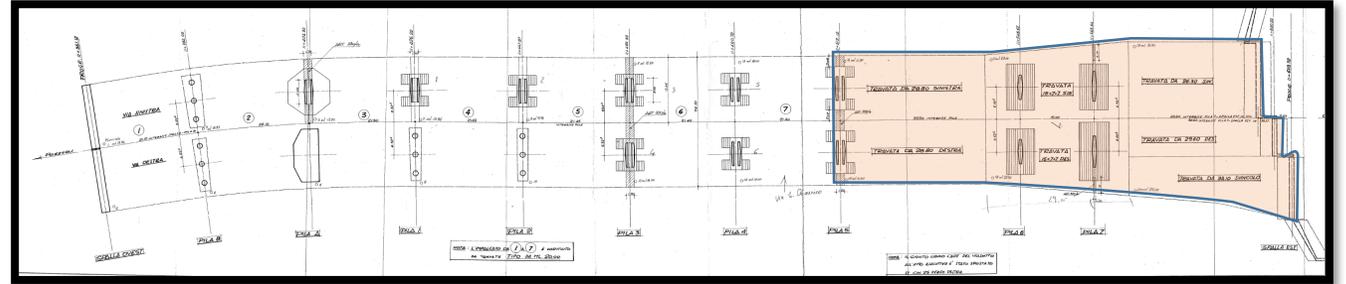
## pali-pila



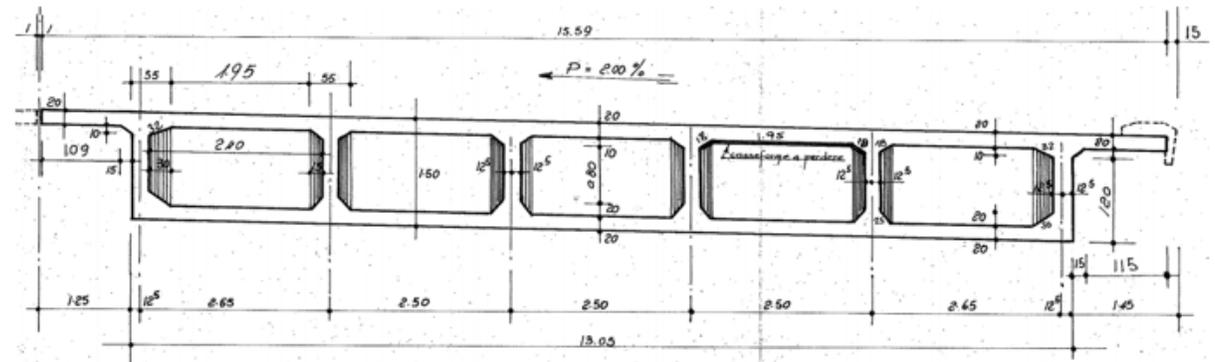
Le rimanenti tre campate (da 8 a 10) sono realizzate con impalcati scatolari in C.A.P., con schema di travata *Gerber* con luci variabili (36.5m+15m+var.).

La campata 9 da 15m, ha uno schema continuo con due aggetti di ~7m alla cui estremità sono poste le selle Gerber.

La sezione di impalcato ha un ingombro trasversale variabile 13.24÷15.59m (carreggiata sx) e 13.24÷17.08m (carreggiata dx).



sezione trasversale campata 8, cassone da 28m

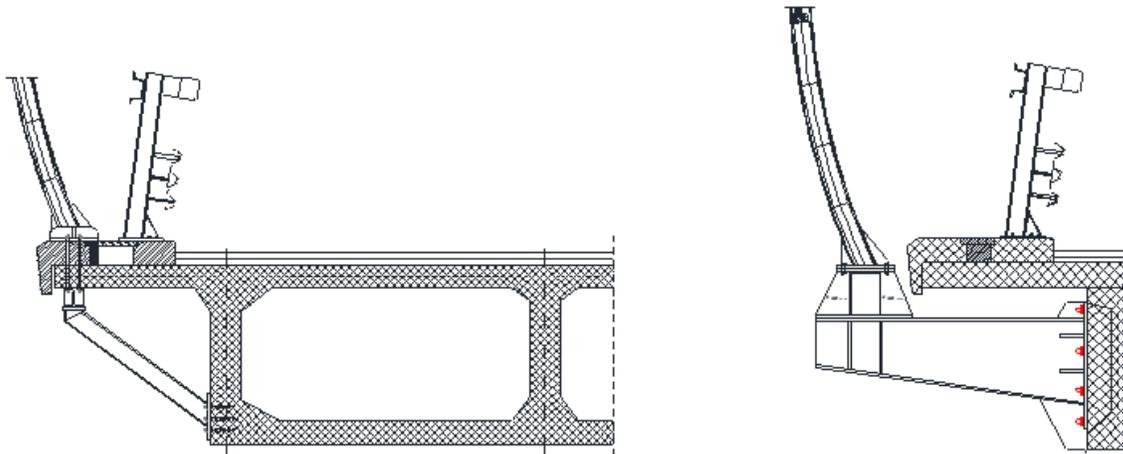


sezione trasversale campata 10, cassone da 26.3m



# Barriere fonoassorbenti

Su entrambe le carreggiate sono presenti delle FOA, ancorate agli impalcati con opportune strutture metalliche, con geometrie diverse per risolvere le interferenze degli ancoraggi con le armature.

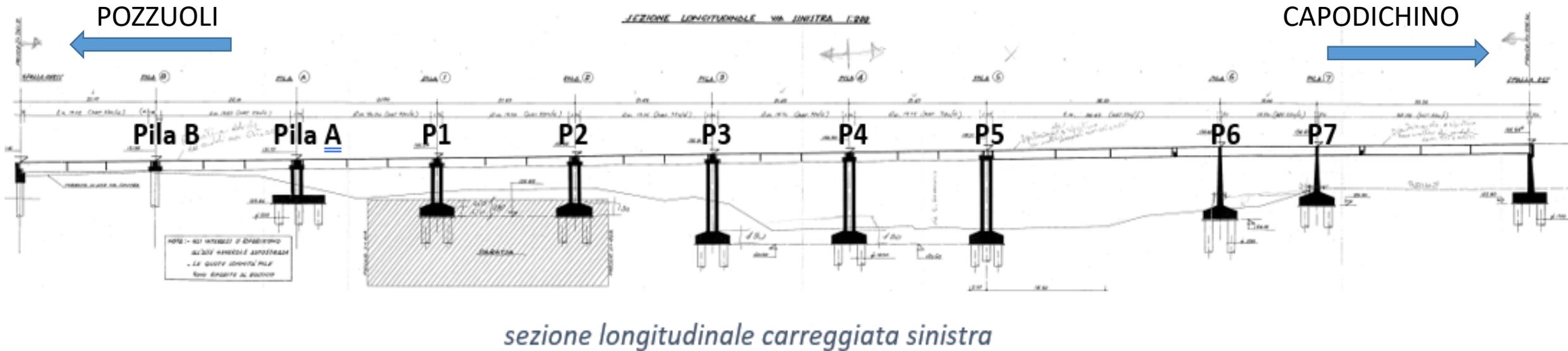


*installazioni tipo delle barriere fonoassorbenti, sugli scatolari (sx) e sulle travi (dx)*

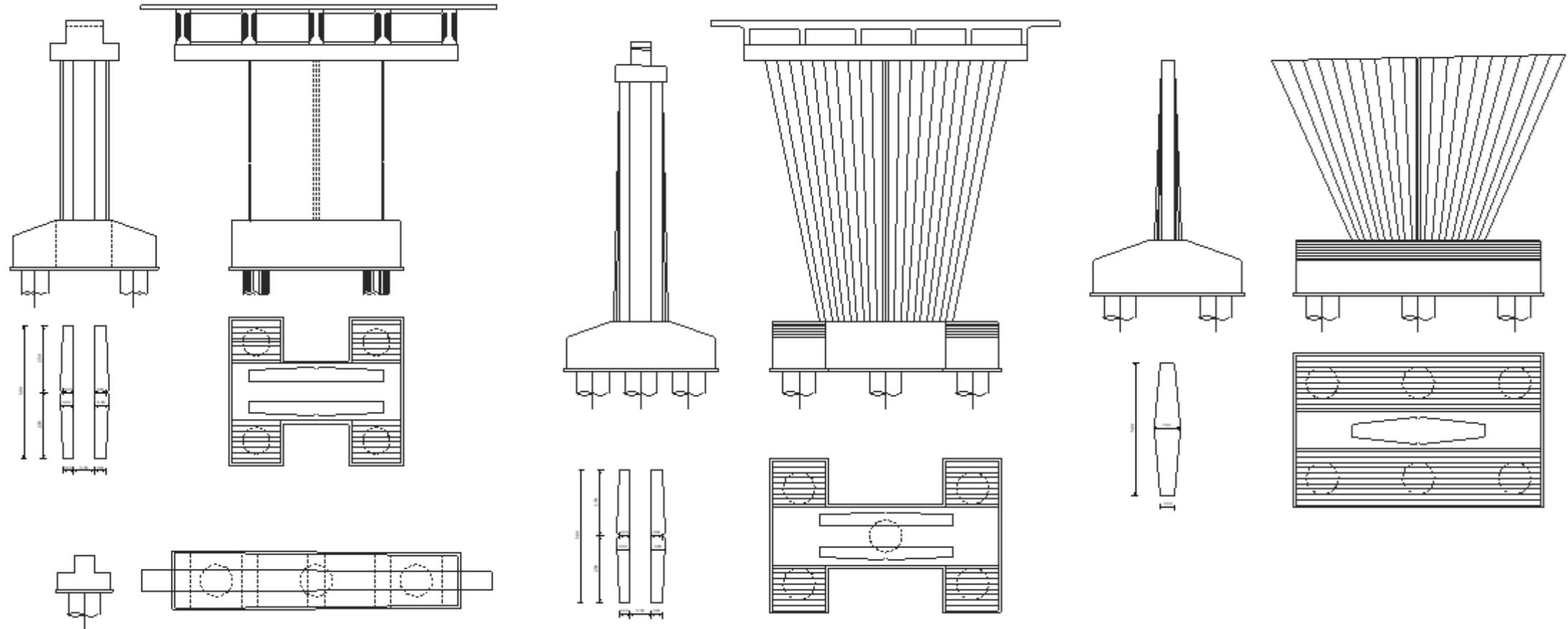


# Sottostrutture

Le sottostrutture dell'opera sono piuttosto variegata come tipologie, molto irregolari nelle altezze e nel numero di pali per fondazione

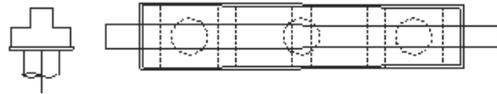


# Tipologia pile

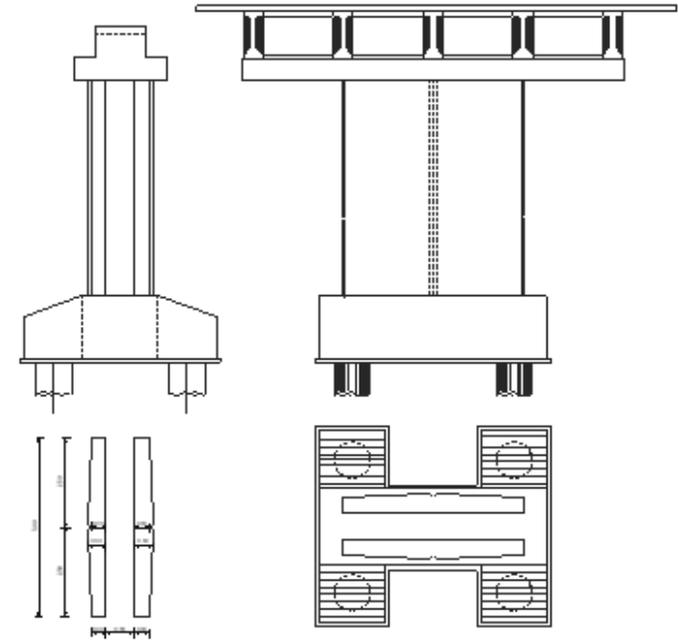


Lato Pozzuoli, spalle e pile A/B/1/2 destra e B sinistra sono prive di elevazioni o di fusti, e sono realizzate con pulvini direttamente poggiati su tre pali completamente interrati.

Ciò implica una significativa differenza di quota tra le fondazioni della pila A/1/2 tra carreggiata destra e sinistra.

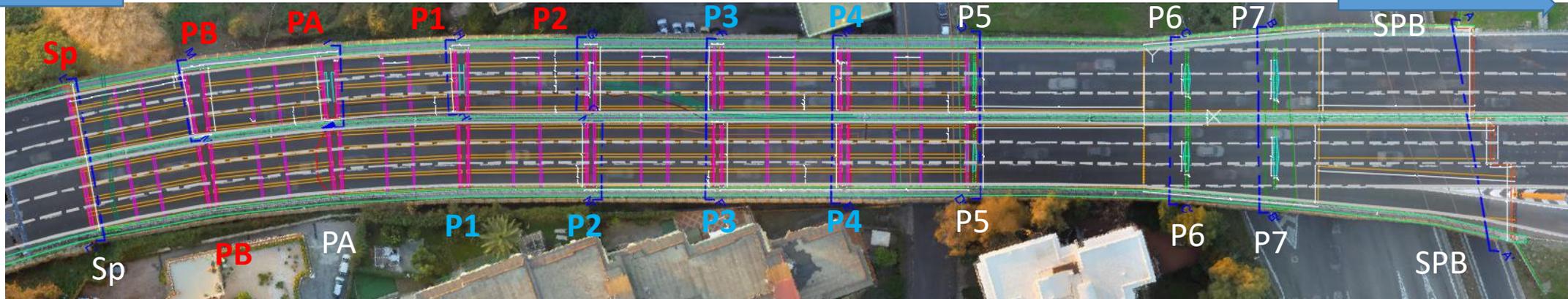


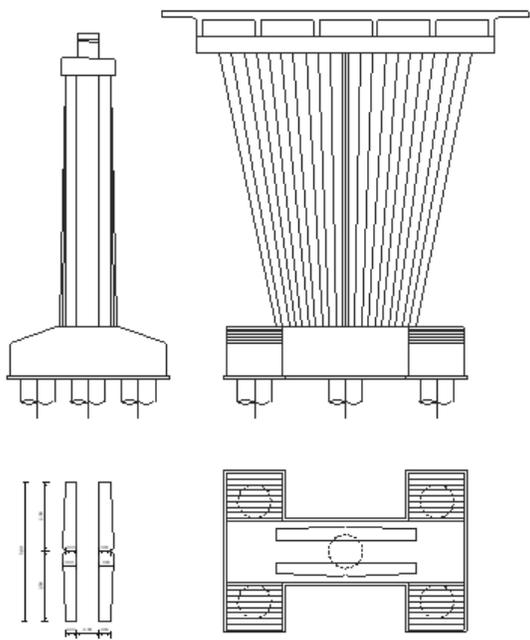
La pile 3/4 destra e 1/2/3/4 sinistra, sono realizzate con due fusti omogenei quasi rettangolari (5m × ~0.45m) di altezza compresa tra i 4.5m e i 9.4m, fondate su plinti a quattro pali.



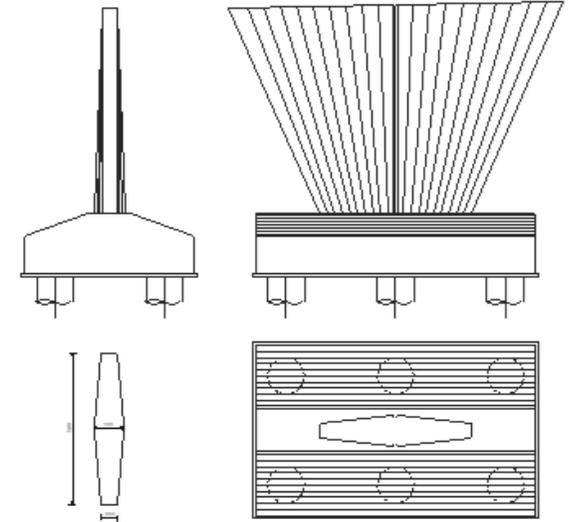
POZZUOLI

CAPODICHINO





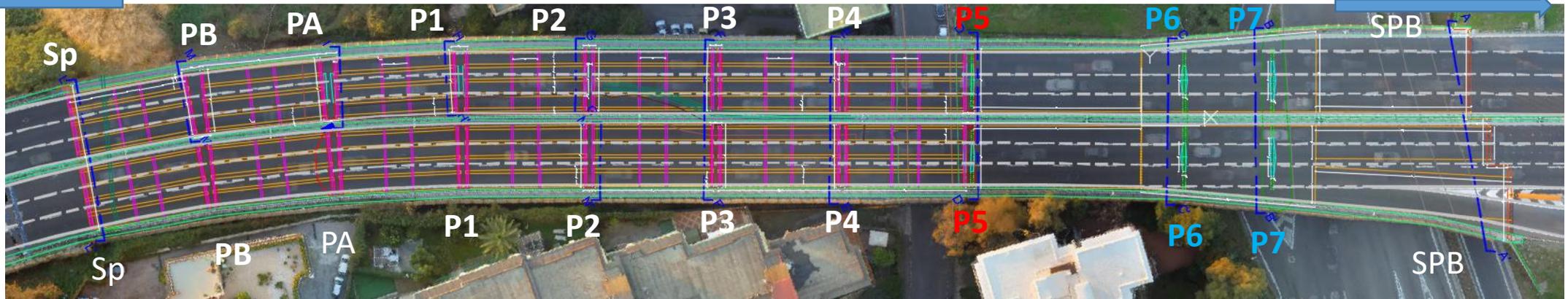
La pila P5 di entrambe le carreggiate è di transizione tra i graticci di travi (campata 7) e gli impalcati scatolari (campata 8). È realizzata con due fusti quasi rettangolari di larghezza variabile con l'altezza (da  $5\text{m} \times \sim 0.45\text{m}$  alla base a  $9\text{m} \times 0.4\text{m}$  in testa), hanno altezza da  $9\text{m} \div 9.8\text{m}$  ed entrambe sono fondate su plinti a 5 pali.



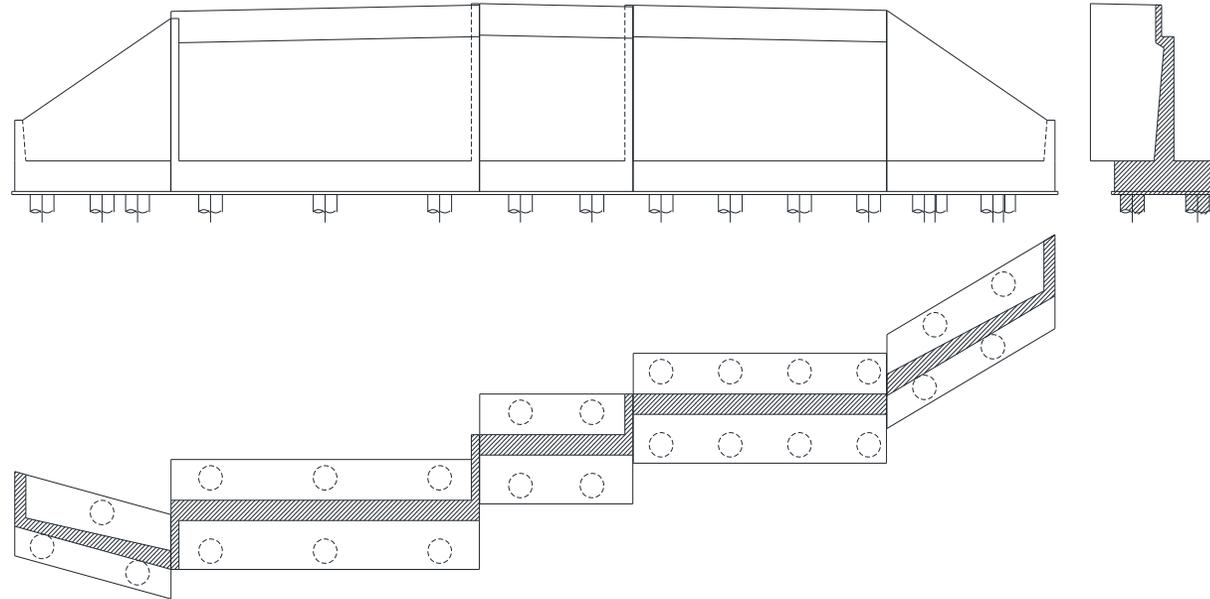
Le pile P6 e P7 di entrambe le carreggiate sono pile a singola lama con una larghezza variabile (da  $5\text{m} \times 1\text{m}$  alla base a  $11\text{m} \times 0.5\text{m}$  in testa), entrambe sono fondate su plinti a 6 pali, eccetto la P7 della carreggiata destra che ha 8 pali. Tutti i pali hanno diametro  $\varnothing 1200$ , con lunghezze che vanno da 20m a 40m.

POZZUOLI ←

→ CAPODICHINO

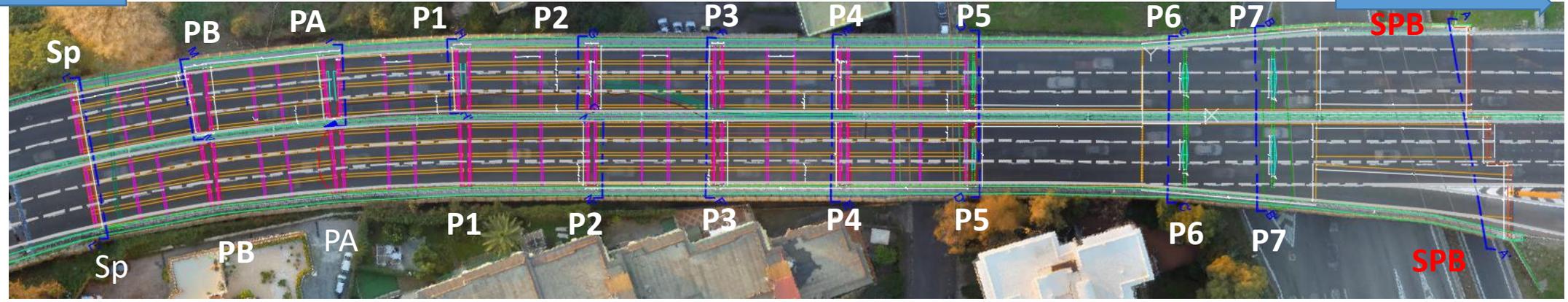


# Spalla lato Capodichino



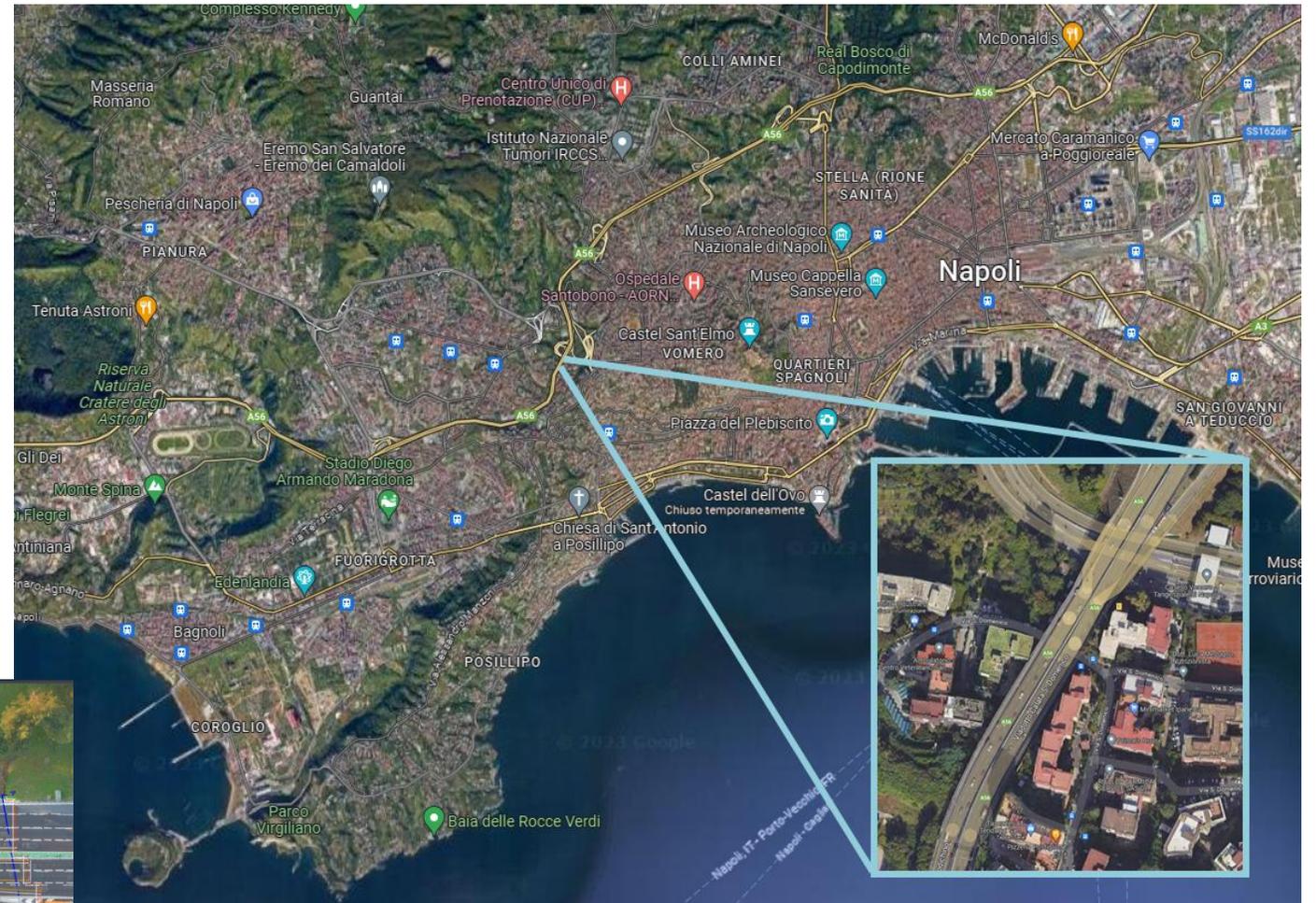
POZZUOLI ←

→ CAPODICHINO

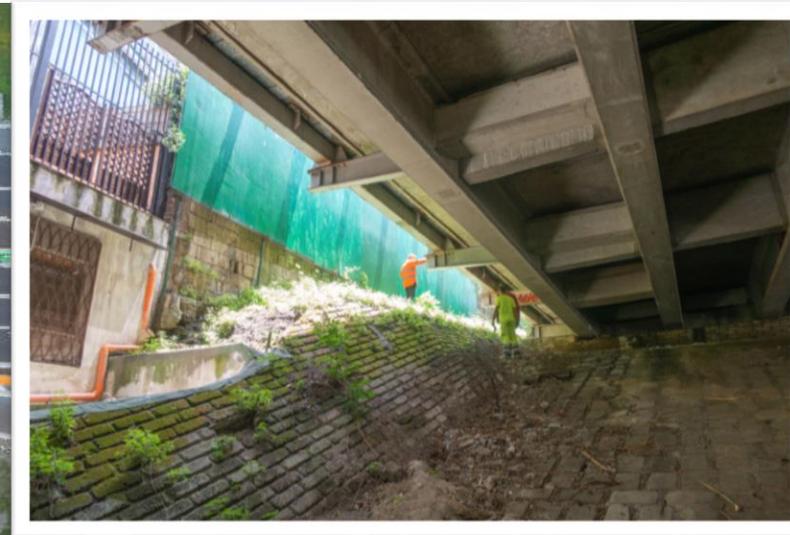
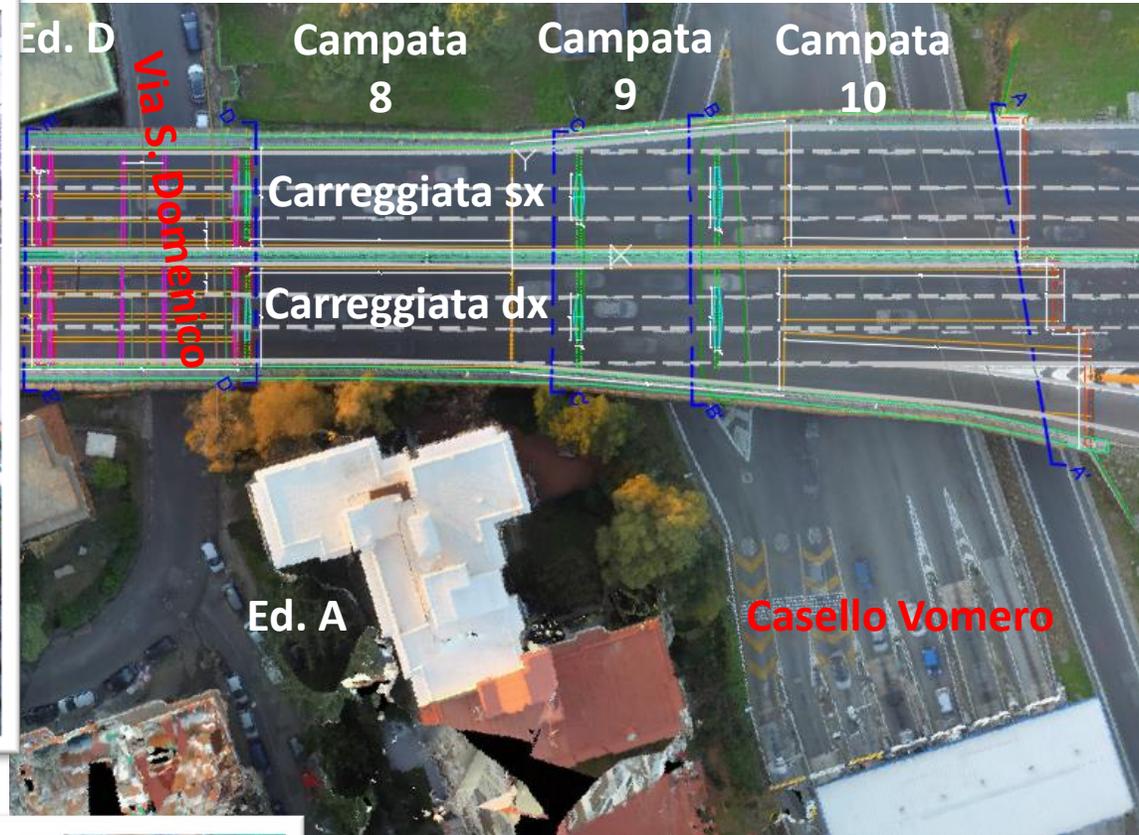


L'opera ricade nel comune di Napoli, il sito è posto in ambito urbano fortemente antropizzato.

Con riferimento alla figura seguente, si identificano la strada di accesso al casello del Vomero sotto campata 10, la strada di servizio sotto campata 9, un ampio piazzale accessibile sotto campata 8, via San Domenico sotto campata 7, gli edifici in adiacenza alle campate 6 e 8.



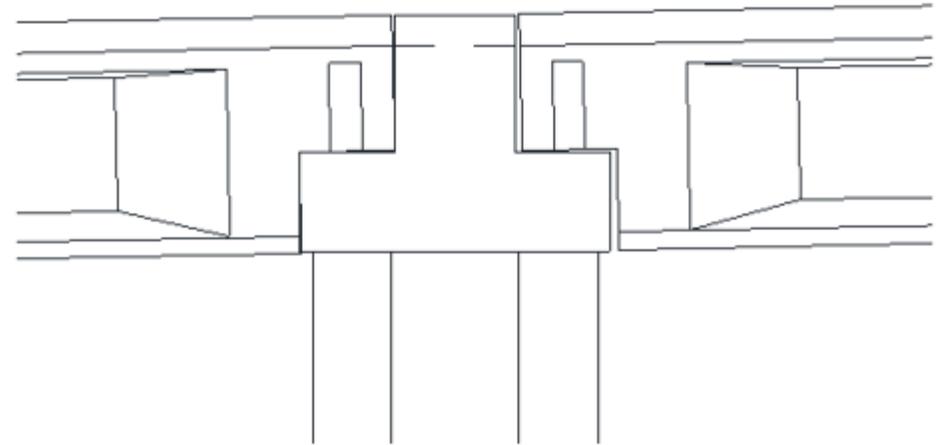
**Casello Vomero**



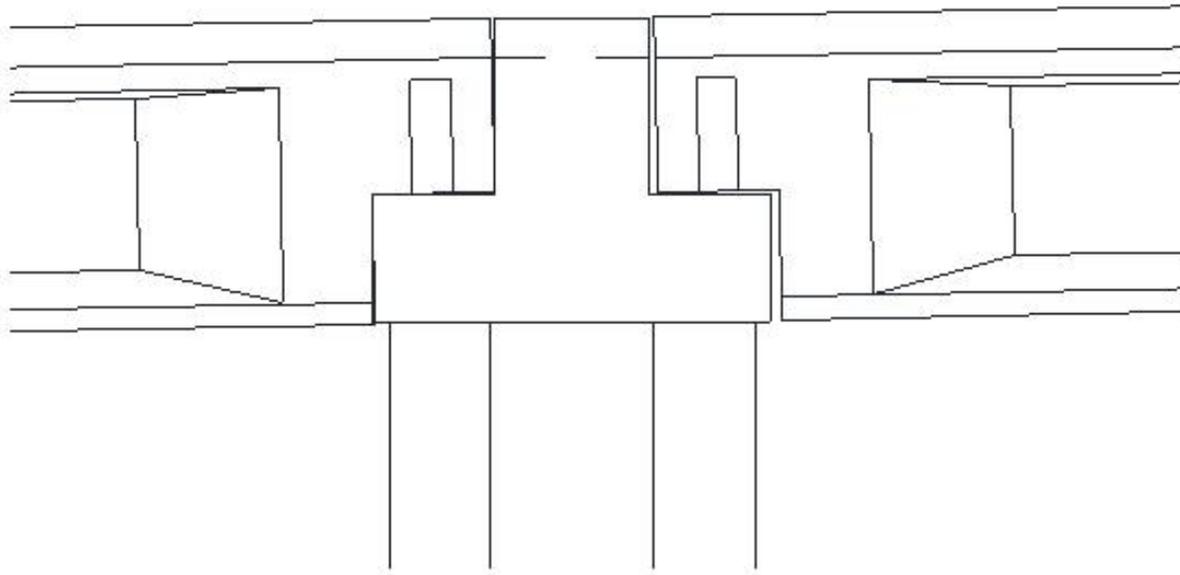
# Verifica dello stato di fatto (VAL4)

## Analisi storica critica:

- Gli elaborati grafici di progetto di primo impianto sono del 1969, l'opera è stata aperta al traffico nel 1973.
- Il progetto ricade nel periodo di validità delle “*norme relative ai carichi per il calcolo dei ponti stradali*” D.M. LL.PP. 14.02.1962 n.368. Non essendo disponibili le relazioni di calcolo originali, non è possibile conoscere i livelli di sicurezza originali dell'opera o eventuali ipotesi progettuali.
- Nel confronto tra i carichi di esercizio del DM62 e la normativa tecnica odierna ([NTC]), si evidenzia che c'è un generale aggravio dei sovraccarichi stradali soprattutto per le campate di lunghezza minore.
- L'opera non fu progettata per carichi sismici, infatti, dai dettagli costruttivi, ad esempio con riferimento alle carpenterie dei pulvini, si evidenzia come allo stato di fatto si potrebbero innescare fenomeni di martellamento.



# Verifica dello stato di fatto (VAL4)



Pulvini pile da 1 -7

---

# Verifica dello stato di fatto (VAL4)

## Analisi storica critica:

- Le fondazioni sono state progettate con i criteri dell'epoca, probabilmente con carichi orizzontali relativi solo all'esercizio (molto bassi), quindi, esse risultano largamente insufficienti a trasferire al terreno le forze di inerzia che si sviluppano in elevazione. Il sito in oggetto ha una pga di 0.3g, corrispondente ad un periodo di ritorno di 950 anni (SLV, 10% di prob. di superamento in 100 anni).
- L'opera non è progettata secondo i moderni dettami di durabilità ed ispezionabilità, con particolare riferimento alle selle Gerber, alle testate di precompressione (sia sul retrotrave sia in soletta), ai dispositivi di appoggio. Questi ultimi non risultano agevolmente sostituibili con dispositivi moderni, mancando i punti di sollevamento.
- Nel 2008 furono installate le barriere fonoassorbenti, con introduzione di carpenterie metalliche e ringrossi di alcuni traversi.

# Verifica dello stato di fatto (VAL4)

## Stato di conservazione

- Dall'esame visivo dell'opera in oggetto, relativamente alle superfici esterne di calcestruzzo degli impalcati e delle sottostrutture, emerge un normale stato di conservazione senza evidenti segni di degrado per tutti i punti che non sono interessati da fenomeni di percolazione delle acque meteoriche derivanti dalla piattaforma attraverso i giunti.
- Al contrario, evidenti stati di degrado interessano in maniera sistematica le selle Gerber nella zona di bordo degli impalcati a cassone. Gli effetti nocivi della percolazione risultano molto evidenti anche nella zona di intervista.
- L'ispezione dell'interno del cassone della campata 8 ha rivelato: (a) un normale stato di conservazione delle membrature del cassone, (b) un sistematico sfondellamento dei laterizi impiegati per il getto della soletta superiore A causa del dislivello tra la strada sotto la campata 7 e il piazzale sotto la campata 8, i plinti della pila P7 sono esposti fuori terra.

# Verifica dello stato di fatto (VAL4)

## Stato di conservazione

### SCHEDE ISPETTIVE

Tronco: Tangenziale di Napoli S.p.A    Autostrada: A56 - Tangenziale di Napoli    Tratto: Tutta la tangenziale  
Opera: 01.01.0066.0.0    Viadotto    Carreggiata: Entrambe  
Trimestre: T1/2022    Viadotto Calata S. Domenico    Progressiva: 12+366

#### CAMPATA: 9

Parte d'opera	Localizzazione	Classe	Livello difettosità
FONDAZIONI	-	-	-
SPALLE	-	-	-
PILE	Pila 9 - Carreggiata Ovest - Lato campata 8	C1	MEDIO - BASSA
ARCHI	-	-	-
IMPALCATI	Sbalzo Giunto Long. tra Carreggiata Ovest ed Est - Campata 9	B4	MEDIO - BASSA
FILE APPOGGI	-	-	-
GIUNTI	Giunto Longitudinale - Campata 9	C1	MEDIO - BASSA
APPARECCHI SISMICI	-	-	-

CAMPATA: 10

#### CAMPATA: 10

Parte d'opera	Localizzazione	Classe	Livello difettosità
FONDAZIONI	-	-	-
SPALLE	Spalla 2-1 - Carreggiata Ovest	C1	MEDIO - BASSA
PILE	-	-	-
ARCHI	-	-	-
IMPALCATI	Sbalzo Giunto Long. tra Carreggiata Ovest ed Est - Campata 10	B3	MEDIA
FILE APPOGGI	-	-	-
GIUNTI	Giunto Longitudinale - Campata 10	C1	MEDIO - BASSA
APPARECCHI SISMICI	-	-	-

# Verifica dello stato di fatto (VAL4)

## Stato di conservazione

CAMPAGNA INDAGINI 2020-2021

- circa 130 prelievi di carote di cls e 15 di barre d'armatura lenta.
- numerosi controlli pacometrici (55), prove sonreb (52), prove di carbonatazione (20) e di potenziale di corrosione (19).
- rilievo georadar delle armature di precompressione sia sugli impalcati a cassone (cavi scorrevoli) sia sulle travi in C.A.P. (cavi aderenti)
- sondaggi localizzati sui cavi scorrevoli con apertura delle guaine ed ispezione diretta.
- 5 prove di carico (campata 4, 8, 10, 8-10 della carreggiata sinistra e campata 5 della carreggiata destra) eseguite a gennaio 2021.

# Verifica dello stato di fatto (VAL4)

## Campagna Indagini 2020-2021 (Indagini visive)



---

# Verifica dello stato di fatto (VAL4)

## Campagna Indagini 2020-2021 (Indagini visive)



# Verifica dello stato di fatto (VAL4)

## Campagna Indagini 2020-2021 (Indagini visive)



---

# Verifica dello stato di fatto (VAL4)

## Campagna Indagini 2020-2021 (Indagini visive)



# Verifica dello stato di fatto (VAL4)

## Caratterizzazione dei materiali



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti  
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

LINEE GUIDA PER  
LA CLASSIFICAZIONE E GESTIONE DEL RISCHIO,  
LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA  
ED IL MONITORAGGIO DEI PONTI ESISTENTI

Allegate al parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n.88/2019,  
espresso in modalità "agile" a distanza dall'Assemblea Generale in data 17.04.2020.

In accordo con [LG] §6.3.4, dato un campione di numerosità  $n$  di indagini sperimentali per materiali ritenuti omogenei, si adottano le seguenti espressioni per le proprietà meccaniche da assumere in verifica:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_i \ln(x_i) \quad \text{media logaritmica della resistenza}$$

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \sum_i [\ln(x_i) - \mu]^2 \quad \text{deviazione standard logaritmica della resistenza}$$

$$f_{m,16\%} = \exp(\mu - \sigma/\sqrt{n}) \quad \text{resistenza media ("mediana" corretta)}$$

$$f_{k,5\%} = \exp(\mu - \sigma/\sqrt{n} - 1.645\sigma) \quad \text{resistenza frattile 5\%}$$

$$f_d = \min(f_m/\gamma, f_k) / FC \quad \text{resistenza di progetto}$$

# Verifica dello stato di fatto (VAL4)

## Caratterizzazione dei materiali

Data la numerosità dei campioni, si assume un fattore di confidenza unitario (FC=1) per tutte le proprietà meccaniche ad eccezione dell'acciaio armonico relativo agli impalcati a cassone a cavi scorrevoli ed agli acciai armonici o ordinari delle selle Gerber, per i quali si assume un fattore di confidenza FC=1.20

Nello spirito delle [LG], si adotta la seguente espressione per ricavare la resistenza a trazione di progetto dei cls, utile in alcune verifiche (ad es. precompresso o taglio).

$$f_{ctd} = 0.3 \min(f_m/\gamma, f_k)^{2/3} / (FC \gamma) \quad \text{resistenza a trazione di progetto}$$

$$\sqrt{f_{ck}} = \min(f_m/\gamma, f_k)^{1/2} \quad \text{resistenza a per verifiche a taglio}$$

# Verifica dello stato di fatto (VAL4)

## Caratterizzazione dei materiali

### Calcestruzzo solette ed impalcati a cassone

I valori di progetto della resistenza cilindrica del cls (MPa) sono:

n	$\mu$	$\sigma$	FC	$f_{m16\%}$	$f_{k5\%}$	$\gamma_m$	fd	0.85fd	fctd	$\sqrt{f_{ck}}$	scenario
92	3.328	0.228	1.0	27.23	18.72	1.50	18.15	15.43	1.38	4.26	adeguato
						1.26	18.72	15.91	1.68	4.33	operativo

e nel caso delle selle Gerber:

n	$\mu$	$\sigma$	FC	$f_{m16\%}$	$f_{k5\%}$	$\gamma_m$	fd	0.85fd	fctd	$\sqrt{f_{ck}}$	scenario
92	3.328	0.228	1.2	27.23	18.72	1.50	15.13	12.86	1.15	4.26	adeguato
						1.26	15.60	13.26	1.40	4.33	operativo

### Calcestruzzo travi in C.A.P.

I valori di progetto della resistenza cilindrica del cls (MPa) sono:

n	$\mu$	$\sigma$	FC	$f_{m16\%}$	$f_{k5\%}$	$\gamma_m$	fd	0.85fd	fctd	$\sqrt{f_{ck}}$	scenario
5	3.527	0.188	1.0	31.29	22.98	1.50	20.86	17.73	1.52	4.57	adeguato
						1.26	22.98	19.53	1.92	4.79	operativo

# Verifica dello stato di fatto (VAL4)

## Caratterizzazione dei materiali

### Calcestruzzo pile

I valori di progetto della resistenza cilindrica del cls (MPa) sono:

n	$\mu$	$\sigma$	FC	$f_{m16\%}$	$f_{k5\%}$	$\gamma_m$	fd	0.85fd	fctd	$\sqrt{f_{ck}}$	scenario
11	3.139	0.241	1.0	21.46	14.43	1.50	14.31	12.16	1.18	3.78	adeguato
						1.26	14.43	12.27	1.41	3.80	operativo

### Acciaio armonico cavi aderenti

I valori di progetto della tensione di snervamento dell'acciaio armonico (MPa) sono:

n	$\mu$	$\sigma$	FC	$f_{m16\%}$	$f_{k5\%}$	$\gamma_m$	fd	scenario
10	7.449	0.026	1.0	1704.3	1632.7	1.15	1482.0	adeguato
						1.10	1549.4	operativo

### Acciaio armonico cavi scorrevoli e selle Gerber

I valori di progetto della tensione di snervamento dell'acciaio armonico (MPa) sono:

n	$\mu$	$\sigma$	FC	$f_{m16\%}$	$f_{k5\%}$	$\gamma_m$	fd	scenario
10	7.449	0.026	1.2	1704.0	1632.4	1.15	1234.8	adeguato
						1.10	1290.9	operativo

# Verifica dello stato di fatto (VAL4)

## Caratterizzazione dei materiali

### Acciaio lento impalcati

I valori di progetto della tensione di snervamento dell'acciaio in barre (MPa) sono:

n	$\mu$	$\sigma$	FC	$f_{m16\%}$	$f_{k5\%}$	$\gamma_m$	fd	scenario
6	6.123	0.008	1.0	454.4	448.2	1.15	395.2	adeguato
						1.10	413.1	operativo

e nel caso delle selle Gerber:

n	$\mu$	$\sigma$	FC	$f_{m16\%}$	$f_{k5\%}$	$\gamma_m$	fd	scenario
6	6.123	0.008	1.2	454.4	448.2	1.15	329.3	adeguato
						1.10	344.3	operativo

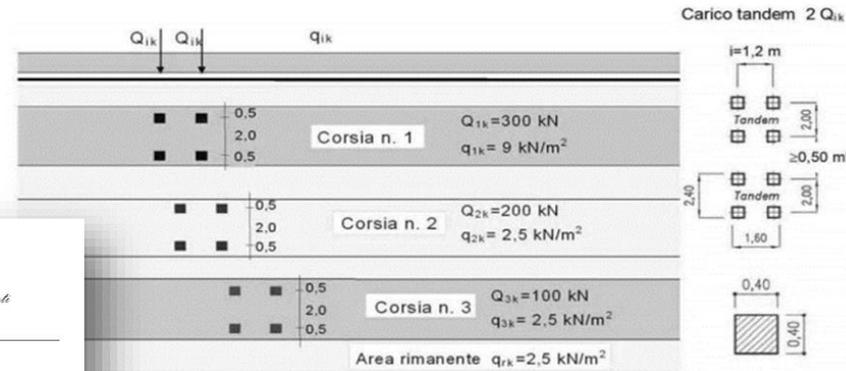
### Acciaio lento pile

I valori di progetto della tensione di snervamento dell'acciaio in barre (MPa) sono:

n	$\mu$	$\sigma$	FC	$f_{m16\%}$	$f_{k5\%}$	$\gamma_m$	fd	scenario
3	6.293	0.007	1.0	538.9	532.9	1.15	468.6	adeguato
						1.10	489.9	operativo

# Verifica dello stato di fatto (VAL4) Modello di carico

In accordo con [LG] i sovraccarichi stradali considerati cambiano in funzione della combinazione o scenario di verifica. In particolare per gli scenari "adeguato" e "operativo" si adotta lo schema di carico 1 (NTC § 5.1.3.3.3) rappresentato in Figura 16.



schema di carico 1 NTC

Per gli scenari tipo "transitabile (2)" pesante, intermedia e leggera, si adottano i carichi da *Codice della Strada* così come definiti in [LG] e rappresentati in Figura 17.



schemi di carico da codice della strada



N. 8

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE  
E DEI TRASPORTI

DECRETO 17 gennaio 2018.

Aggiornamento delle «Norme tecniche per  
le costruzioni».

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti  
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

LINEE GUIDA PER  
LA CLASSIFICAZIONE E GESTIONE DEL RISCHIO,  
LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA  
ED IL MONITORAGGIO DEI PONTI ESISTENTI

Adopted at the meeting of the Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 18/02/2018.  
approvato in modalità "agile" a delibera dell'Associazione Generale in data 17/04/2020.

---

# Verifica dello stato di fatto (VAL4)

## Modello di carico

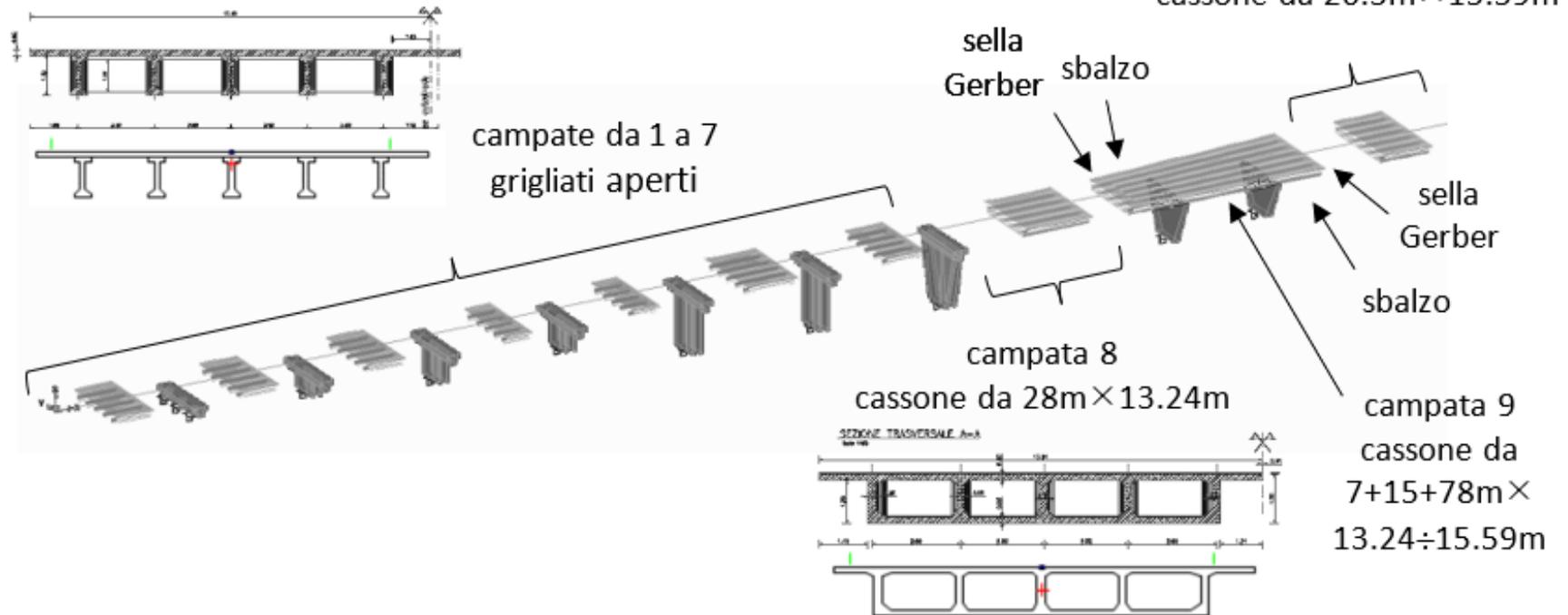
I sovraccarichi da NTC hanno già incluso l'effetto dell'amplificazione dinamica, i carichi da CdS (transitabilità 2) vanno invece amplificati del coefficiente pari a (cfr. [LG] §6.3.2.2):  $\phi = 1.4 - \frac{L-10}{150}$ .

Data la lunghezza dell'opera (>200m), l'azione di frenatura è quella massima prevista da [NTC]§5.1.3.5. (900kN).

# Verifica dello stato di fatto (VAL4)

## Modello di carico

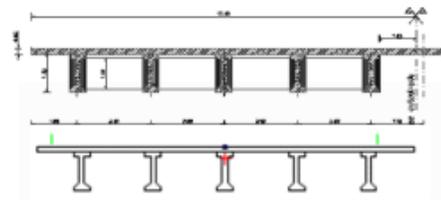
Le sottostrutture sono modellate con elementi con *frame*, mentre, gli impalcati a cassone con elementi *shell* e gli impalcati a grigliato mediante sia elementi beam per le travi in C.A.P. sia con elementi lastra/piastra per la soletta.



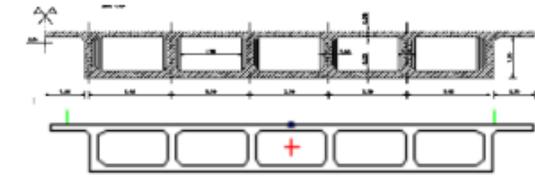
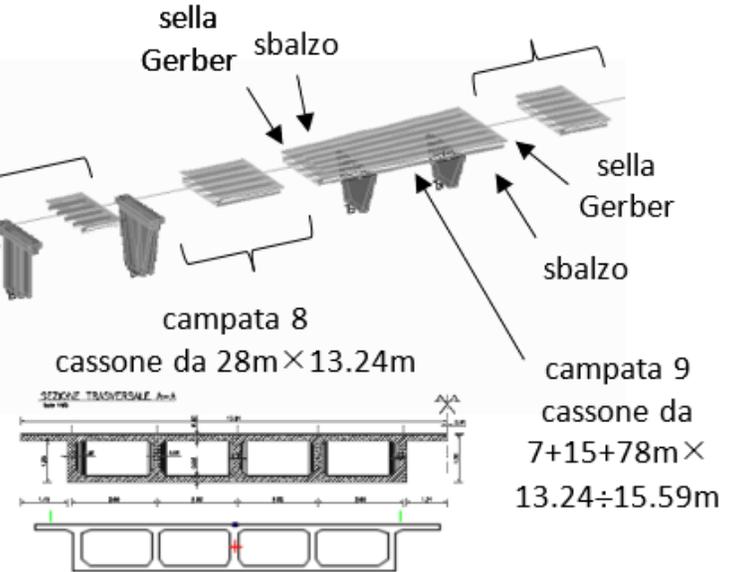
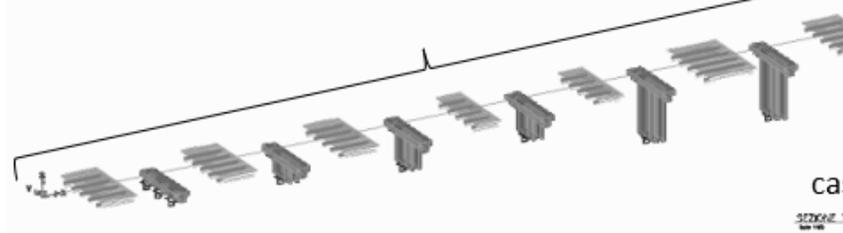
# Verifica dello stato di fatto (VAL4)

## Modello di carico

Il software effettua in automatico l'integrazione delle sollecitazioni (*section cut*) su tutti gli elementi finiti che compongono un ben definito elemento strutturale (ad es. trave + soletta negli impalcati a grigliato oppure nervature + soletta + controsoletta negli impalcati a cassone), così da ottenere direttamente le sollecitazioni agenti (totali) da porre a confronto con la capacità della struttura.



campate da 1 a 7  
grigliati aperti



campata 10  
cassone da 26.3m × 15.59m

# Verifica dello stato di fatto (VAL4)

## Caratteristiche della sollecitazione interna

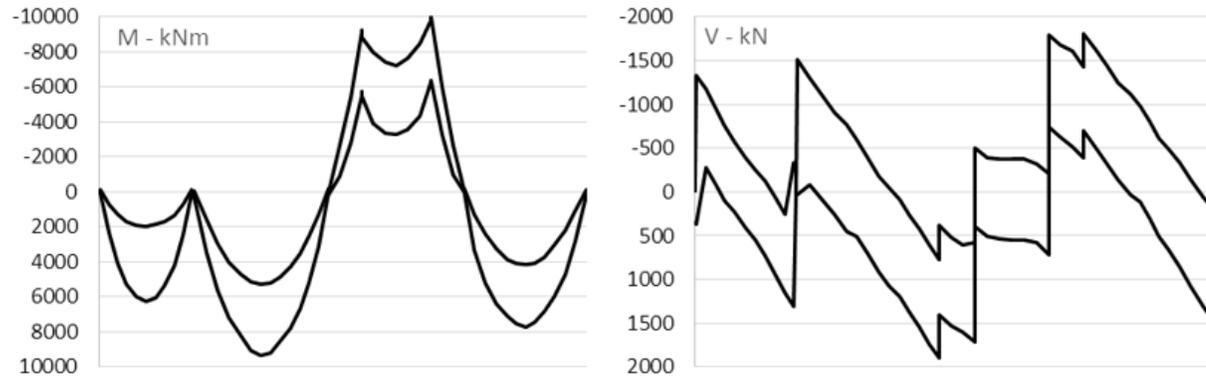
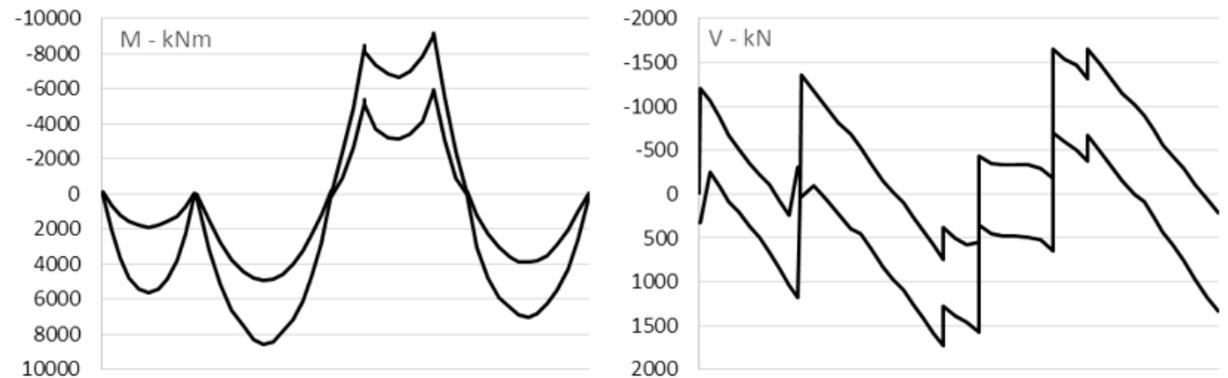


Figura 22 – momento (sx) e taglio (dx) trave/nervatura di riva, scenario adeguato



momento (sx) e taglio (dx) trave/nervatura di riva, scenario operativo

# Verifica dello stato di fatto (VAL4)

## Riepilogo verifiche

			Fattore di Confidneza	adeguatezza	operatività	transitabilità 2 (44t)	transitabilità 2 (26t)
Impalcati a grigliato (cavi aderenti)	travi CAP	flessione	1	● 0.80	● 0.93	● 0.79	✓ 1.01
		taglio	1	● 0.89	✓ 1.08		
	traversi	flessione	1	● 0.67	● 0.80	● 0.62	✓ 1.04
		taglio	1	● 0.78	● 0.91	● 0.68	✓ 1.16
	solette	flessione	1	● 0.53	● 0.62	● 0.73	✓ 1.05
		taglio	1	● 0.79	✓ 1.07		
impalcati a cassone (cavi scorrevoli)	28.8m	flessione	1.2	● 0.96	✓ 1.10		
		taglio	1.2	✓ 1.31			
	26.3m	flessione	1.2	● 0.88	✓ 1.00		
		taglio	1.2	✓ 1.75			
	7+15+7m	flessione	1.2	● 0.99	✓ 1.13		
		taglio	1.2	✓ 1.01			
	29.6m	flessione	1.2	● 0.98	✓ 1.12		
		taglio	1.2	✓ 1.36			
	33.1	flessione	1.2	● 0.87	● 0.99	● 0.89	✓ 1.01
		taglio	1.2	● 0.99	✓ 1.15		
selle Gerber	travi CAP cassoni		1.2	✓ 1.24			
			1.2	✓ 1.26			
appoggi	travi C.A.P.		1	✓ 1.09			
pile	P1÷P5	flessione	1	✓ 1.83			
		taglio	1	✓ 1.87			
	P6÷P7	flessione	1	✓ 1.38			
		taglio	1	✓ 2.03			
pulvini	P2÷4	flessione	1	✓ 1.16			
		taglio	1	● 0.94	✓ 1.08		
spalle	est	flessione	1	✓ 3.02			
		taglio	1	✓ 1.48			

Tabella 6 – riepilogo coefficienti di sicurezza

# Verifica dello stato di fatto (VAL4)

## Conclusioni

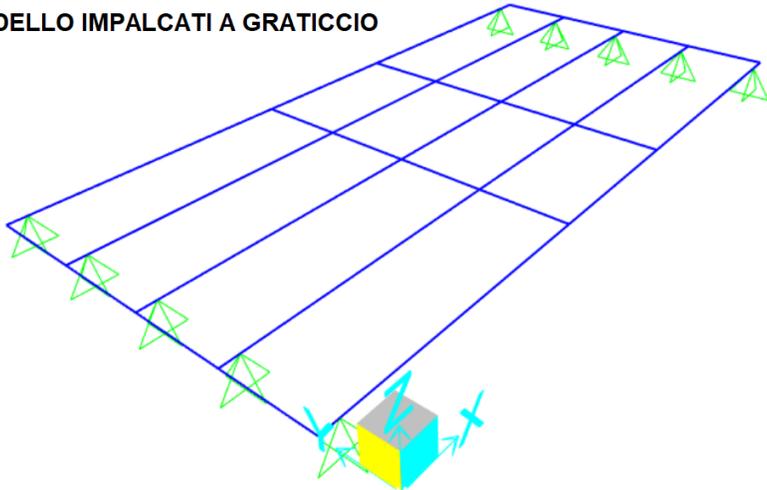
- Lo scenario per il quale tutte le verifiche delle azioni di esercizio risultano soddisfatte è, in accordo con [LG], la *transitabilità di tipo 2 (veicoli da 26t)*.
- Tra le verifiche più stringenti risultano sicuramente tutti i meccanismi inerenti i grigliati di travi in CAP (travi, traversi, solette) e la campata a cassone da 33.1m.
- Si evidenzia che la stima dei livelli di sicurezza degli impalcati a cassone (a cavi scorrevoli) e delle selle Gerber, che hanno obiettivi limiti di conoscenza raggiungibili ed esiti delle indagini non sempre favorevoli, è stata fatta assumendo un *fattore di confidenza* pari ad 1.2.
- Le verifiche degli apparecchi d'appoggio, benché tecnologicamente inadeguati e da sostituire, esibiscono tassi tensionali compatibili con le capacità stimate.
- Si raccomanda una limitazione del sovraccarico stradale a veicoli di peso non superiore alle 26t, nelle more di un progetto di rinforzo che ripristini i livelli di sicurezza ai livelli di legge vigenti

# Progetto di Adeguamento

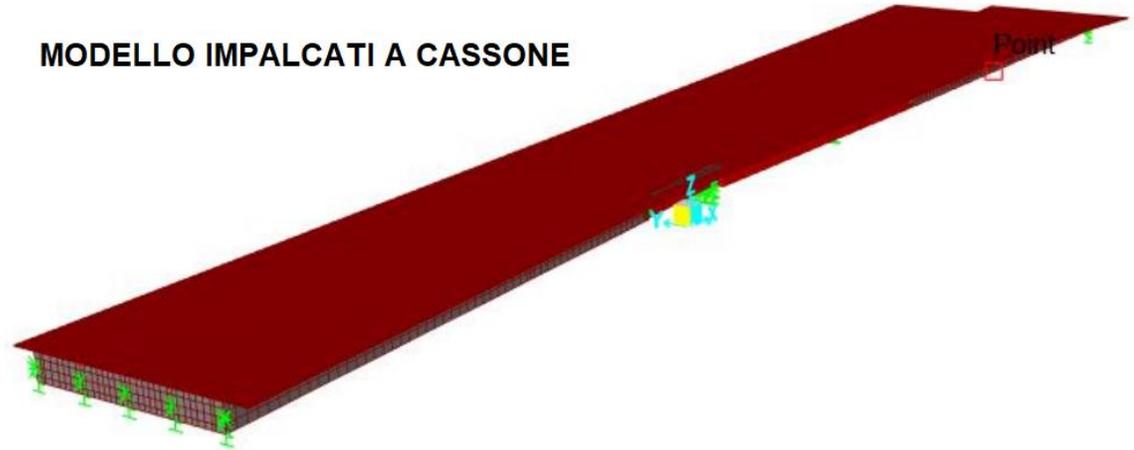
## Modellazione impalcati

Sono stati implementati modelli di calcolo per valutare gli effetti, in termini di sollecitazioni e di spostamenti, delle azioni previste sui ponti stradali ai sensi del § 5.1.3 delle NTC2018.

MODELLO IMPALCATI A GRATICCIO



MODELLO IMPALCATI A CASSONE



# Progetto di Adeguamento

## Verifiche statiche nello stato di fatto - Sintesi risultati

Calcolo $\zeta_v$				
Campata	Carreggiata	L	Trave	$\zeta_v$
[ - ]	[ - ]	[m]	[ - ]	[ - ]
<b>C1 A C7</b>	DX e SX	20	Bordo	<b>0,64</b>
	DX e SX		Interna	<b>0,82</b>
<b>C9</b>	DX e SX	29	interna	<b>0,90</b>

**Tabella 1** – Calcolo coefficiente  $\zeta_v$  per le campate che non soddisfano le verifiche di sicurezza

# Progetto di Adeguamento

## Materiali utilizzati per l'adeguamento statico degli impalcati

### Materiali compositi per rinforzo a taglio – TRAVI e NERVATURE

Per le travi interne ed esterne delle campate a graticcio in c.a.p. e per le nervature verticali della campata C9 a cassone in c.ap., si prevede un rinforzo a taglio con i seguenti materiali:

- *Tessuto in fibra di carbonio:*
  - Tessuto in fibre di carbonio con le seguenti caratteristiche:
  - Grammatura ( $\text{g/m}^2$ ): 600;
  - Massa volumica ( $\text{kg/m}^3$ ): 1.800 – 1.840;
  - Spessore equivalente di tessuto secco (mm): 0,329;
  - Area resistente per unità di larghezza ( $\text{mm}^2/\text{m}$ ): 329,6
  - Resistenza meccanica a trazione ( $\text{N/mm}^2$ ):  $\geq 4.410$ ;
  - Carico massimo per unità di larghezza ( $\text{kN/m}$ ):  $> 1.400$ ;
  - Modulo elastico a trazione ( $\text{N/mm}^2$ ):  $390.000 \pm 2\%$ ;
  - Allungamento a rottura (%):  $\geq 1,1$ ;
  - Adesione al calcestruzzo ( $\text{N/mm}^2$ ):  $\geq 3$  (rottura del supporto).

# Progetto di Adeguamento

## Rinforzo a flessione in FRP – TRAVI di bordo Campate da C1 a C7

Per le travi di bordo oggetto d'intervento, si prevede rinforzo a flessione con i seguenti materiali:

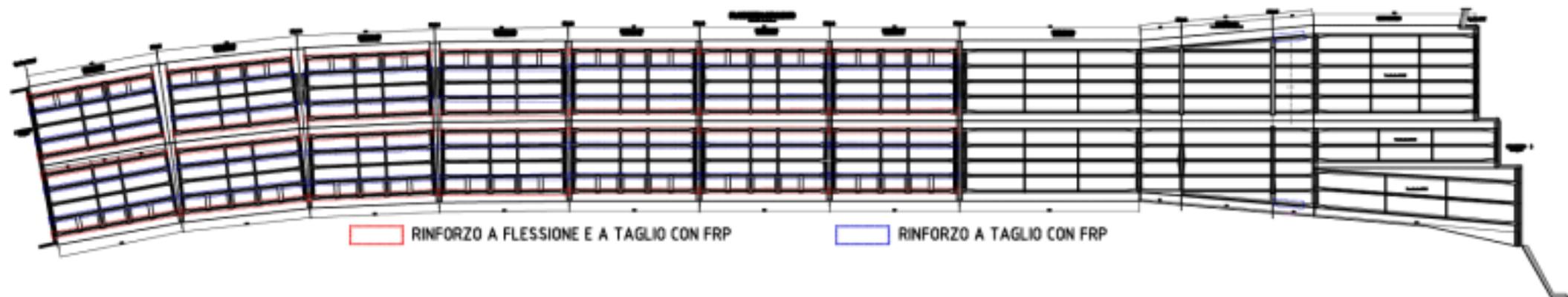
- *Lamine pultruse in fibra di carbonio:*
  - Spessore 1,4 mm;
  - Densità fibra: 1,80 g/cm<sup>3</sup> – Densità matrice: 1,20 g/cm<sup>3</sup>;
  - Resistenza a trazione valore medio f/fib: 2500 MPa;
  - Resistenza a taglio: 79 MPa;
  
- *Tessuto in fibra di carbonio:*
  - Tessuto in fibre di carbonio con le seguenti caratteristiche:
  - Grammatatura (g/m<sup>2</sup>): 300;
  - Massa volumica (kg/m<sup>3</sup>): 1.800;
  - Spessore equivalente di tessuto secco (mm): 0,164;
  - Area resistente per unità di larghezza (mm<sup>2</sup>/m): 164,3
  - Resistenza meccanica a trazione (N/mm<sup>2</sup>): ≥ 4.410;
  - Carico massimo per unità di larghezza (kN/m): > 700;
  - Modulo elastico a trazione (N/mm<sup>2</sup>): 390.000 ± 2%;
  - Allungamento a rottura (%): ≥ 1,1;
  - Adesione al calcestruzzo (N/mm<sup>2</sup>): > 3 (rottura del supporto).

# Progetto di Adeguamento

## Interventi di rinforzo

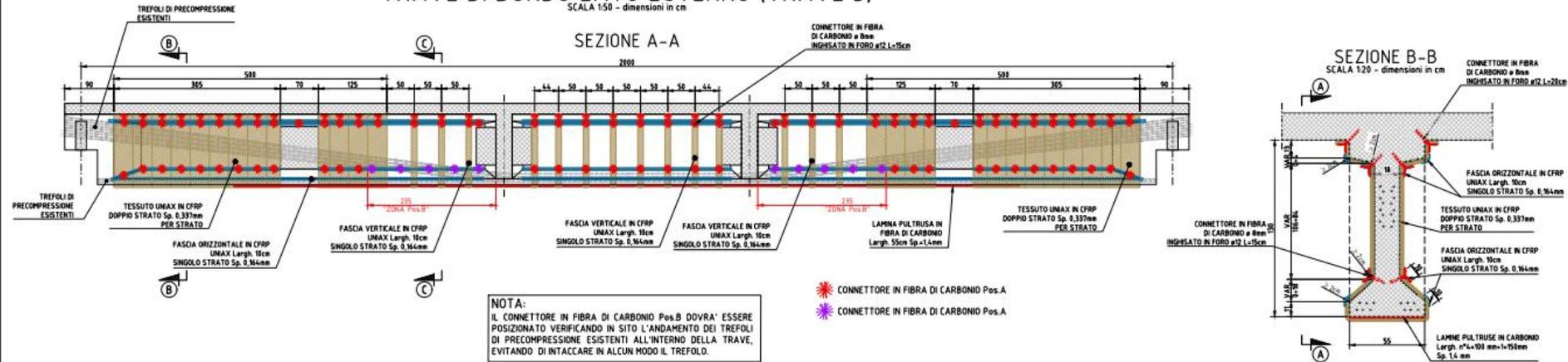
IMPALCATI A GRATICCIO (da C1 a C7) rinforzo delle travi di bordo a flessione e a taglio e le travi interne solo a taglio con materiali compositi

IMPALCATI A CASSONE (C9) è previsto un intervento di rinforzo esclusivamente a taglio sulla nervatura di bordo con materiali compositi.

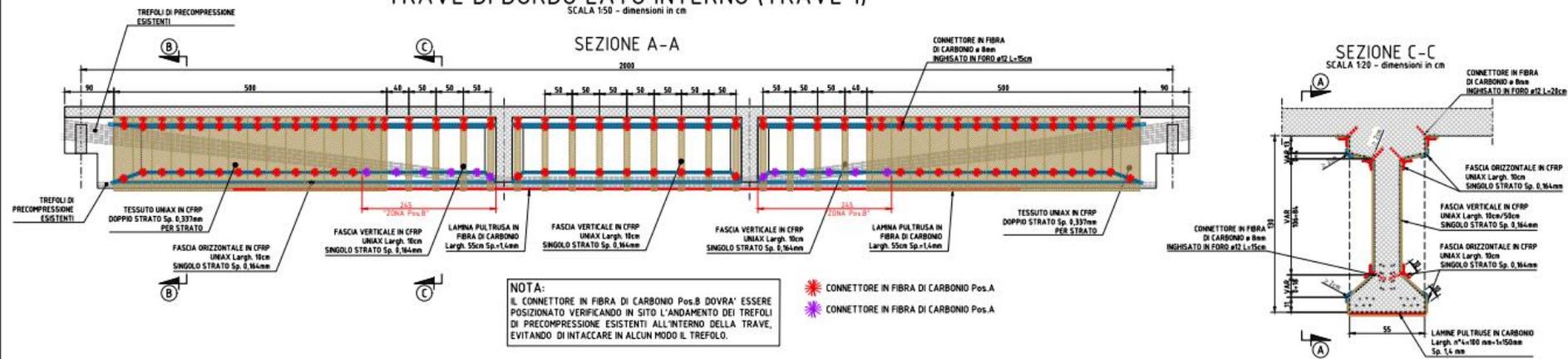


# RINFORZO TRAVI IN C.A.P. A TAGLIO E FLESSIONE

## TRAVE DI BORDO LATO ESTERNO (TRAVE 5)

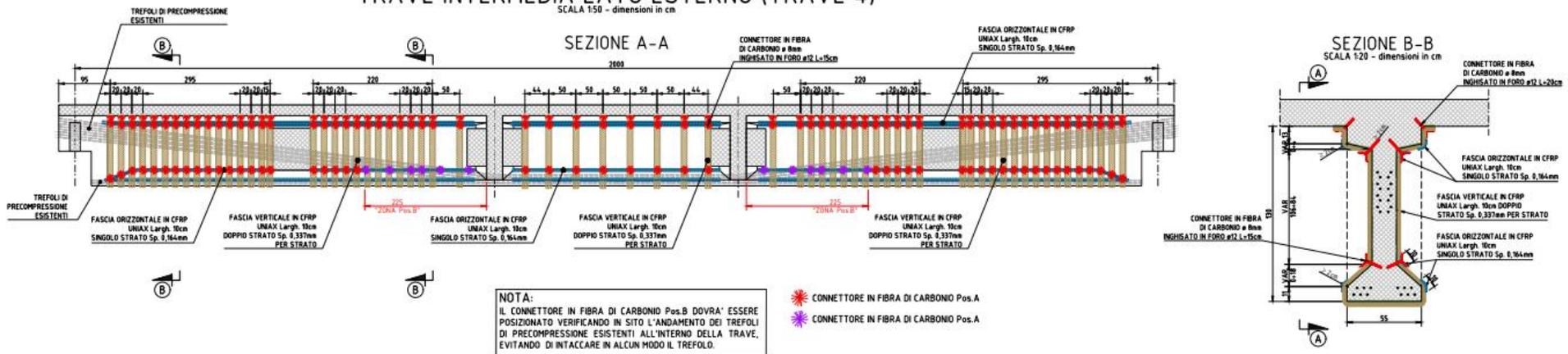


## TRAVE DI BORDO LATO INTERNO (TRAVE 1)

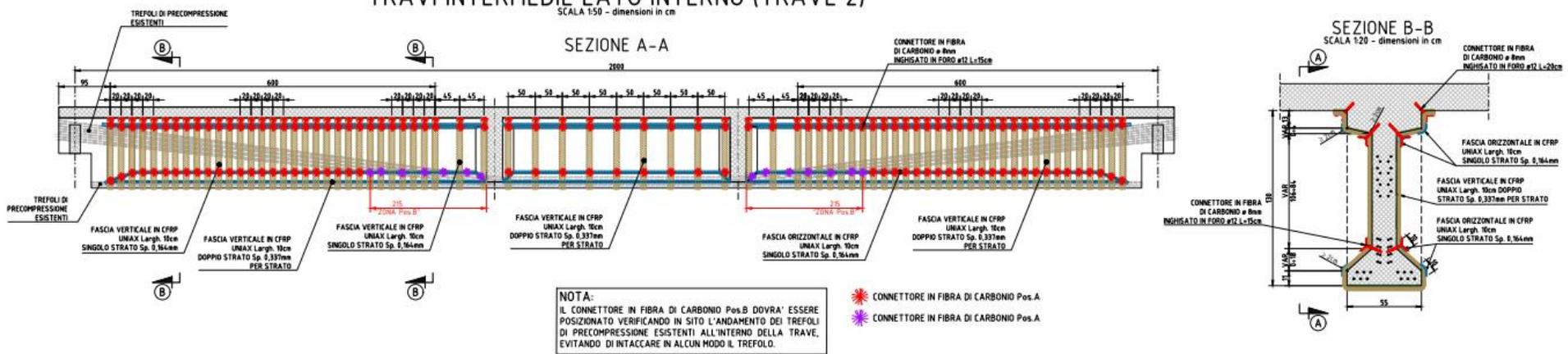


# RINFORZO TRAVI IN C.A.P. A TAGLIO

## TRAVE INTERMEDIA LATO ESTERNO (TRAVE 4)

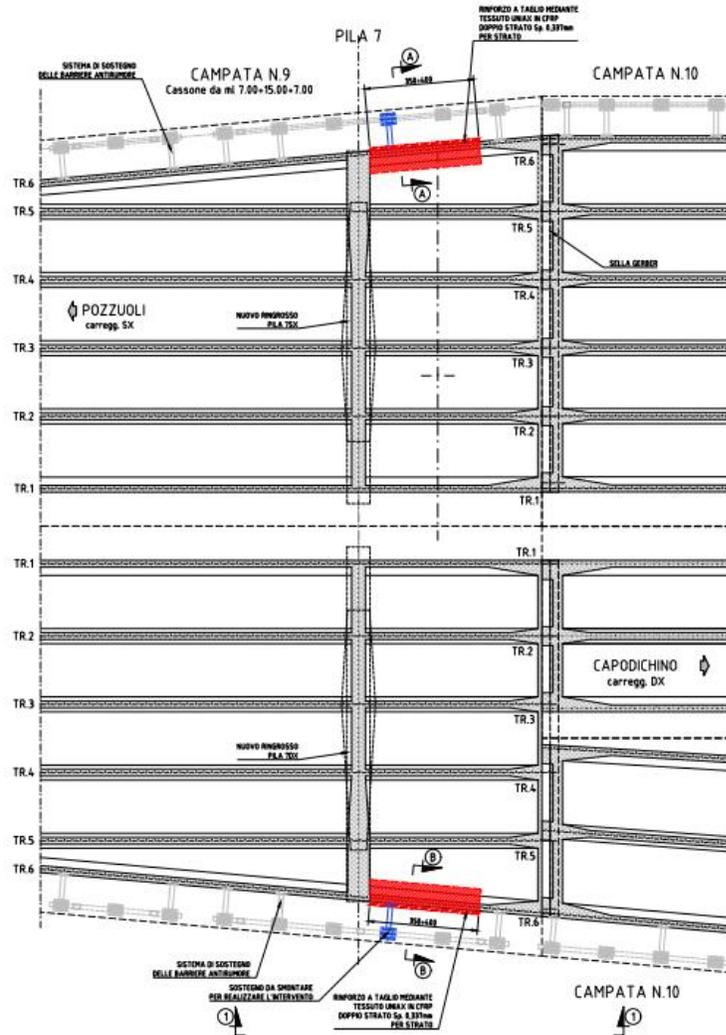


## TRAVI INTERMEDIE LATO INTERNO (TRAVE 2)



# STRALCIO PLANIMETRICO

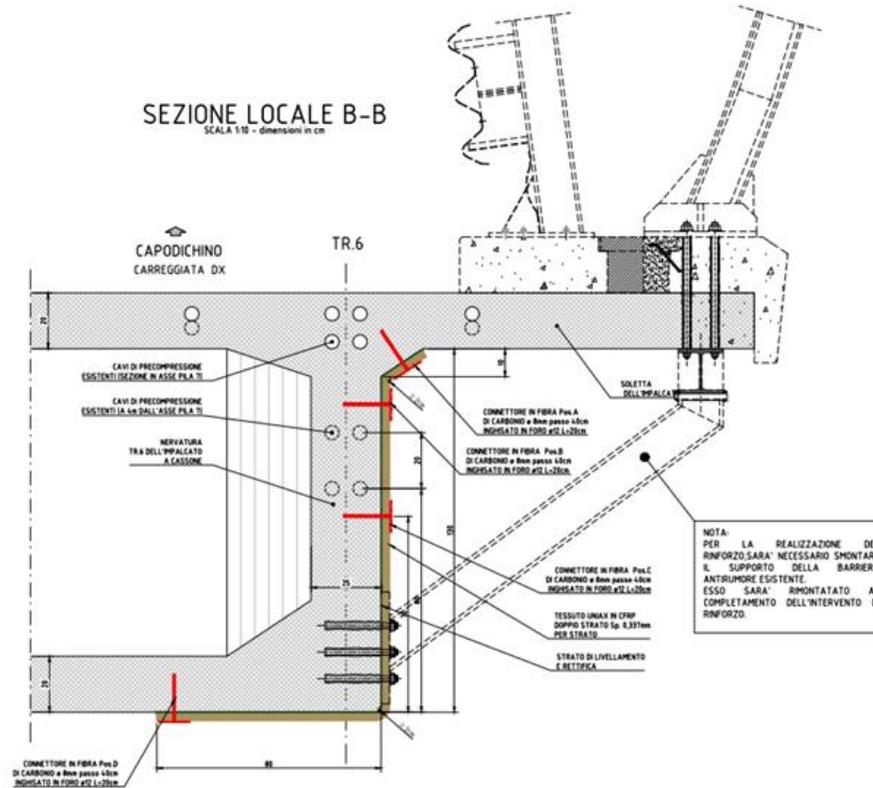
SCALA 1/100 - dimensioni in cm



NOTA:  
NELLE ZONE IN CUI E' PRESENTE IL SOSTEGNO DELLE BARRIERE ANTIRUMORE, QUESTO SARA' SMONTATO PRIMA DELL'ESECUZIONE DI TUTTE LE OPERE.

# SEZIONE LOCALE B-B

SCALA 1/10 - dimensioni in cm



# CdSI schema di vincolo finale (graticci)

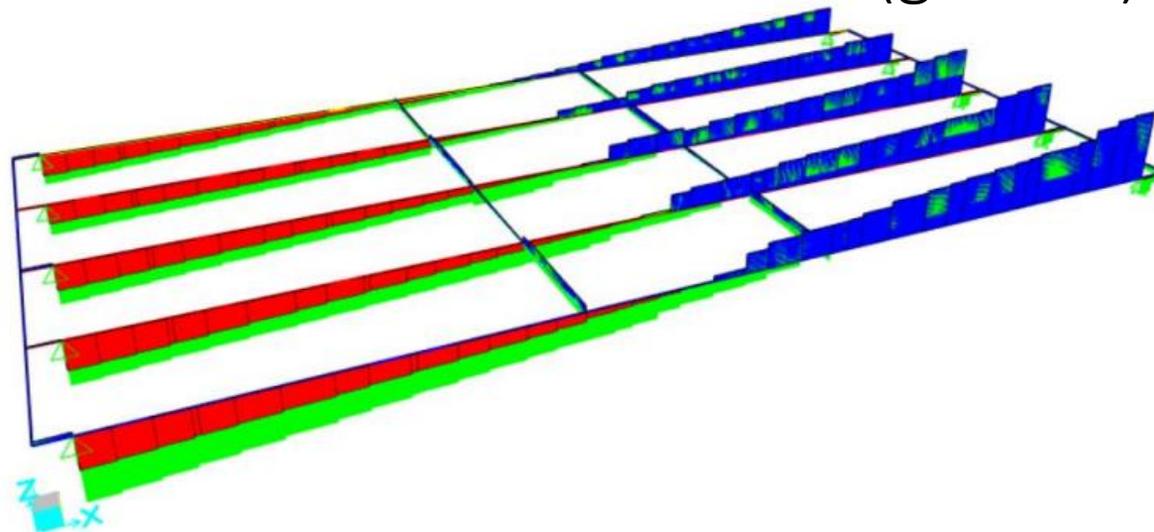


Figura 21 – Diagramma del taglio travi in c.a.p. allo SLU – Stato di PROGETTO

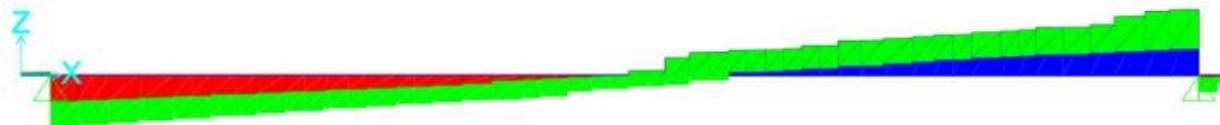


Figura 22 – Diagramma del taglio travi in c.a.p. allo SLU – Stato di PROGETTO

Si riportano le massime sollecitazioni a taglio per le travi in c.a.p. interne e di bordo.

Trave in c.a.p.	Sezione	$V_{Sd}$
[-]	[-]	[kN]
Bordo	3	1122
Bordo	4	984
Interna	4	760

Tabella 5 – Riepilogo delle sollecitazioni a taglio: Travi in c.a.p.

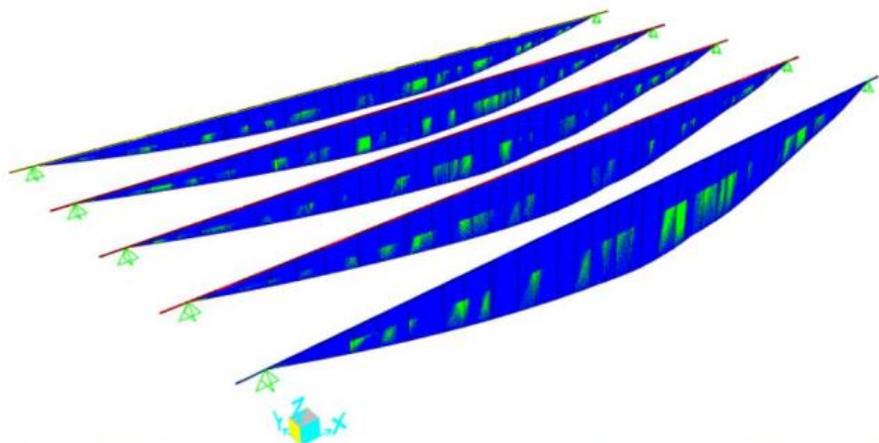


Figura 24 – Diagramma del momento flettente travi in c.a.p. allo SLU – Stato di PROGETTO

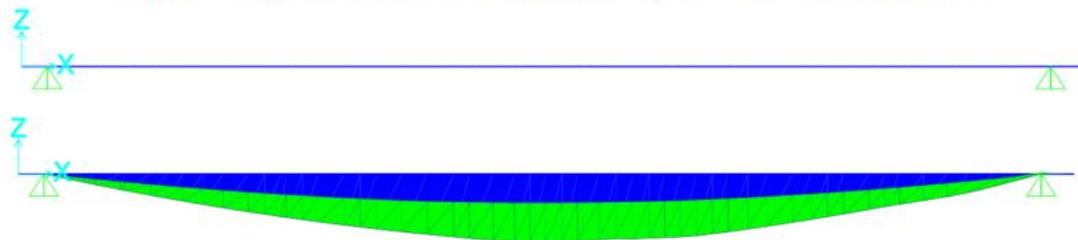


Figura 25 – Diagramma del momento flettente travi in c.a.p. allo SLU – Stato di PROGETTO

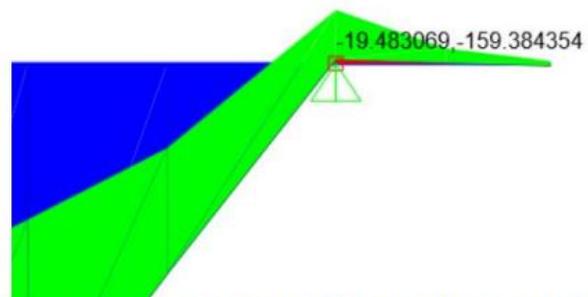


Figura 26 – Diagramma del momento flettente negativo travi in c.a.p. allo SLU (sollecitazioni in kNm) – Stato di PROGETTO

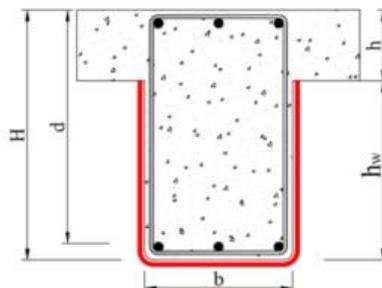
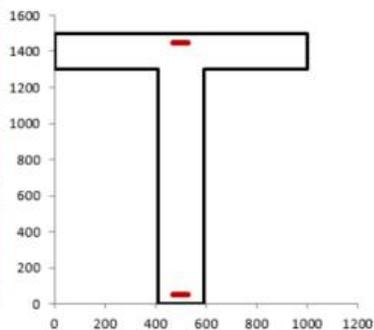
Si riportano le massime sollecitazioni a flessione per le travi di bordo in c.a.p..

Trave in c.a.p.	$M^*_{sd}$	$M^*_{sd}$
[ - ]	[kNm]	[kNm]
Bordo	6421	-160

Tabella 10 – Riepilogo delle sollecitazioni a flessione: Travi di bordo in c.a.p.

# Verifiche di resistenza a taglio

Dati di Input	
Base (B)	180 mm
Altezza Totale (H)	1500 mm
Altezza Soletta (h)	200 mm
Altezza utile (d)	1450 mm
Copriferro ( $c_1=c_2$ )	50 mm
D staffe	Φ 8
$A_{smp}$	50 mm <sup>2</sup>
Passo	330 mm
Bracci staffe	2
Rc	20 mm
Sforzo Normale Sollecitante N	0 kN



Fase di calcolo	
$A_{smp}$	100 mm <sup>2</sup>
$\sigma_{smp}$	0,1093
cot $\theta$ (di calcolo) NTC 2008	1,000
$\nu$	0,50
$\alpha_c$	1,000
$\gamma_{R,d}$ Coefficiente parziale per i modelli	1,2
$\eta_a$ Fattore di conversione ambientale	0,85
$f_{Rt}$ Tensione ultima di delaminazione	3408 MPa
$k_Q$	0,0370
$k_D$	1,00
$\Phi_R$	0,378
min (0,9d ; $h_w$ )	1300 mm
Spessore Totale [ $t_{FRP}$ ]	0,658 mm
$\gamma_f$ Coefficiente parziale	1,1
$\gamma_{m,d}$ Coefficiente parziale per i materiali	1,2
$f_{Rsd}$ Resistenza di prog. alla delaminazione	389 MPa
$\Gamma_{fd}$ Energia Specifica di Frattura	0,1838
$s_a$	0,25
$f_{bs}$	1,47
$l_a$ lunghezza efficace di ancoraggio	262,5 mm
$f_{Rsd}$ Resistenza efficace di calcolo	363 MPa
$f_{Rsd,rid}$ Resistenza di progetto ridotta	389 MPa

$V_{Rcd}$	$V_{Rsd}+V_{Rdf}$	$V_{Rd}$
[kN]	[kN]	[kN]
1244	245,7+779,3=1025,0	1025

Materiali				
	Tensioni Medie	Tensioni di Calcolo	FC	
Calcestruzzo	17,87 MPa	11,91	$f_{ct}$	9,87 MPa
			$f_{ctm}$	1,38 MPa
Acciaio	403 MPa	330	$\gamma_s$	1,5
			$\gamma_c$	1,15

Scelta FRP	
MapeWrap C UNI-AX HM 600	Carbonio
Tipologia di rinforzo longitudinale	Continuo
Tipologia di rinforzo trasversale	ad U
Esposizione	Ambiente aggressivo

CARATTERISTICHE FRP		GEOMETRIA FRP	
G rottura	4410 MPa	$\gamma_{m,d}$ Coefficiente parziale per i materiali	1,2

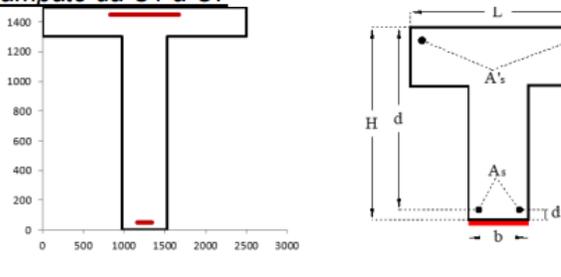
Tabella 7 – Calcolo del taglio resistente  $V_{Rd}$  trave rinforzata con FRP – PROGETTO

$V_{SD}=984,0 \text{ kN} < V_{RD}=1025,0 \text{ kN}$  - Verifica soddisfatta.

# Verifiche di resistenza a flessione

- Verifica a flessione – Travi di bordo Campate da C1 a C7

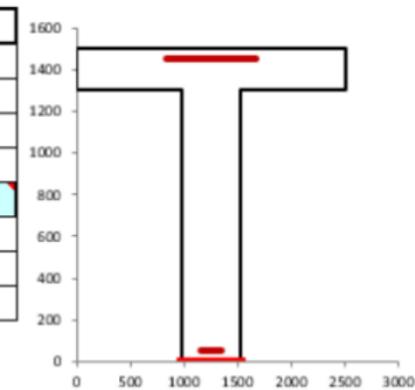
Dati Sezione		
Altezza Totale (H)	1500	mm
Altezza soletta (h)	200	mm
Larghezza soletta (L)	2500	mm
Larghezza Anima (b)	550	mm
Area di acciaio in trazione A <sub>s</sub>	2850	mm <sup>2</sup>
Area di acciaio in compressione A' <sub>s</sub>	2000	mm <sup>2</sup>
Capriferro (d <sub>1</sub> =d <sub>2</sub> )	50	mm
Altezza utile (d)	1450	mm
Altezza Anima (H-h)	1300	mm
Area di lamina A <sub>f</sub>	770,0	mm <sup>2</sup>



Materiali				
	Resistenze		Moduli elastici	
	Medie	Calcolo		
Calcestruzzo f <sub>cm</sub> [MPa]	18	17,87	26185	f <sub>ctk</sub> 9,87 MPa f <sub>ctm</sub> 1,38 MPa
Acciaio f <sub>ym</sub> [MPa]	1542	1542,0	210000	ε <sub>sy</sub> 0,00734
Fattore di confidenza FC	1,00			

Tabella 11 – Trave ripristinata con FRP: Geometria e materiali esistenti – PROGETTO

CARATTERISTICHE FRP	
σ caratteristica di rottura	2500 MPa
ε caratteristica di rottura, ε <sub>g</sub> :	0,010
Modulo elastico	250000 MPa
spessore	1,400 mm
Coefficiente di sicurezza FRP (γ <sub>fd</sub> )	1,2
Coefficiente del materiale (γ <sub>f</sub> )	1,10
Fattore di conversione ambientale (η <sub>a</sub> )	0,85
σ calcolo, f <sub>td</sub>	1771 MPa



Larghezza rinforzo (b <sub>f</sub> )	550 mm
N° strati rinforzo (n)	1
Coefficiente per condizione di carico (k <sub>c</sub> )	Carico distribuito

k <sub>0</sub>	1,00
k <sub>c1</sub>	0,023
b <sub>f</sub> /b	1,00
f <sub>td,2</sub> Resist. di prog al distacco FRP (mod 2)	439 MPa
ε <sub>td,2</sub> Deformazione max di distacco FRP	0,00175
ε <sub>0</sub> lembo teso CLS all'applicazione dell'FRP	0,00000
ε <sub>s</sub> - ε <sub>0</sub>	0,00734
Γ <sub>td</sub> Energia specifica di frattura	0,114 MPa
f <sub>td</sub> Resist. di prog. adesione FRP-CLS	0,91 MPa
l <sub>td</sub> Lunghezza ottimale di ancoraggio	200,0 mm
f <sub>td,1</sub> Resist. di prog. al distacco FRP (mod 1)	168 MPa
ε calcolo, ε <sub>td</sub>	0,00175

$$\epsilon_{td} = \frac{f_{td,2}}{E_t} \geq \epsilon_D - \epsilon_0$$

Tabella 12 – Trave ripristinata con FRP: caratteristiche materiali di ripristino – PROGETTO

L'asse neutro taglia la soletta							Risolvi	eq. Traslazione	M <sub>d</sub> [kNm]
y <sub>c</sub> [mm]	regione	ψ ad.	λ ad.	σ' <sub>s</sub> MPa	σ <sub>s</sub> MPa	σ <sub>r</sub> MPa			
131,19	1	0,80	0,416	21,8589	1542,00	438,71	0,00	6620,95	

Tabella 13 – Calcolo M<sub>Rd</sub> trave ripristinata con FRP – PROGETTO

Dalla tabella si evince che M<sub>sd</sub>=6421 kNm < M<sub>Rd</sub>=6620 tm, pertanto la verifica a flessione SLU risulta soddisfatta. A seguito dell'intervento previsto, le verifiche allo SLU risultano soddisfatte.

# Interventi su travi a cassone

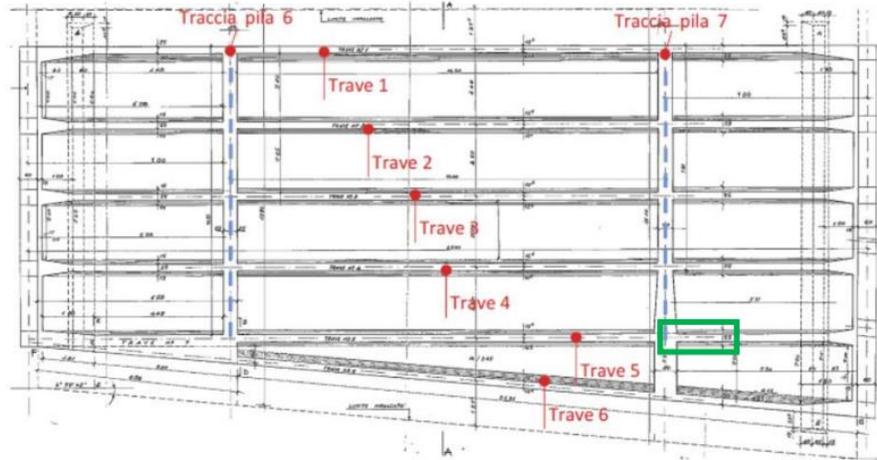
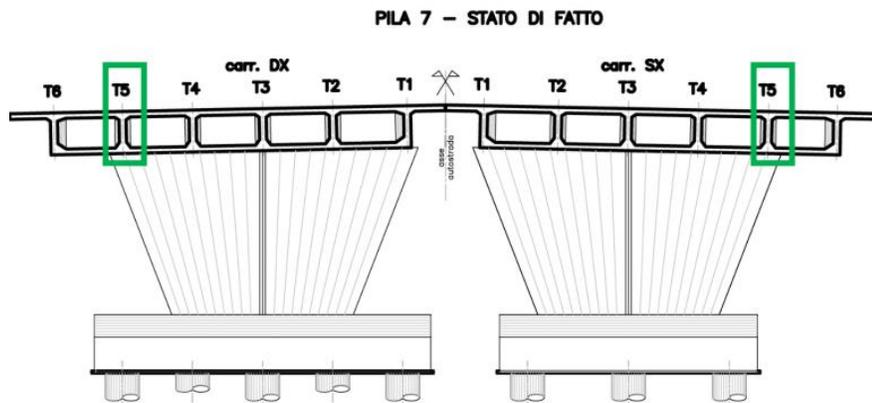
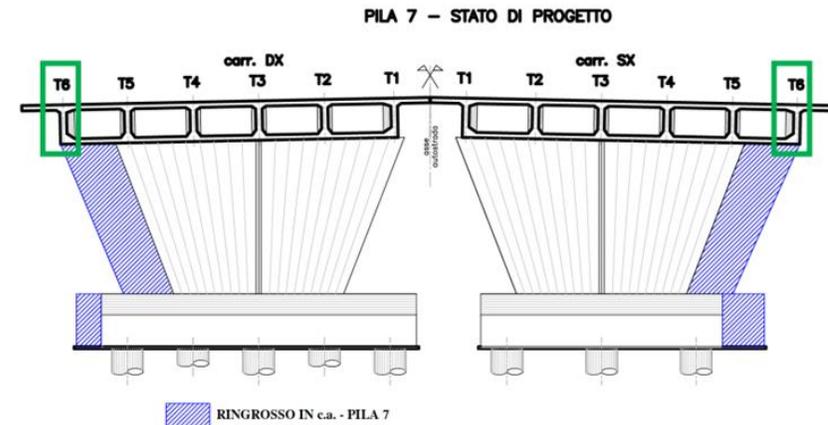


Figura 192 - pianta della campata 9

Figura 33 - Carpentaria campata 9 (in verde nervatura che presenta problemi a taglio): stralcio relazione verifica di sicurezza



In merito alle verifiche a taglio, si riporta il rapporto minimo C/D per le nervature verticali T5 e T6:

Nervatura	V <sub>sd</sub>	V <sub>Rd,SF</sub>	C/D
[ - ]	[kN]	[kN]	[ - ]
T5	2208	1998	0,90
T6	1925	1998	1,04

Tabella 15 - Riepilogo verifiche a taglio nervature verticali T5 e T6; Stato di Fatto

Nervatura	Tipo di rinforzo	V <sub>sd</sub>	V <sub>Rd,SF</sub>	C/D
[ - ]	[ - ]	[kN]	[kN]	[ - ]
T5	Ringrosso Pila 7	1934	1998	1,03
T6	Ringrosso Pila 7	1909	1998	1,04

Tabella 17 - Riepilogo verifiche a taglio Travi in c.a.p.: Stato di progetto intermedio

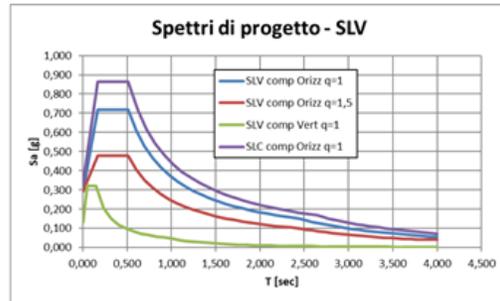
# Adeguamento sismico (ai sensi del D.M. 17/01/2018)

## Interventi previsti

- Potenziamento pali di fondazione mediante la realizzazione di nuovi micropali.
- Potenziamento di tutti i plinti di fondazione delle pile e delle spalle.
- Adeguamento tutte le pile e le due spalle.
- Potenziamento e modifica dei pulvini delle Pile B, A, 1, 2, 3, 4 e 5 al fine di consentire l'installazione dei nuovi dispositivi di appoggi.
- Installazione dei nuovi dispositivi di appoggio sulle Spalle Est e Ovest e sulle Pile B, A, 1, 2, 3, 4 e 5.
- Installazione di ritegni sismici in corrispondenza delle pile 6 e 7.
- Solidarizzazione delle solette in corrispondenza delle selle Gerber delle Campate C8/C9 e C9/C10.
- Cucitura all'intradosso delle solette degli sbalzi interni in direzione longitudinale a ridosso del giunto tra le carreggiate per evitare fenomeni di martellamento tra gli impalcati delle carreggiate.

# Analisi sismica

$$E + G_K + \sum_i (\psi_{2i} Q_{Ki})$$



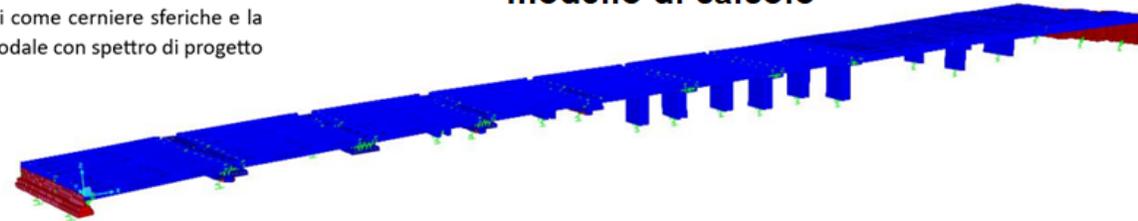
## combinazioni

- Sisma lungo X SLV +30% Sisma lungo Y SLV +30% Sisma lungo Z SLV;
- Sisma lungo Y SLV +30% Sisma lungo X SLV +30% Sisma lungo Z SLV;
- Sisma lungo Z SLV +30% Sisma lungo X SLV +30% Sisma lungo Y SLV.

Periodo di ritorno TR=950 anni (SLV VR=100 PVR=10%) e classe di sottosuolo C, da cui  $ag=0.21g$ ,  $agS=0.29g$ ,  $agSFo=0.71g$ ,  $Tc=0.506s$ .

L'analisi è svolta mediante modello di calcolo lineare, considerando gli appoggi come cerniere sferiche e la rigidità delle palificate. L'azione sismica è applicata mediante combinazione modale con spettro di progetto e fattore di struttura  $q=1.5$ .

## modello di calcolo



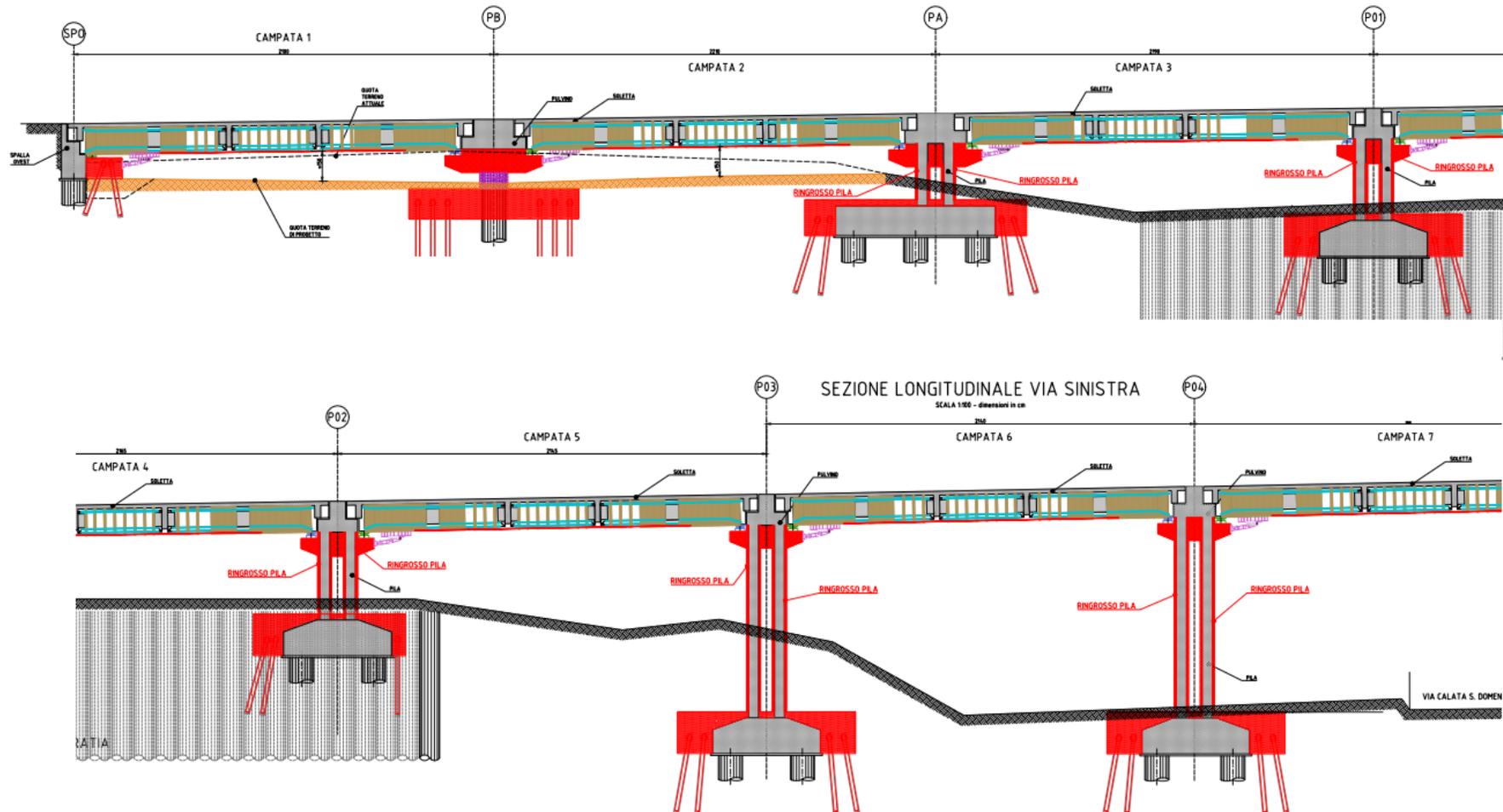
## risultati analisi modale

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0,554	0%	0%	0%	0%	0%	0%
MODAL	Mode	2	0,454	30%	0%	0%	30%	0%	0%
MODAL	Mode	3	0,424	0%	0%	0%	30%	0%	0%
MODAL	Mode	196	0,055	0%	0%	0%	98%	98%	96%
MODAL	Mode	197	0,055	0%	0%	0%	98%	98%	96%
MODAL	Mode	198	0,055	0%	0%	0%	98%	98%	96%
MODAL	Mode	199	0,055	0%	0%	0%	98%	98%	96%
MODAL	Mode	200	0,054	0%	0%	0%	98%	98%	95%

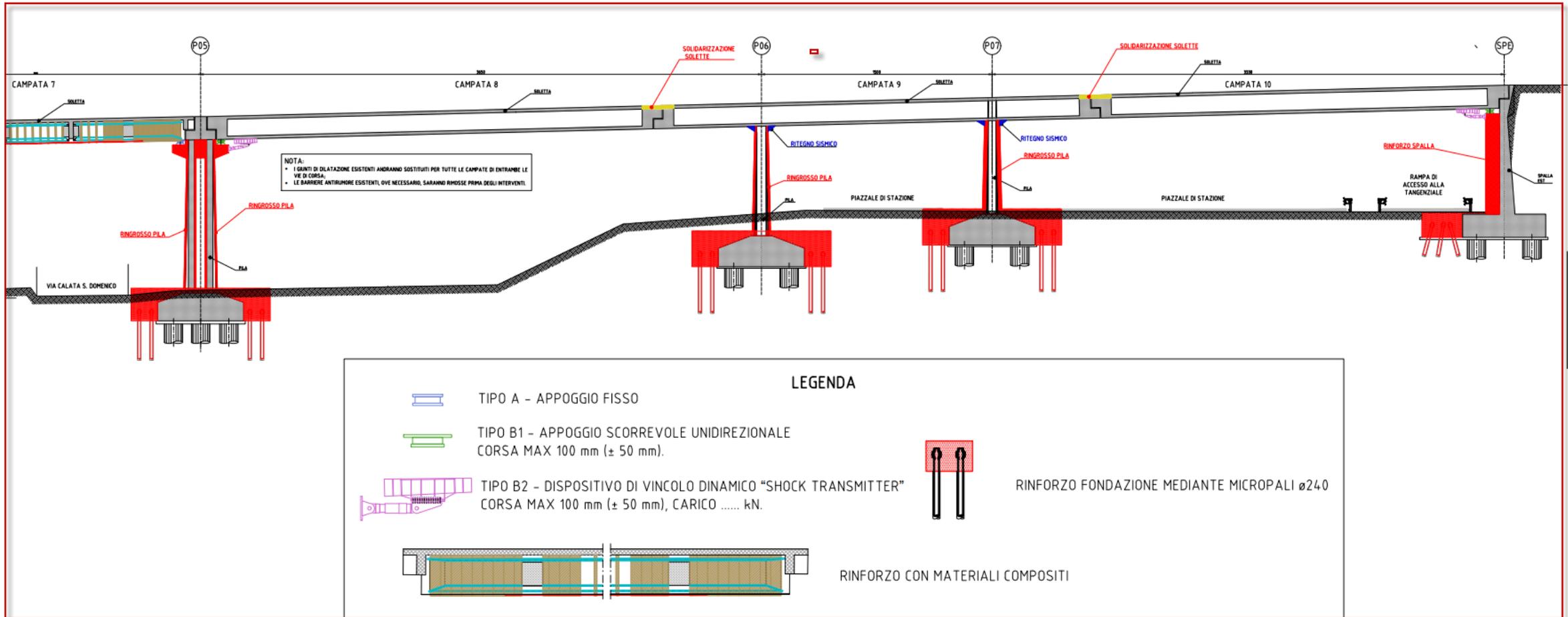
# Verifiche di resistenza dello stato di fatto

Carreggiata	Meccanismo	Sp Ovest	PB	PA	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Sp Est 1	Sp Est 2	
SINISTRA	Fusti	pressoflessione		● 0.37	● 0.77	● 0.60	● 0.51	● 0.56	● 0.39	● 0.84	● 0.54			
		taglio longitudinale		● 0.33	● 0.75	● 0.53	✓ 2.41	✓ 2.62	✓ 2.08	✓ 1.07	● 0.80			
		taglio trasversale		● 0.89	✓ 2.24	✓ 1.96	✓ 2.03	✓ 1.51	✓ 1.56	● 0.71	✓ 1.18			
		trazione centrata		● 0.42	● 0.88	● 0.61	>1	>1	>1	>1	>1			
	Pali	taglio vettoriale	● 0.57	● 0.55	● 0.45	● 0.57	● 0.43	● 0.56	● 0.42	● 0.50	● 0.49	● 0.59	● 0.71	
		trazione centrata	>1	>1	● 0.83	● 0.99	● 0.68	● 1.00	● 0.61	>1	>1	>1	>1	
	DESTRA	Fusti	pressoflessione					● 0.67	● 0.78	● 0.78	● 0.84	● 0.88		
			taglio longitudinale					● 0.86	✓ 1.00	● 0.88	● 0.85	● 0.76		
taglio trasversale								✓ 1.05	● 0.71	● 0.72	● 0.61	● 0.61		
trazione centrata								>1	>1	>1	>1	>1		
Pali		taglio vettoriale	● 0.70	● 0.55	● 0.13	● 0.28	● 0.24	● 0.64	● 0.44	● 0.55	● 0.48	● 0.48	● 0.70	✓ 1.17
		trazione centrata	>1	>1	● 0.35	>1	>1	>1	● 0.90	>1	>1	>1	>1	>1

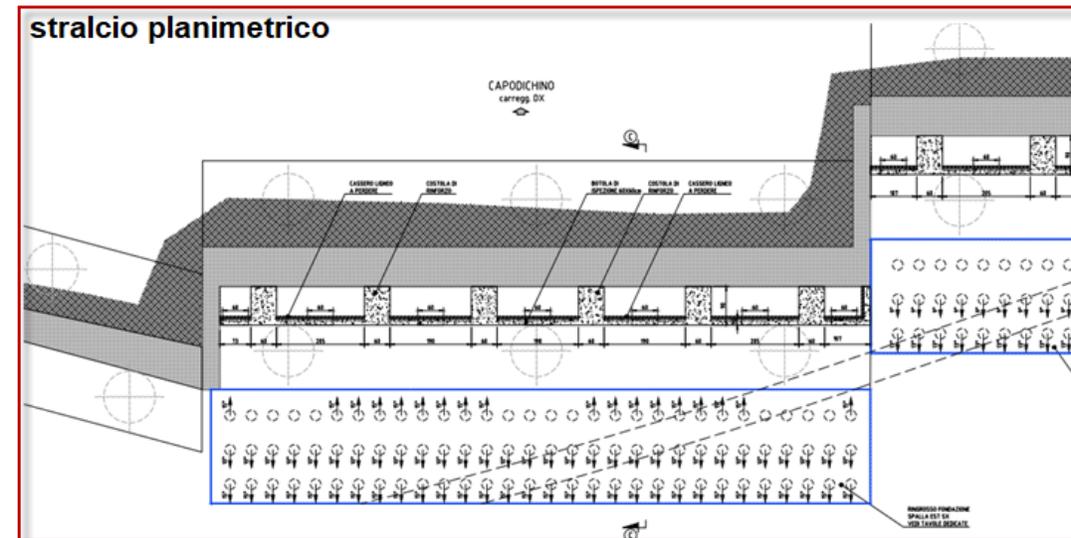
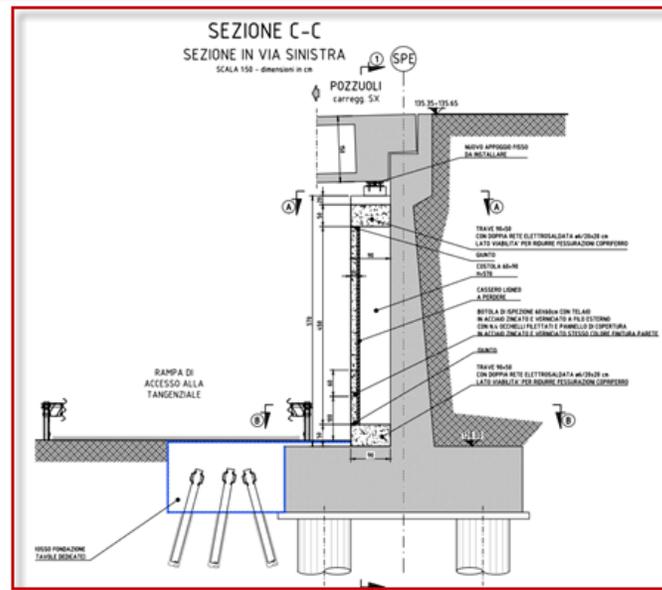
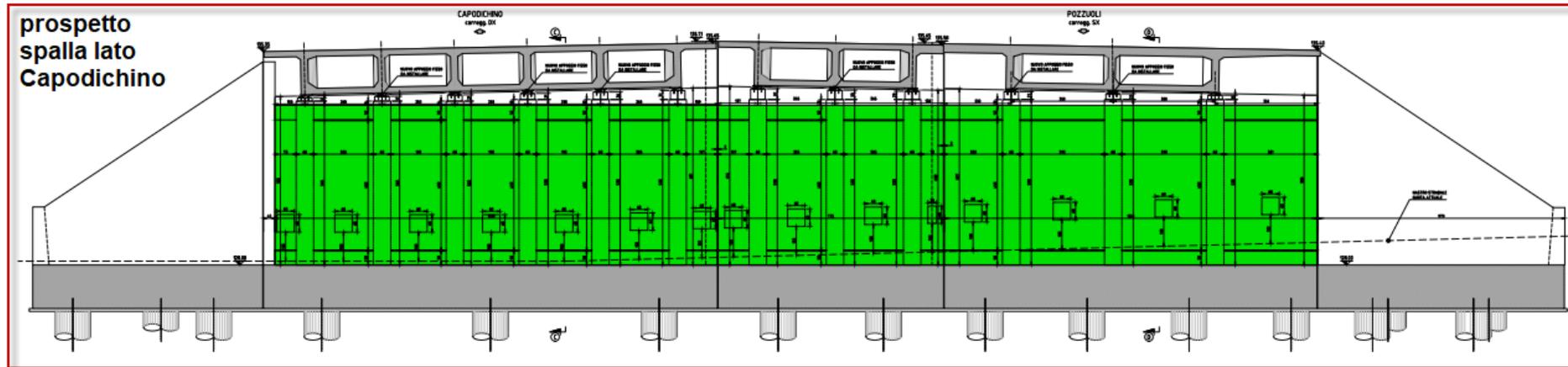
# Interventi di adeguamento



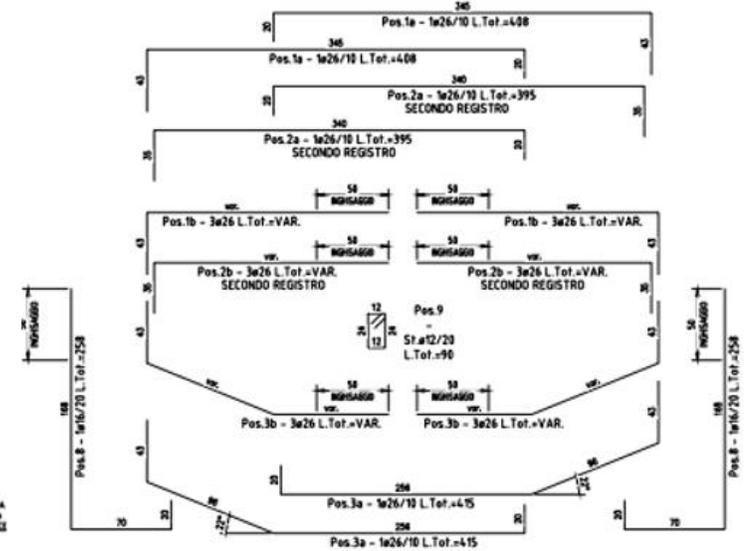
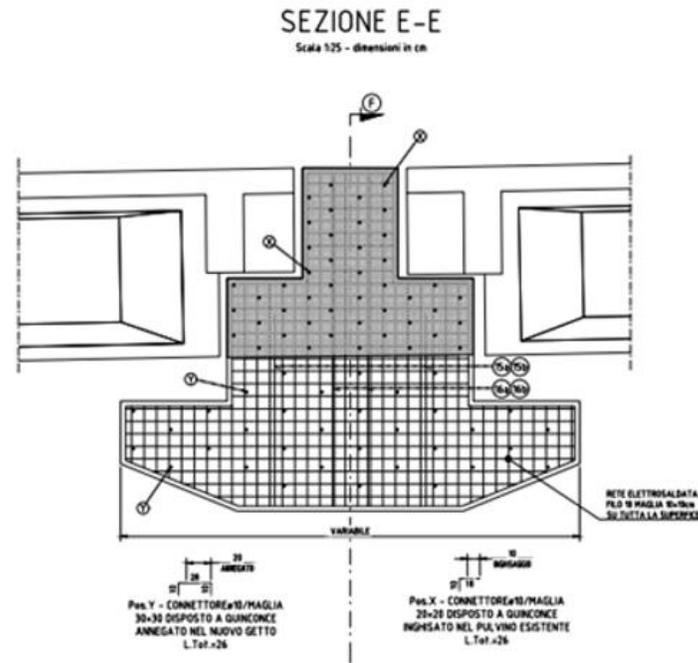
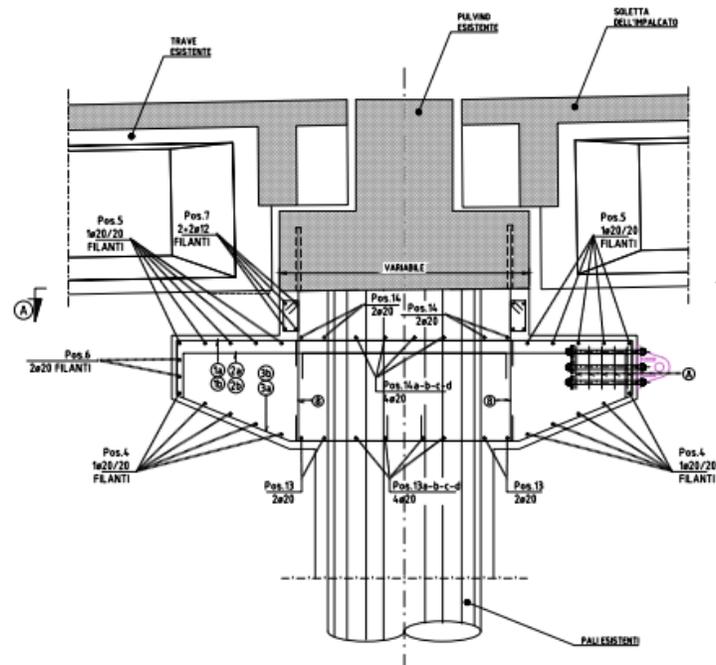
# Interventi di adeguamento



# Interventi sulle sottostrutture e fondazioni



# Progetto di Adeguamento Pile 1 e 2

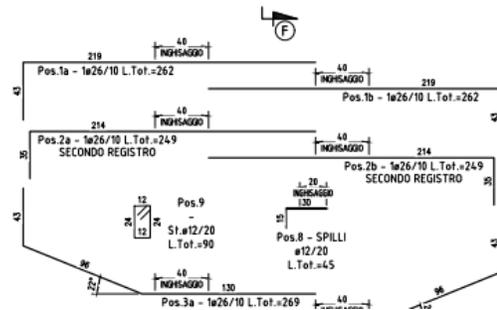
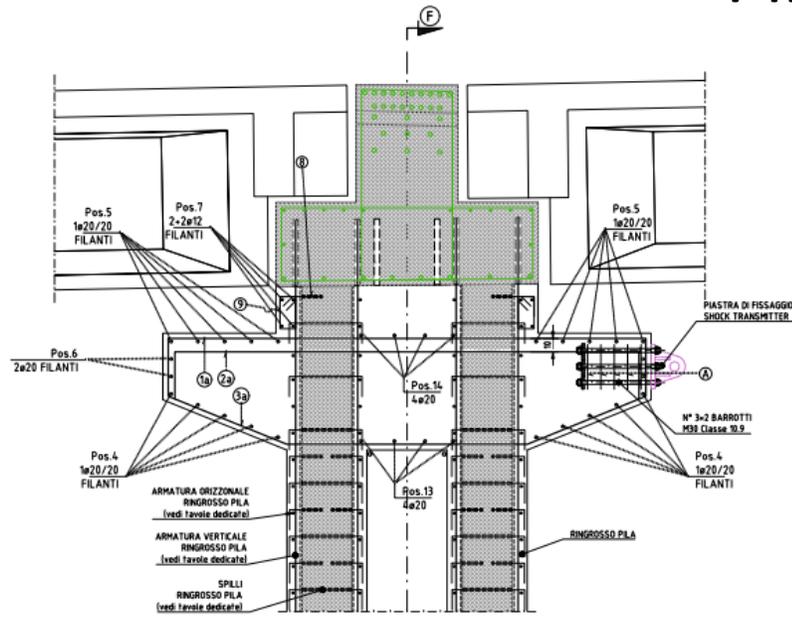




# Progetto di Adeguamento Pile 3 e 5

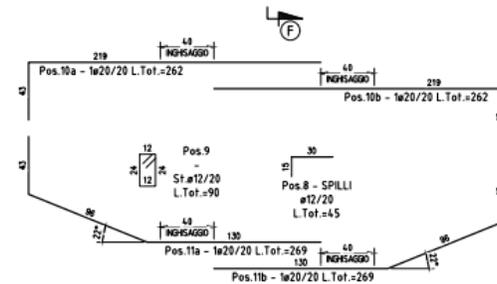
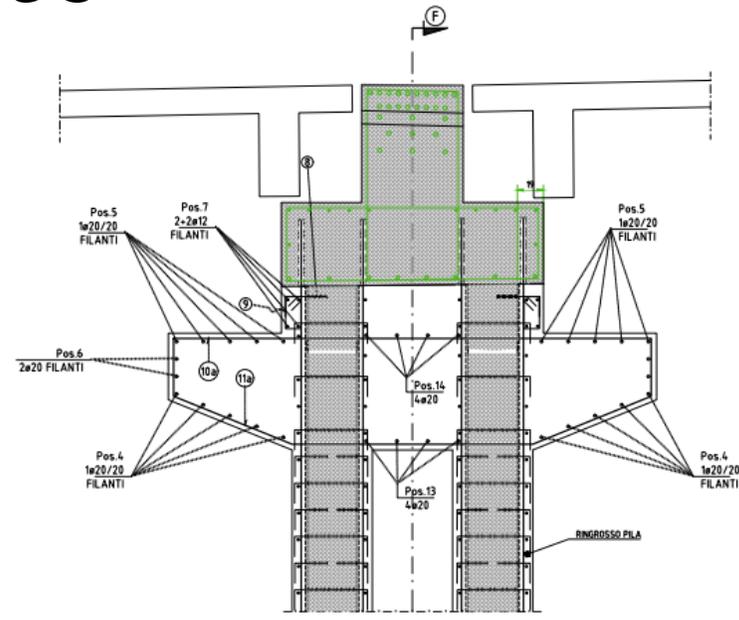
SEZIONE A-A

Scala 1:25 - dimensioni in cm

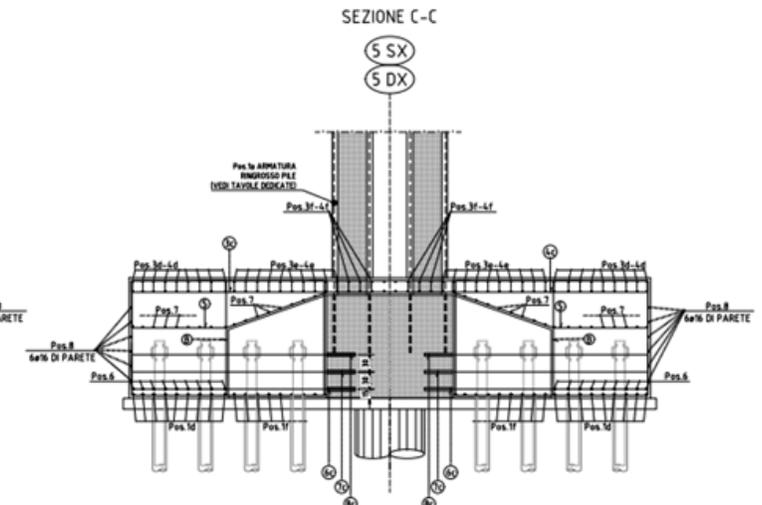
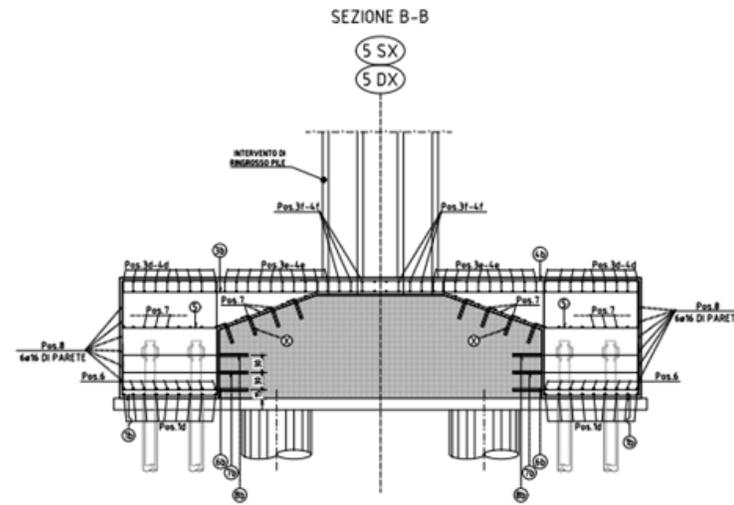
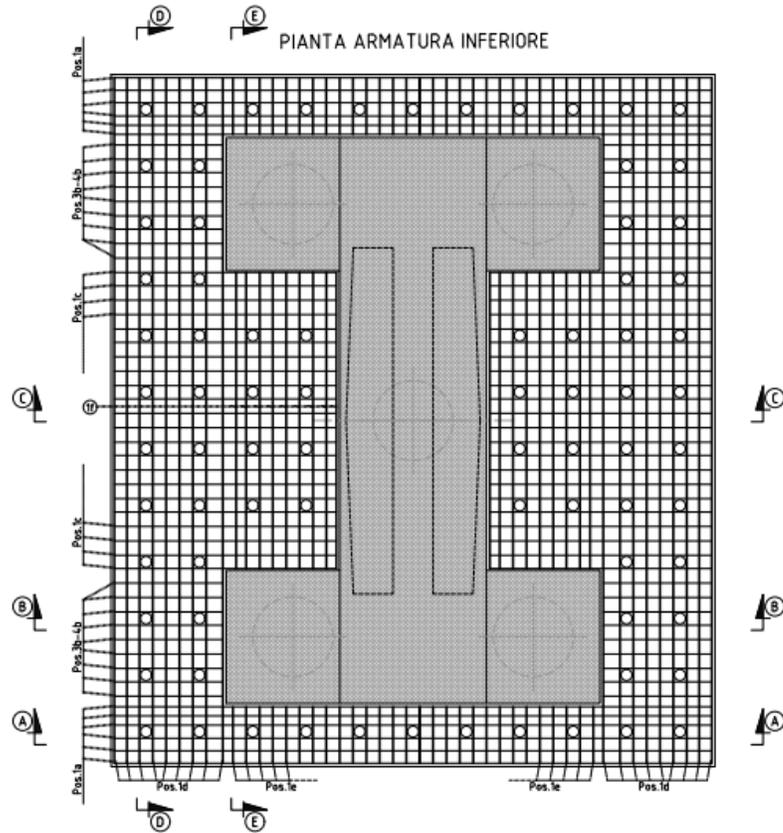


SEZIONE B-B

Scala 1:25 - dimensioni in cm



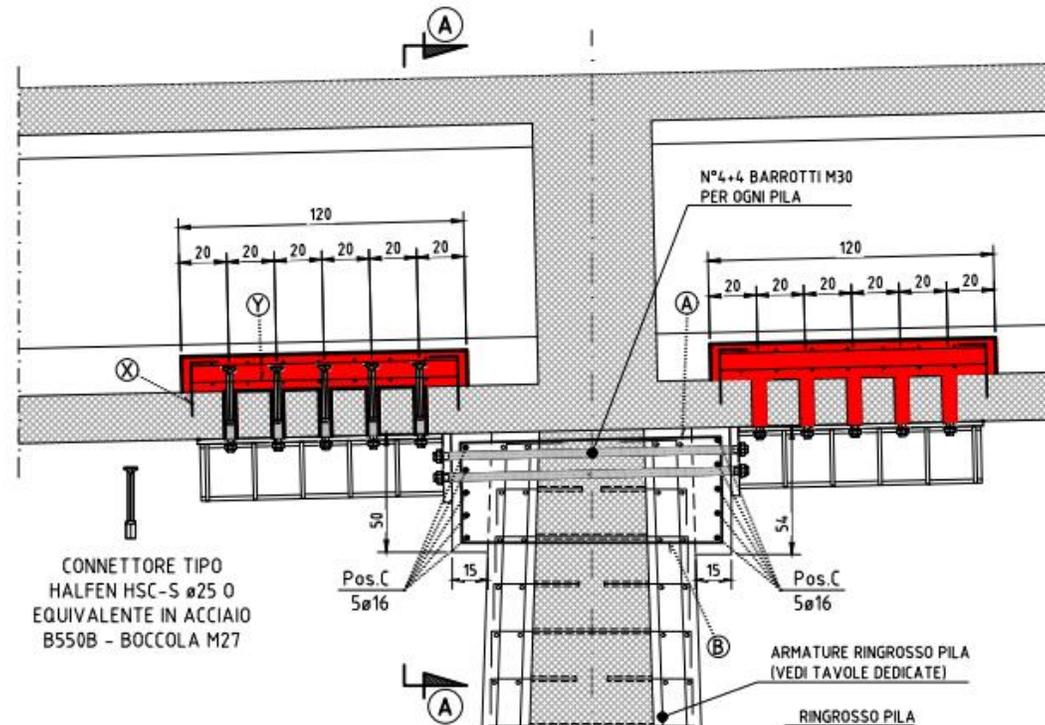
# Progetto di Adeguamento Fondazione di pila 5



# Progetto di Adeguamento Collegamenti sulle pile 6 e 7

## SEZIONE B-B

Scala 1:25 - dimensioni in cm



# Progetto di Adeguamento Collegamenti sulle pile 6 e 7

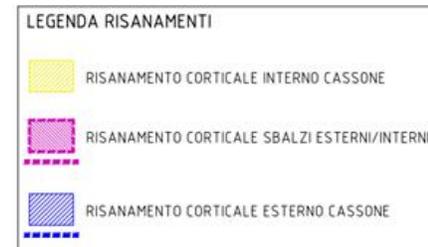
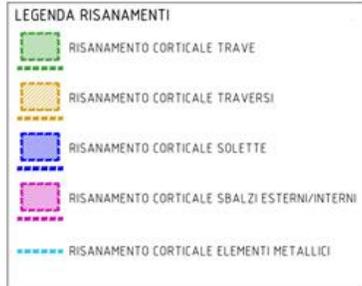
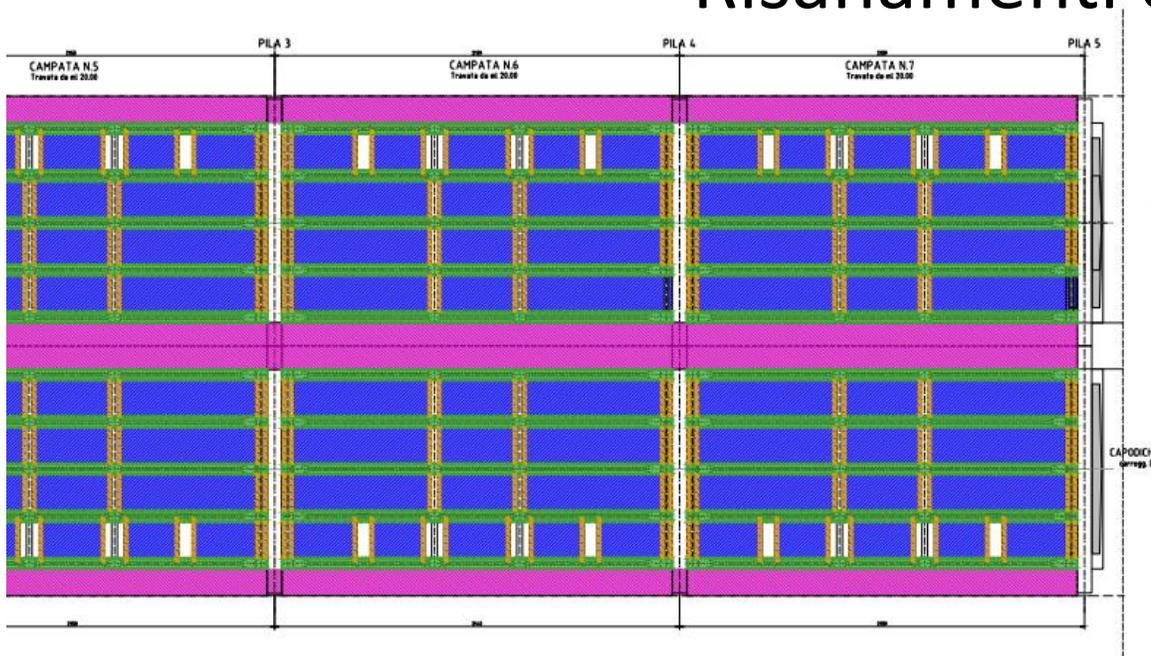
Sezione trasversale







# Risanamenti conservativi



# Risanamenti conservativi

## NOTE DI ESECUZIONE

IL RISANAMENTO CORTICALE DOVRA' AVVENIRE SECONDO LE SEGUENTI FASI OPERATIVE:

- RIMOZIONE DI TUTTE LE PORZIONI DI CALCESTRUZZO FRIABILI, NON COERENTI O IN FASE DI DISTACCO, ESEGUENDO UN' ANGOLATURA A 90° LUNGO IL PERIMETRO, ULTERIORE DEMOLIZIONE ALLE SPALLE DELLE BARRE DI ARMATURA ALLA FINE DI CONSENTIRE UNIFORMITA' ALLA NUOVA MALTA;
- PULIZIA DEI FERRI D'ARMATURA AFFIORANTI, MEDIANTE SPAZZOLATURA A MANO O MECCANICA, ATTA A RIMUOVERE ED ASPORTARE OSSIDAZIONI, AGGRESSIVI CHIMICI, PARTI SUPERFICIALI INCOERENTI ED EVENTUALI RESIDUI DI OLI, GRASSI, SPORCO E IN GENERALE QUALSIASI ALTRO MATERIALE CONTAMINANTE, FINO A PORTARE LA SUPERFICIE A METALLO BIANCO;
- EVENTUALE SOSTITUZIONE E/O AGGIUNTA DI ARMATURE METALLICHE CORROSE E/O AMMALORATE CON BARRE TIPO B450C;
- TRATTAMENTO PASSIVANTE DEI FERRI D'ARMATURA, MEDIANTE APPLICAZIONE A PENNELLO DI DOPPIA MANO DI MALTA CEMENTIZIA ANTICORROSIVA, MONO- COMPONENTE, A BASE DI LEGANTI CEMENTIZI, POLIMERI IN POLVERE E INIBITORI DI CORROSIONE;
- PULIZIA DI TUTTE LE SUPERFICI MEDIANTE IDROLAVAGGIO A BASSA PRESSIONE;
- AD AVVENUTA ASCIUGATURA DELLE SUPERFICI APPLICAZIONE DI MALTA TISSOTROPICA MONOCOMPONENTE A RITIRO COMPENSATO, PER LO SPESSORE ADATTO ALLA RICOSTRUZIONE DELL' ORIGINARIA SEZIONE DELL'ELEMENTO TRATTATO, DI SPESSORE DA 10 a 50 mm PER SINGOLO STRATO.

## DETTAGLIO STRATI INTERVENTO DEL RISANAMENTO CORTICALE

NON IN SCALA

