

S.S.121 "Catanesa"  
Intervento S.S.121 – Tratto Palermo (A19) – rotatoria Bolognetta

**PROGETTO DEFINITIVO**

COD. UP62

**PROGETTAZIONE: ATI VIA - SERING - VDP - BRENG**

**RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:**

*Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma A27296)*

**GRUPPO DI PROGETTAZIONE**

**MANDATARIA:**

**MANDANTI:**

**PROGETTISTA:**

Responsabile Tracciato stradale: *Dott. Ing. Massimo Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma 26031)*  
 Responsabile Strutture: *Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma 27296)*  
 Responsabile Idraulica, Geotecnica e Impianti: *Dott. Ing. Sergio Di Maio (Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)*  
 Responsabile Ambiente: *Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)*



**GEOLOGO:**

*Dott. Geol. Enrico Curcuruto (Ord. Geo. Regione Sicilia 966)*

**COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:**

*Dott. Ing. Matteo Di Girolamo (Ord. Ing. Prov. Roma 15138)*

**RESPONSABILE SIA:**

*Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)*



**VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:**

*Dott. Ing. Luigi Mupo*

**MONITORAGGIO GEOTECNICO – STRUTTURALE**

**PIANO DI MONITORAGGIO**

Relazione Viadotti, Gallerie artificiali  
e opere minori



CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	UP62_P00GE00MOGRE01_B			
DPUP0062	D 23	CODICE ELAB.	P00GE00MOGRE01	B	-
D		-	-	-	-
C		-	-	-	-
B	Revisione a seguito Riesame ANAS	Nov. 2023	E.Soltani	E.Stramacci	G.PIAZZA
A	EMISSIONE	Feb 2023	E.Soltani	E.Stramacci	G.PIAZZA
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

SS 121 "Cataneese" <i>Itinerario Palermo – Agrigento – S.S. 121 Tratto A19 – Bolognetta</i>		 <b>anas</b> GRUPPO FS ITALIANE
UP62	<b>Piano di monitoraggio – Relazione Viadotti, Gallerie artificiali e opere minori</b>	

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>RIFERIMENTI TECNICI E NORMATIVI</b> .....	<b>2</b>
	2.1 Normative, raccomandazioni e linee guida .....	2
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO DEL PROGETTO</b> .....	<b>2</b>
	3.1 Viadotti.....	3
	3.2 Gallerie artificiali.....	5
	3.3 Gallerie naturali .....	9
	3.4 Cavalcavia.....	12
	3.5 Opere di sostegno.....	14
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO LOCALE</b> .....	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>OBIETTIVI DEL MONITORAGGIO</b> .....	<b>18</b>
	5.1 Sistema di controllo e monitoraggio .....	19
	5.2 Soglie di riferimento, condizioni di attenzione e di allarme.....	20
	5.3 Frequenza dei rilevamenti .....	21
<b>6</b>	<b>STRUMENTAZIONE MONITORAGGIO</b> .....	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>SEZIONI TIPO MONITORAGGIO</b> .....	<b>29</b>
	7.1 Viadotti e cavalcavia .....	29
	7.2 Gallerie artificiali – tipo scatolare .....	32
	7.3 Gallerie artificiali – tipo paratie di pali .....	34
	7.4 Paratie, muri su pali, muri su fondazione diretta e rilevati .....	37

SS 121 "Catanesa" <i>Itinerario Palermo – Agrigento – S.S. 121 Tratto A19 – Bolognetta</i>		
UP62	<b>Piano di monitoraggio – Relazione Viadotti, Gallerie artificiali e opere minori</b>	

## 1 PREMESSA

---

In ottemperanza a quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018 (NTC-18), la progettazione e realizzazione di opere geotecniche deve avvalersi di adeguati piani di controllo e sistemi di monitoraggio in corso d'opera a supporto della fase di costruzione delle opere di progetto.

Il monitoraggio ha lo scopo di verificare la corrispondenza tra le ipotesi progettuali e i comportamenti osservati in corso d'opera e di monitorare, appunto, la funzionalità nel tempo non solo dei manufatti ma dell'intero sistema opera-terreno. A tal fine, è stata predisposta lungo tutta l'opera di progetto una rete strumentale volta alla misurazione di grandezze fisiche significative per la comprensione del comportamento dei terreni all'intorno dell'opera in costruzione e dell'opera stessa.

Nella presente relazione verrà quindi proposto un piano di monitoraggio per le opere del Progetto Definitivo dell'“Itinerario Palermo – Agrigento – S.S. 121 Tratto A19 - Bolognetta”.

## 2 RIFERIMENTI TECNICI E NORMATIVI

---

### 2.1 Normative, raccomandazioni e linee guida

- ✓ DM 17/01/2018. Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni
- ✓ Circolare 21/01/2019 n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'“Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al DM 17/01/2018
- ✓ ANAS, IT.PRL.05.10 – Capitolato Speciale di Appalto - RILIEVI, INDAGINI E MONITORAGGIO
- ✓ Linee Guida ANAS sul Monitoraggio Geotecnico-Strutturale e Geomorfologico.

## 3 INQUADRAMENTO DEL PROGETTO

---

Il tratto in esame ha uno sviluppo di circa 16,5 Km ed interessa la frazione iniziale dell'itinerario. Esso è compreso tra lo svincolo presente sulla A19, che collega le città di Palermo e Catania e la rotatoria di Bolognetta (comune di Palermo e situato a sud-est del capoluogo) e prevede, inoltre, una bretella di raccordo con la SS113 “Settentrionale Sicula”, connessa tramite la rotatoria di Bagheria.

SS 121 "Cataneese" Itinerario Palermo – Agrigento – S.S. 121 Tratto A19 – Bolognetta		 <b>anas</b> GRUPPO FS ITALIANE
UP62	<b>Piano di monitoraggio – Relazione Viadotti, Gallerie artificiali e opere minori</b>	

### 3.1 Viadotti

Il progetto prevede la realizzazione di 12 viadotti su 2 carreggiate DX e SX e 3 viadotti con un'unica carreggiata, per uno sviluppo complessivo di circa 8280 m.

		PROGRESSIVE		IMPALCATI	N° TRAVI	H TRAVI (m)	N° CAMPATE	POLOGIA CAM	L <sub>tot</sub> (m)
<b>VI01</b>	FERROVIA	0+485.50	0+555.50	UNICO	<b>4</b>	1.50	3	20-30-20	70
<b>VI02 DX</b>	ELEUTERIO 1	1+548.00	1+948.00	DX	<b>2</b>	4.20	5	65-90-65	400
<b>VI02 SX</b>	ELEUTERIO 1	1+548.00	1+948.00	SX	<b>2</b>	4.20	5	65-90-65	400
<b>VI03 DX</b>	FONDOVILLA	3+767.37	4+387.09	DX	<b>2</b>	1.80	16	30-40-30	620
<b>VI03 SX</b>	FONDOVILLA	3+690.00	4+390.00	SX	<b>2</b>	1.80	18	30-40-30	700
<b>VI04 DX</b>	SEGRETARIA	4+652.97	4+832.90	DX	<b>2</b>	1.80	5	30-40-30	180
<b>VI04 SX</b>	SEGRETARIA	4+656.00	4+836.00	SX	<b>2</b>	1.80	5	30-40-30	180
<b>VI05 DX</b>	VALANCA	5+140.50	5+220.50	DX	<b>3</b>	2.00 → 3.00 → 2.00	2	40-40	80
<b>VI05 SX</b>	VALANCA	5+141.83	5+220.90	SX	<b>2*</b>	2.00 → 3.00 → 2.00	2	40-40	80
<b>VI06 DX</b>	PALMERINO	6+278.70	5+578.70	DX	<b>2</b>	1.80	8	30-40-30	300
<b>VI06 SX</b>	PALMERINO	6+240.00	6+580.00	SX	<b>2</b>	1.80	9	30-40-30	340
<b>VI07 DX</b>	S. ANTONIO	7+169.84	7+469.76	DX	<b>2</b>	1.80	8	30-40-30	300
<b>VI07 SX</b>	S. ANTONIO	7+173.00	7+473.00	SX	<b>2</b>	1.80	8	30-40-30	300
<b>VI08 DX</b>	RIGANO	8+068.00	8+208.00	DX	<b>3</b>	2.00 → 3.00 → 2.00	3	40-60-40	140
<b>VI08 SX</b>	RIGANO	8+070.93	8+209.82	SX	<b>2*</b>	2.00 → 3.00 → 2.00	3	40-60-40	140
<b>VI09 DX</b>	ELEUTERIO 2	8+674.21	9+054.21	DX	<b>2*</b>	2.00 → 3.00 → 2.00	7	40-60-40	380
<b>VI09 SX</b>	ELEUTERIO 2	8+672.00	9+052.00	SX	<b>2*</b>	2.00 → 3.00 → 2.00	7	40-60-40	380
<b>VI10 DX</b>	FEOTTO	9+992.00	10+612.00	DX	<b>2*</b>	2.00 → 3.00 → 2.00	11	40-60-40	620
<b>VI10 SX</b>	FEOTTO	10+037.00	10+657.00	SX	<b>2*</b>	2.00 → 3.00 → 2.00	11	40-60-40	620
<b>VI11 DX</b>	BRASCHI	10+711.00	10+931.00	DX	<b>2</b>	1.80	6	30-40-30	220
<b>VI11 SX</b>	BRASCHI	10+778.00	10+918.00	SX	<b>2*</b>	1.80	4	30-40-30	140
<b>VI12 DX</b>	CODA DI VOLPE	11+998.66	12+198.17	DX	<b>2</b>	2.00 → 3.00 → 2.00	4	40-60-40	200
<b>VI12 SX</b>	CODA DI VOLPE	12+020.00	12+220.00	SX	<b>2*</b>	2.00 → 3.00 → 2.00	4	40-60-40	200
<b>VI13 DX</b>	RECUPERO	12+500.00	12+760.00	DX	<b>2</b>	2.00 → 3.00 → 2.00	5	40-60-40	260
<b>VI13 SX</b>	RECUPERO	12+582.27	12+782.27	SX	<b>2</b>	2.00 → 3.00 → 2.00	4	40-60-40	200
<b>VI14</b>	MILICIA I	14+690.00	14+910.00	UNICO	<b>2*</b>	2.40 → 3.50 → 2.40	5	50-70-50	310
<b>VI15</b>	MILICIA II	12+125.00	15+750.00	UNICO	<b>2*</b>	2.40 → 3.50 → 2.41	8	50-70-51	520

L'impalcato previsto è a struttura mista acciaio-calcestruzzo, con sezione trasversale "aperta" costituita da due o tre travi metalliche principali di altezza costante in alcuni casi, variabile in altri, come indicato in figura.

Le strutture in carpenteria metallica sono previste in acciaio autopatinabile (COR-TEN), fatta eccezione per il viadotto VI01, per cui si prevede l'utilizzo di acciaio per impieghi strutturali secondo UNI EN 10025-1÷4. Le travi principali saranno realizzate mediante lamiere saldate. Le anime delle travi principali saranno irrigidite da stiffeners trasversali, composti da semplici piatti saldati, disposti in corrispondenza dei traversi. Il graticcio d'impalcato è completato dai traversi, del tipo ad anima piena, posti in campata ed in corrispondenza degli allineamenti di appoggio. L'interasse tra i traversi è variabile in campata e costante in prossimità delle pile. Anche i traversi hanno sezione a doppio T composta mediante lamiere saldate.

Per quanto attiene i collegamenti, i concetti delle travi principali saranno interamente saldati con saldature a piena penetrazione, mentre i collegamenti tra trasversi e travi principali saranno di tipo bullonato.

I controventi a croce hanno esclusiva funzione di irrigidimento della struttura in fase di montaggio. Al termine della maturazione dei getti della soletta d'impalcato i controventi dovranno essere tassativamente rimossi.

La soletta di impalcato, solidarizzata alle travi principali, ha spessore costante.

È previsto l'impiego di lastre prefabbricate autoportanti (predalles) in c.a. tessute in direzione trasversale. La solidarizzazione della soletta alla trave metallica sarà garantita tramite connettori a piolo tipo Nelson. Nella figura seguente è riportata la sezione rappresentativa dell'impalcato:

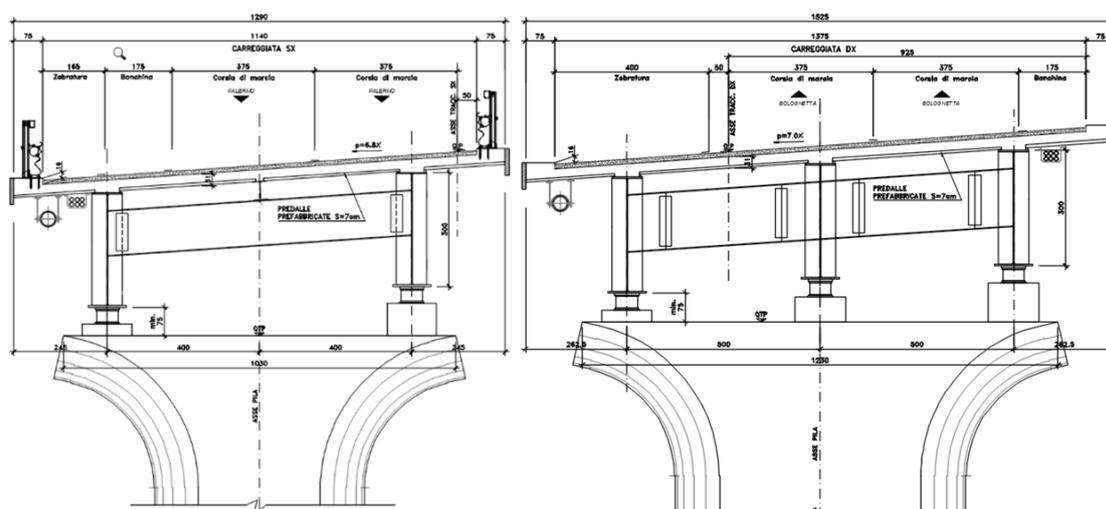


Figura 3-1 Sezione trasversale impalcato in campata

Lo schema di vincolo prevede l'adozione di dispositivi di appoggio costituiti da isolatori elastomerici. Pertanto, le azioni orizzontali trasversali e longitudinali vengono trasmesse a tutte le sottostrutture. Alle estremità dell'impalcato sono previsti giunti di dilatazione in elastomero armato in corrispondenza della piattaforma carrabile e giunti di cordolo in corrispondenza degli elementi marginali.

Le due spalle del viadotto sono di tipo tradizionale con muro frontale e paraghiaia, debitamente arretrato rispetto alle travi d'impalcato in modo da garantire un varco di ampiezza adeguata alla manutenzione.

Per il contenimento dei rilevati di approccio sono previsti muri di risvolto.

Le fondazioni delle spalle sono di tipo indiretto, costituite da zattere e palificate di pali trivellati e micropali. Laddove le spalle sulle 2 carreggiate non risultano allineate è prevista la realizzazione di muri intervia su fondazione diretta.

Le pile sono a setto, con l'unica eccezione per il viadotto VI02, per cui sono previste sezioni cave. In ogni caso le estremità delle sezioni sono arrotondate e sono sormontate da un pulvino a calice. Le fondazioni sono di tipo indiretto costituite da zattere e palificate di pali trivellati e micropali.

SS 121 "Catanese" Itinerario Palermo – Agrigento – S.S. 121 Tratto A19 – Bolognetta		 GRUPPO FS ITALIANE
UP62	<b>Piano di monitoraggio – Relazione Viadotti, Gallerie artificiali e opere minori</b>	

### 3.2 Gallerie artificiali

Lungo lo sviluppo del tracciato in oggetto si prevede la realizzazione di 5 Gallerie artificiali.

		PROGRESSIVE		L <sub>tot</sub> (m)
<b>GA01 DX</b>	SVINCOLO	1+207.34	1+277.51	70
<b>GA01 SX</b>	SVINCOLO	1+210.00	1+280.00	70
<b>GA02 DX</b>	BASSANO	4+403.50	4+613.50	210
<b>GA02 SX</b>	BASSANO	4+400.00	4+610.00	210
<b>GA03 DX</b>	INCORBINA	5+795.00	5+935.00	155
<b>GA03 SX</b>	INCORBINA	5+794.35	5+9191.5	125
<b>GA04 DX</b>	SAVONA	9+870.00	9+915.00	45
<b>GA04 SX</b>	SAVONA	9+880.00	9+960.00	80
<b>GA05 DX</b>	AMARI	12+270.00	12+430.00	160
<b>GA05 SX</b>	AMARI	12+292.00	12+452.00	160

Per le gallerie GA01 e GA02 sono previste strutture scatolari a doppia canna.

Sono strutture a telaio in cui soletta di fondazione e piedritti sono elementi in cemento armato gettati opera, mentre la copertura è costituita da travi prefabbricate solidarizzate alla struttura attraverso un getto in c.a. di completamento.

Per le gallerie GA03, GA04 e GA05 invece si prevede uno schema strutturale composto da paratie di pali accostati e solette di cemento armato gettate in opera con funzione di contrasto nei confronti delle spinte di terreno. Le gallerie GA03 e GA05 sono a doppia canna, mentre la GA04 ha un'unica canna.

Le fasi costruttive per le paratie di pali previste sono le seguenti:

1. Sbancamento fino alla quota di imposta del solettone di copertura
2. Esecuzione paratie di pali della galleria artificiale
3. Esecuzione e impermeabilizzazione della soletta di copertura
4. Ritombamento delle gallerie artificiali
5. Rimodellamento secondo progetto
6. Esecuzione scavo progressivo del terreno sotto copertura fino alla quota di imposta della soletta di fondo
7. Esecuzione del solettone di fondo e completamento finiture interne

Si riporta una sezione tipo delle gallerie:

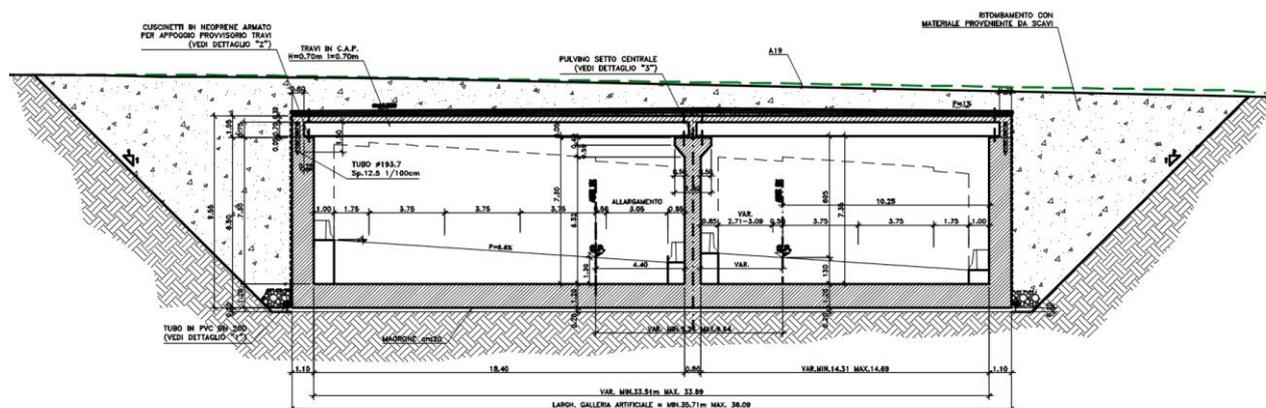


Figura 3-2 Sezione trasversale galleria artificiale doppia canna GA01

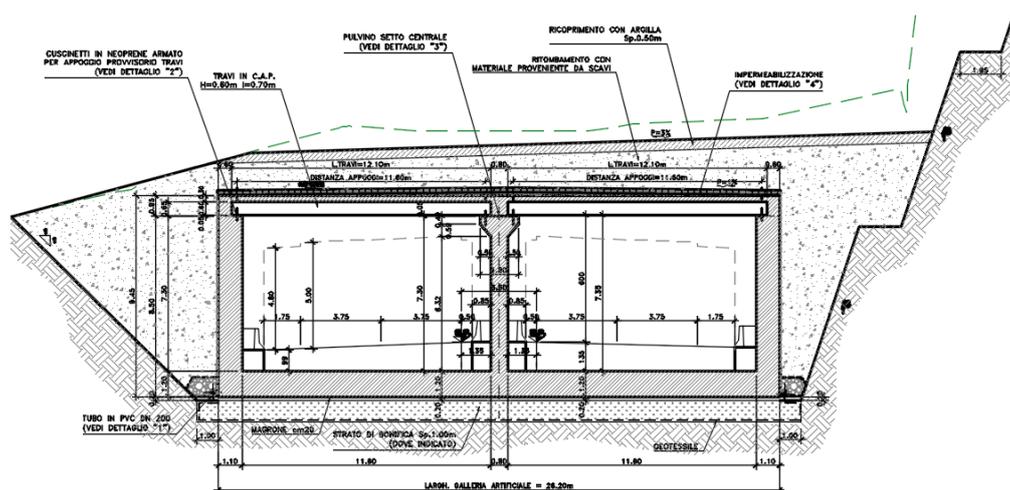


Figura 3-3 Sezione trasversale galleria artificiale doppia canna GA02

Gli elementi strutturali per la GA01 e la GA02 sono i seguenti:

- Soletta di fondazione in c.a. di spessore 1.20 m;
- Piedritti in c.a. di spessore 1.10 m;
- Travi in c.a.p. di altezza 0.70 m per la GA01 e 0.60 m per la GA02 m e interasse 0.70 m;
- Soletta di completamento di spessore 0.30 m.

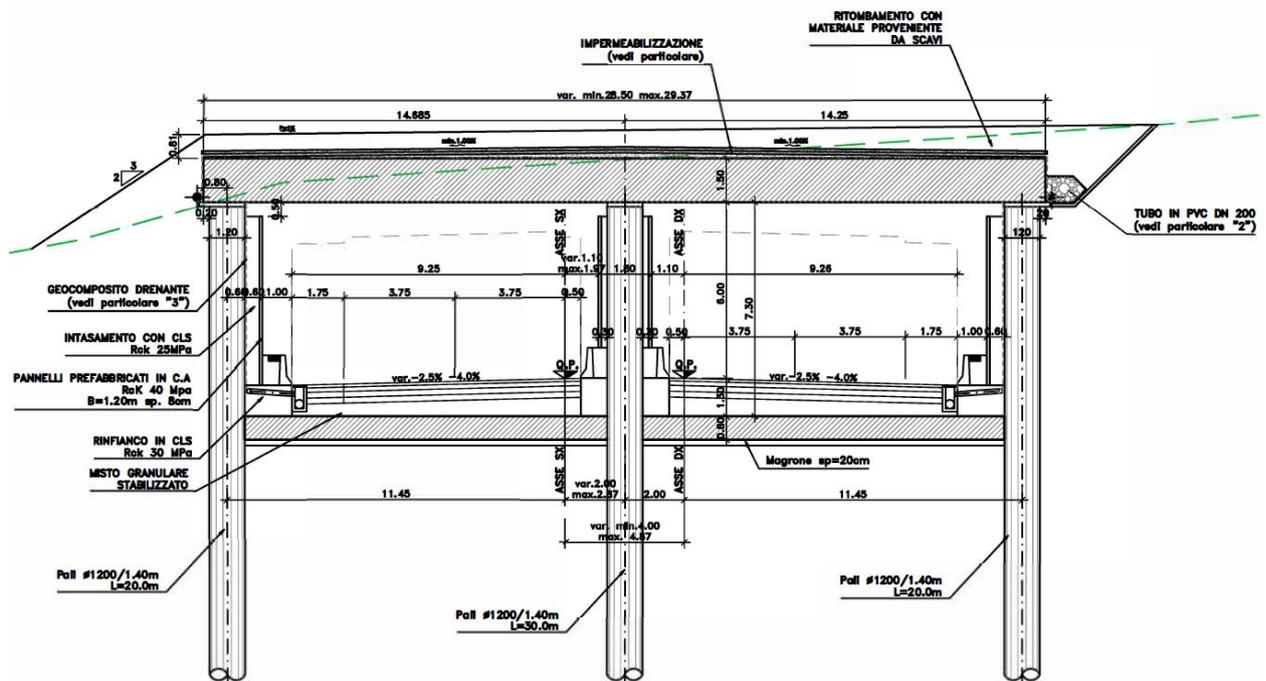


Figura 3-4 Sezione trasversale galleria artificiale di pali a doppia canna GA03 e GA05

Gli elementi strutturali per la GA03 e la GA05 sono i seguenti:

- Pali trivellati in c.a. di diametro 1.20 m ad interasse 1.40 m, la lunghezza dei pali laterali è di 20 m, e di quelli centrali è di 30 m;
- Soletta di copertura in c.a. di spessore 1.50 m;
- Soletta di fondazione in c.a. di spessore 0.80 m.

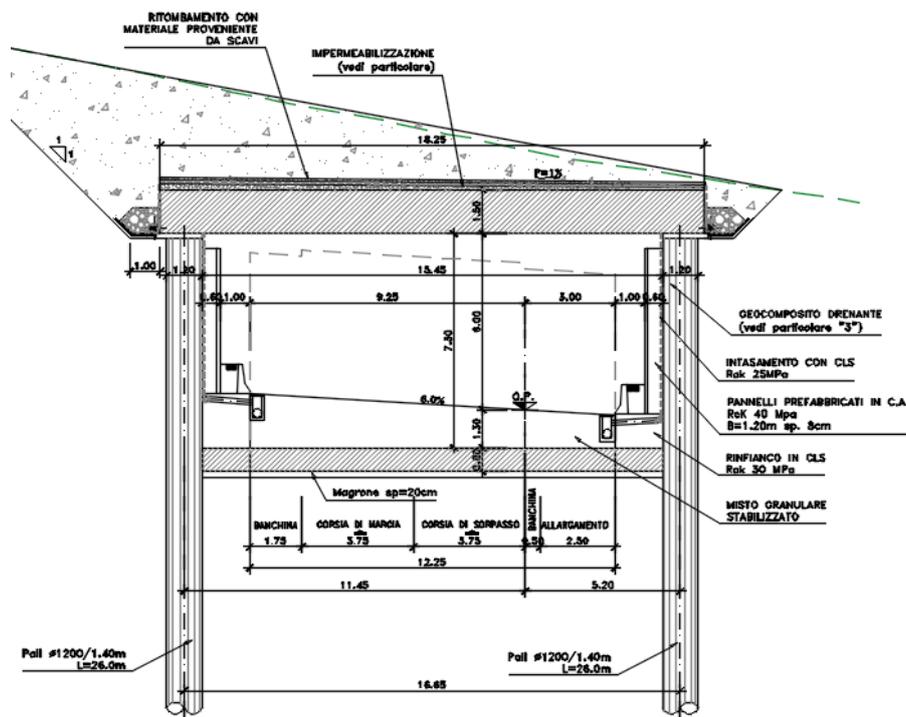


Figura 3-5 Sezione trasversale galleria artificiale di pali a singola canna GA04

Gli elementi strutturali per la GA04 sono i seguenti:

- Pali trivellati in c.a. di diametro 1.20 m ad interasse 1.40 m, la lunghezza massima dei pali è di 26 m;
- Soletta di copertura in c.a. di spessore 1.50 m;
- Soletta di fondazione in c.a. di spessore 0.80 m.

SS 121 "Catanesa" Itinerario Palermo – Agrigento – S.S. 121 Tratto A19 – Bolognetta		 <b>anas</b> GRUPPO FS ITALIANE
UP62	<b>Piano di monitoraggio – Relazione Viadotti, Gallerie artificiali e opere minori</b>	

### 3.3 Gallerie naturali

Lungo lo sviluppo del tracciato in oggetto si prevede la realizzazione di 3 Gallerie naturali.

		PROGRESSIVE		L <sub>tot</sub> (m)
<b>GN01D</b>	PIZZO CANNITA	1+956.40	3+050.00	1039.6
<b>GN01S</b>	PIZZO CANNITA	1+964.00	3+045.00	1081
<b>GN02D</b>	DON COLA	9+270.00	9+735.00	465
<b>GN02S</b>	DON COLA	9+270.00	9+755.00	485
<b>GN03D</b>	BOLOGNETTA	14+005.00	14+640.00	635

Le gallerie GN01 e GN02 sono a doppia canna, mentre la GN03 è a canna singola.

– GN01:

- in Dx Lato Palermo, dopo 7,60 m relativi al becco di flauto, si hanno 16 m di tratto in artificiale; lato Bolognetta, 25 m sono relativi al becco di flauto, 30 al tratto in artificiale, ed i rimanenti 1015 sono in naturale;
- in Sx Lato Palermo, dopo 7,60 m relativi al becco di flauto, si hanno 17,4 m di tratto in artificiale; lato Bolognetta, 25 m sono relativi al becco di flauto, 20 al tratto in artificiale, ed i rimanenti 1011 sono in naturale;
- il tracciato planimetrico si sviluppa per entrambe le canne parte in curva e parte in clotoide con un raggio massimo di 1560 m.

– GN02:

- in Dx Lato Palermo, dopo 25.0 m relativi al becco di flauto, si hanno 45 m di tratto in artificiale; lato Bolognetta, 25 m sono relativi al becco di flauto, 40 al tratto in artificiale, ed i rimanenti 330 sono in naturale;
- in Sx Lato Palermo, dopo 25.0 m relativi al becco di flauto, si hanno 25 m di tratto in artificiale; lato Bolognetta, 25 m sono relativi al becco di flauto, 25 al tratto in artificiale, ed i rimanenti 385 sono in naturale;
- il tracciato planimetrico si sviluppa per entrambe le canne parte in curva con un raggio di 990 m.

– GN03:

- Lato Palermo, dopo 25.0 m relativi al becco di flauto, si hanno 45 m di tratto in artificiale; lato Bolognetta, 25 m sono relativi al becco di flauto, 20 al tratto in artificiale, ed i rimanenti 520 sono in naturale;
- il tracciato planimetrico si sviluppa in rettilineo.

Si riportano di seguito le sezioni caratteristiche.

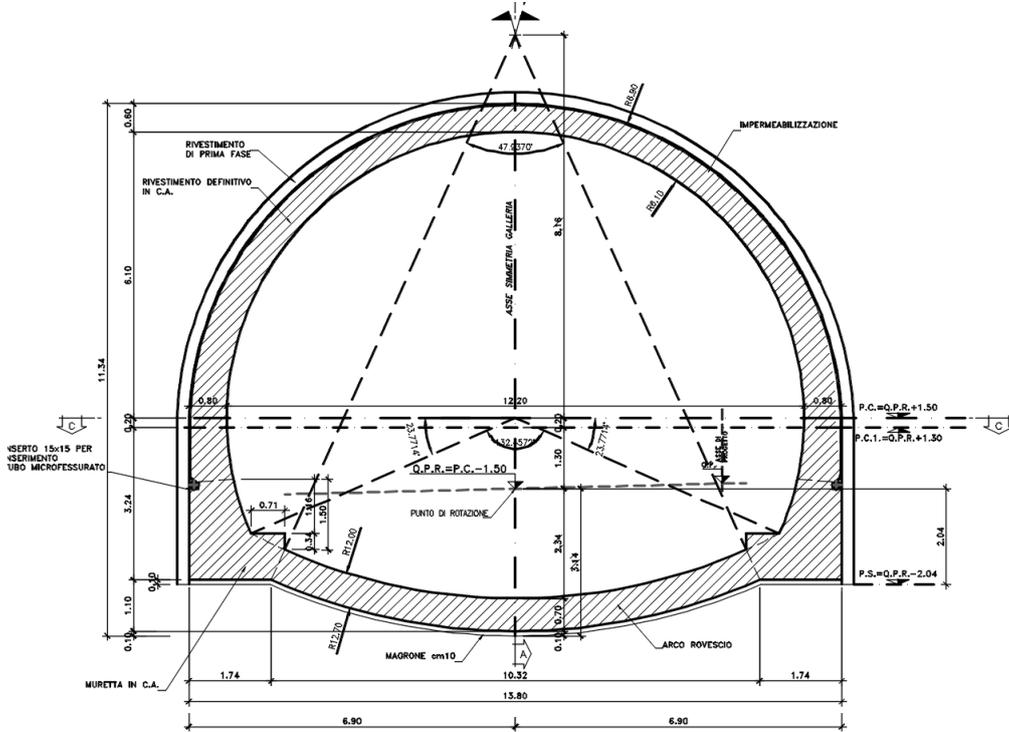


Figura 3-6 Sezione trasversale tipologica galleria naturale GN01

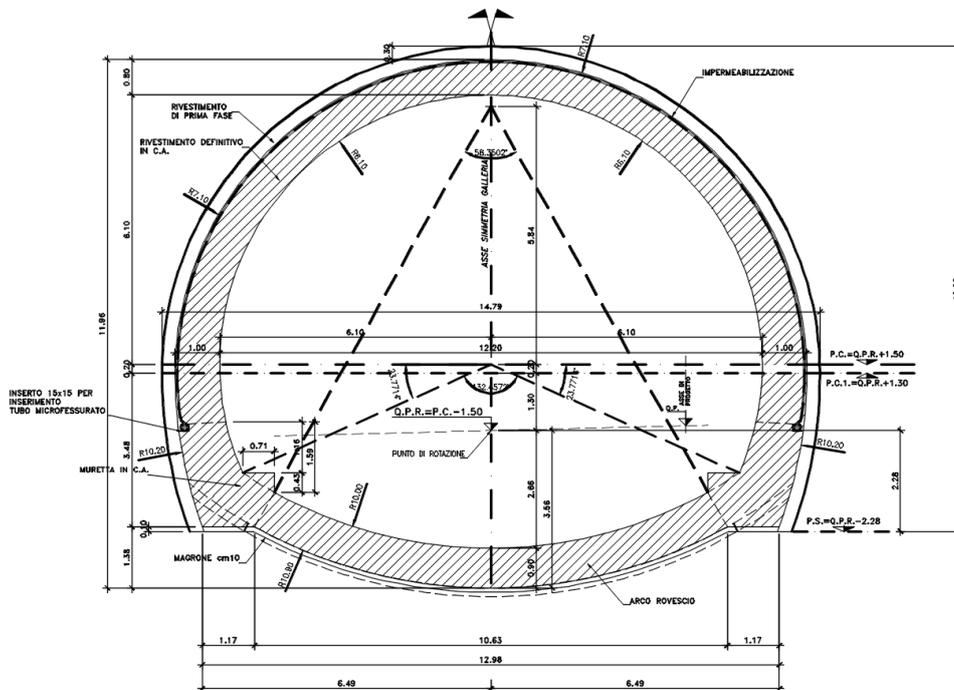


Figura 3-7 Sezione trasversale tipologica galleria naturale GN02

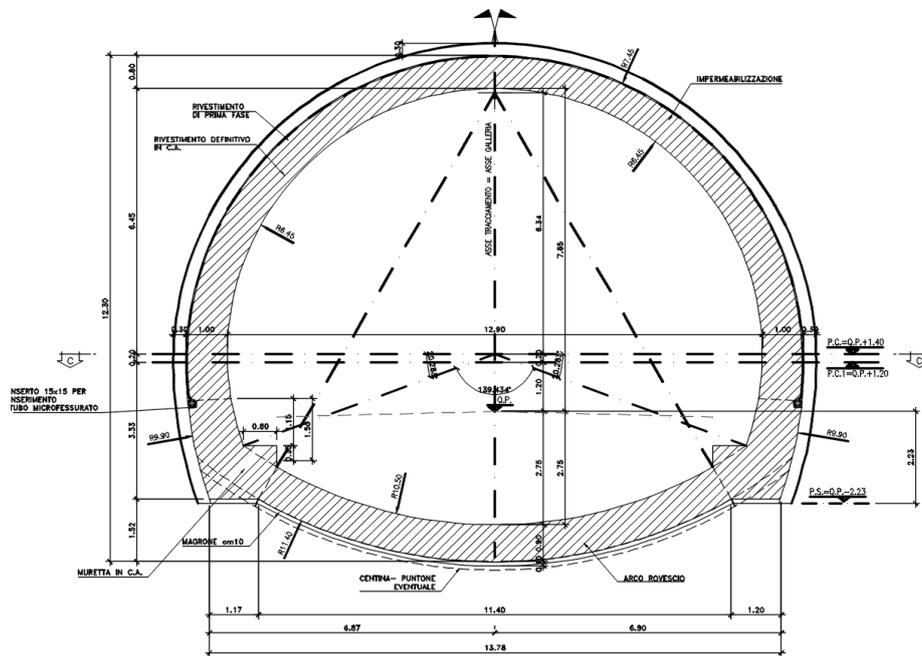


Figura 3-8 Sezione trasversale tipologica galleria naturale GN03

Il piano di monitoraggio relativo alle gallerie naturali verrà trattato nell'elaborato di riferimento.

### 3.4 Cavalcavia

Il progetto prevede la realizzazione di 1 cavalcavia.

		PROGRESSIVE		IMPALCATI	N° TRAVI	H TRAVI (m)	N° CAMPATE	POLOGIA CAM	L <sub>tot</sub> (m)
CV01 DX	CAVALCAVIA	1+036.13	1+076.13	DX	2	1.2	2	20-20	40
CV01 SX	CAVALCAVIA	1+036.14	1+076.14	SX	2	1.2	2	20-20	40

L'impalcato previsto è a struttura mista acciaio-calcestruzzo, con sezione trasversale "aperta" costituita da due travi metalliche principali di altezza costante.

Le strutture in carpenteria metallica sono previste in acciaio autopatinabile (COR-TEN).

Le travi principali saranno realizzate mediante lamiera saldate. Le anime delle travi principali saranno irrigidite da stiffeners trasversali, composti da semplici piatti saldati, disposti in corrispondenza dei traversi. Il graticcio d'impalcato è completato dai traversi, del tipo ad anima piena, posti in campata ed in corrispondenza degli allineamenti di appoggio. L'interasse tra i traversi è variabile in campata e costante in prossimità delle pile. Anche i traversi hanno sezione a doppio T composta mediante lamiere saldate.

Per quanto attiene i collegamenti, i concetti delle travi principali saranno interamente saldati con saldature a piena penetrazione, mentre i collegamenti tra traversi e travi principali saranno di tipo bullonato.

I controventi a croce hanno esclusiva funzione di irrigidimento della struttura in fase di montaggio. Al termine della maturazione dei getti della soletta d'impalcato i controventi dovranno essere tassativamente rimossi.

La soletta di impalcato, solidarizzata alle travi principali, ha spessore costante. È previsto l'impiego di lastre prefabbricate autoportanti (predalles) in c.a. tessute in direzione trasversale. La solidarizzazione della soletta alla trave metallica sarà garantita tramite connettori a piolo tipo Nelson. Nella figura seguente è riportata la sezione rappresentativa dell'impalcato:

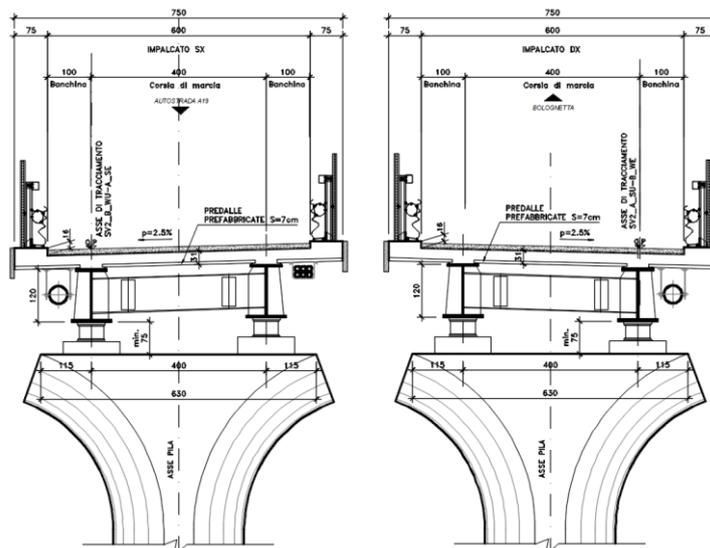


Figura 3-9 Sezione trasversale impalcato in campata

SS 121 "Cataneese" <i>Itinerario Palermo – Agrigento – S.S. 121 Tratto A19 – Bolognetta</i>		
UP62	<b>Piano di monitoraggio – Relazione Viadotti, Gallerie artificiali e opere minori</b>	

Lo schema di vincolo prevede l'adozione di dispositivi di appoggio costituiti da isolatori elastomerici. Pertanto, le azioni orizzontali trasversali e longitudinali vengono trasmesse a tutte le sottostrutture. Alle estremità dell'impalcato sono previsti giunti di dilatazione in elastomero armato in corrispondenza della piattaforma carrabile e giunti di cordolo in corrispondenza degli elementi marginali.

Le due spalle del viadotto sono di tipo tradizionale con muro frontale e paraghiaia, debitamente arretrato rispetto alle travi d'impalcato in modo da garantire un varco di ampiezza adeguata alla manutenzione.

Per il contenimento dei rilevati di approccio sono previsti muri di risvolto.

Le fondazioni delle spalle sono di tipo indiretto, costituite da zattere e palificate di micropali.

Le pile sono a setto, le estremità delle sezioni sono arrotondate e sono sormontate da un pulvino a calice. Le fondazioni sono di tipo indiretto costituite da zattere e palificate di micropali.

SS 121 "Catanesa" Itinerario Palermo – Agrigento – S.S. 121 Tratto A19 – Bolognetta		
UP62	<b>Piano di monitoraggio – Relazione Viadotti, Gallerie artificiali e opere minori</b>	

### 3.5 Opere di sostegno

In progetto sono inserite le seguenti opere di sostegno:

- Muri di sostegno a fondazione diretta

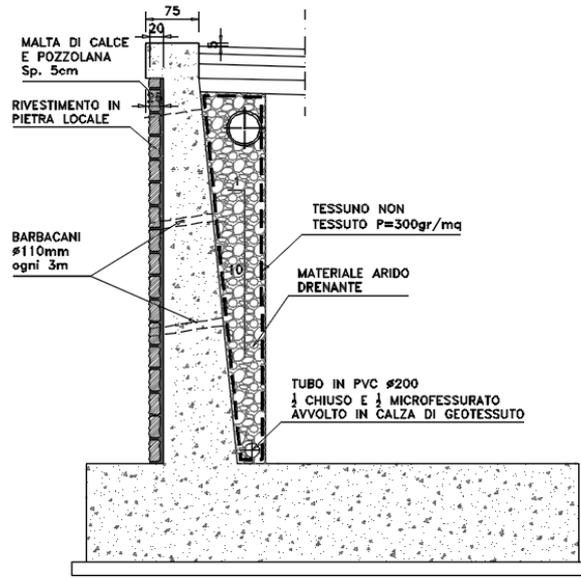


Figura 3-10 Sezione tipo muro di sostegno su fondazione diretta

- Muro di sostegno tipo H2 ("MSTD – H2"): per altezze del paramento  $H \leq 2.0$  m;
- Muro di sostegno tipo H3 ("MSTD – H3"): per altezze del paramento  $2.01 \text{ m} \leq H \leq 3.0$  m;
- Muro di sostegno tipo H4 ("MSTD – H4"): per altezze del paramento  $3.01 \text{ m} \leq H \leq 4.0$  m;
- Muro di sostegno tipo H5 ("MSTD – H5"): per altezze del paramento  $4.01 \text{ m} \leq H \leq 5.0$  m;
- Muro di sostegno tipo H6 ("MSTD – H6"): per altezze del paramento  $5.01 \text{ m} \leq H \leq 6.0$  m;
- Muro di sostegno tipo H7 ("MSTD – H7"): per altezze del paramento  $6.01 \text{ m} \leq H \leq 7.0$  m;
- Muro di sostegno tipo H8 ("MSTD – H8"): per altezze del paramento  $7.01 \text{ m} \leq H \leq 8.0$  m;
- Muro di sostegno tipo H9 ("MSTD – H9"): per altezze del paramento  $8.01 \text{ m} \leq H \leq 9.0$  m;
- Muro di sostegno tipo H10 ("MSTD – H10"): per altezze del paramento  $9.01 \text{ m} \leq H \leq 10.0$  m;

- Muri di sostegno su pali

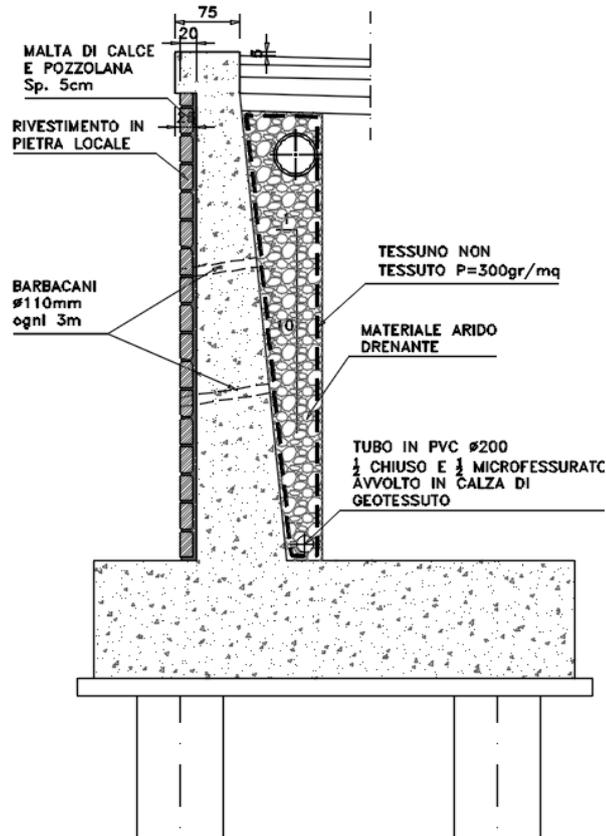


Figura 3-11 Sezione tipo muro di sostegno su pali

- Muro di sostegno tipo H3 ("MSTP – H3"): per altezze del paramento  $\leq H \leq 3.0$  m (n°pali 6);
- Muro di sostegno tipo H4 ("MSTP – H4"): per altezze del paramento  $3.01 \leq H \leq 4.0$  m (n°pali 6);
- Muro di sostegno tipo H5 ("MSTP – H5"): per altezze del paramento  $4.01 \leq H \leq 5.0$  m (n°pali 6);
- Muro di sostegno tipo H6 ("MSTP – H6"): per altezze del paramento  $5.01 \leq H \leq 6.0$  m (n°pali 6);
- Muro di sostegno tipo H7 ("MSTP – H7"): per altezze del paramento  $6.01 \leq H \leq 7.0$  m (n°pali 6);
- Muro di sostegno tipo H8 ("MSTP – H8"): per altezze del paramento  $7.01 \leq H \leq 8.0$  m (n°pali 6);
- Muro di sostegno tipo H9 ("MSTP – H9"): per altezze del paramento  $8.01 \leq H \leq 9.0$  m (n°pali 12);
- Muro di sostegno tipo H10("MSTP– H10"): per altezze del paramento  $9.01 \leq H \leq 10.0$  m (n°pali 12).

Il numero dei pali è riferito al singolo concio, di lunghezza pari a 10.80 m.

Si prevedono pali trivellati in c.a. di diametro 1.00 m ad interasse 3.60 m per altezze del paramento fino a 4.0 m e pali trivellati in c.a. di diametro 1.20 m, allo stesso interasse, per altezze del paramento maggiori.

- Paratia con un ordine di tiranti

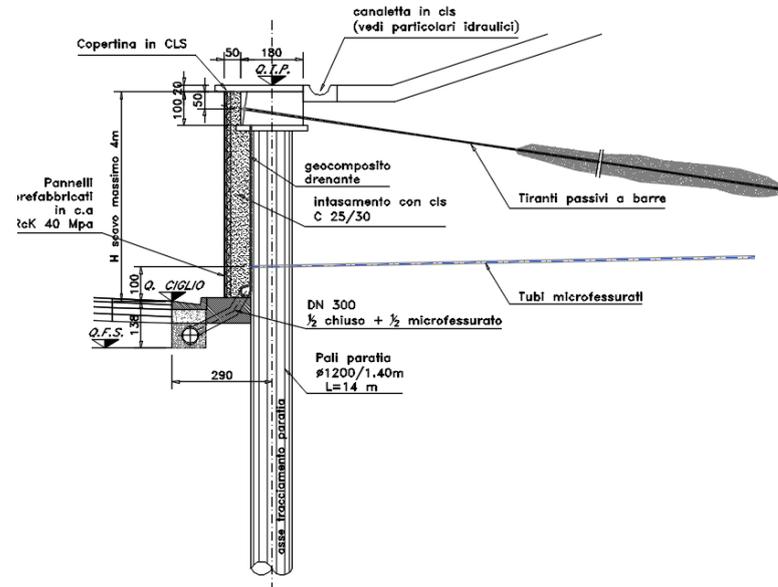


Figura 3-12 Sezione tipo paratia con un ordine di tiranti

La paratia è costituita da pali  $\phi 1200$  mm di lunghezza  $L_m = 14.0$  m e posti ad un interasse  $i = 1.40$  m. Lungo tutto lo sviluppo della paratia è presente un cordolo in c.a. di larghezza 1.80 m e di altezza 1.0 m.

È prevista la presenza di un tirante passivo in testa. La massima quota del ciglio strada, misurata da estradosso cordolo è di 4.0 m

- Paratia con due ordini di tiranti

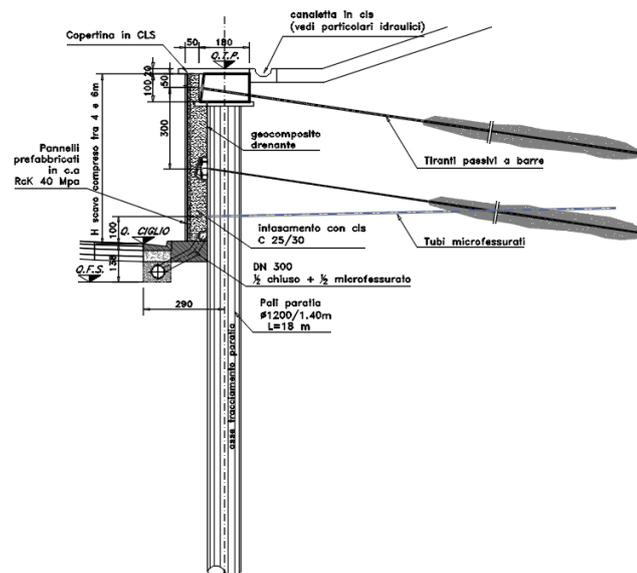


Figura 3-13 Sezione tipo paratia con due ordini di tiranti

SS 121 "Catanesa" Itinerario Palermo – Agrigento – S.S. 121 Tratto A19 – Bolognetta		
UP62	<b>Piano di monitoraggio – Relazione Viadotti, Gallerie artificiali e opere minori</b>	

La paratia è costituita da pali  $\phi 1200$  mm di lunghezza  $L_m=18.0$  m e posti ad un interasse  $i = 1.40$  m. Lungo tutto lo sviluppo della paratia è presente un cordolo in c.a. di larghezza  $1.80$  m e di altezza  $1.0$  m.

Il primo ordine di tiranti è posto in sommità, il secondo ordine ad una distanza di  $3.0$  m dal primo.

La massima quota del ciglio strada, misurata da estradosso cordolo è di  $6.0$  m

- Paratia con tre ordini di tiranti

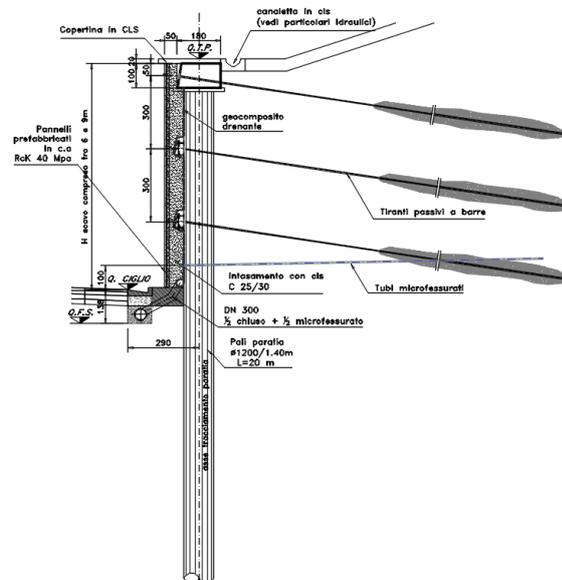


Figura 3-14 Sezione tipo paratia con tre ordini di tiranti

La paratia è costituita da pali  $\phi 1200$  mm di lunghezza  $L_m=18.0$  m e posti ad un interasse  $i = 1.40$  m. Lungo tutto lo sviluppo della paratia è presente un cordolo in c.a. di larghezza  $1.80$  m e di altezza  $1.0$  m.

Il primo ordine di tiranti è posto in sommità, il secondo ordine ad una distanza di  $3.0$  m dal primo.

La massima quota del ciglio strada, misurata da estradosso cordolo è di  $9.0$  m

Al di sotto dei vari ordini di tiranti delle paratie, si prevede l'inserimento di tubi microfessurati con inclinazione di  $2^\circ$  e tali da garantire il progressivo abbassamento del livello di falda (se presente) in corrispondenza della quota stessa dei dreni, durante le operazioni di scavo. In tal modo, in ciascuna fase di scavo intermedia, la quota del livello di falda rispetto al fondo scavo risulta essere sempre  $1.0$  m al di sotto dei tiranti (esclusa la prima fase, a cui è associato il livello di falda in-situ).

#### 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO LOCALE

Si rimanda agli specifici elaborati per ogni esaustiva descrizione sui caratteri geologici, geomorfologici e idrogeologici dell'area riguardante le opere oggetto di studio.

SS 121 "Catanesa" <i>Itinerario Palermo – Agrigento – S.S. 121 Tratto A19 – Bolognetta</i>		
UP62	<b>Piano di monitoraggio – Relazione Viadotti, Gallerie artificiali e opere minori</b>	

## 5 OBIETTIVI DEL MONITORAGGIO

---

La pianificazione di un programma di monitoraggio in sede di Progetto Definitivo risponde alla specifica richiesta della progettazione di opere geotecniche secondo i criteri del Metodo Osservazionale, dove devono essere sviluppati i seguenti aspetti:

- scelta delle grandezze rappresentative del complesso manufatto-terreno e definizione dei limiti di accettabilità di tali grandezze;
- verifica della soluzione progettuale prescelta in rapporto ai limiti prefissati;
- definizione di soluzioni alternative in relazione alle diverse condizioni attese;
- predisposizione di un sistema di monitoraggio che consenta di adottare tempestivamente una delle soluzioni alternative proposte nel caso in cui i limiti prima definiti siano raggiunti.

Quindi non si può prescindere dal predisporre un sistema di misure e controlli in corso d'opera mediante idonea strumentazione di tipo geotecnico il cui scopo è quello di verificare che il comportamento dell'opera sia quello previsto dalle analisi progettuali. Per raggiungere tali obiettivi il piano di monitoraggio prevede le seguenti attività/strumentazioni:

- misure di convergenza con sistema ottico (convergenze);
- strumentazione di controllo del comportamento tensionale e deformativo delle strutture;
- controlli topografici di mire ottiche;
- catena inclinometrica fissa nei pali di gallerie artificiali e paratie;
- clinometro biassiale da parete;
- celle di carico toroidali su tiranti paratie;
- misura delle pressioni e delle portate delle acque.

Le modalità e la frequenza delle stazioni strumentate variano a seconda dell'opera da monitorare e sono dettagliate nei relativi elaborati grafici di progetto.

Ogni stazione di monitoraggio che includa strumenti di tipo elettronico ad acquisizione automatica delle letture dovrà essere corredata di datalogger con numero di canali opportuno a cui dovranno essere cablati gli strumenti elettronici della sezione strumentata.

Nei paragrafi che seguono vengono indicate le caratteristiche e le modalità esecutive del programma di monitoraggio predisposto.

SS 121 "Catanesa" Itinerario Palermo – Agrigento – S.S. 121 Tratto A19 – Bolognetta		 <b>anas</b> GRUPPO FS ITALIANE
UP62	<b>Piano di monitoraggio – Relazione Viadotti, Gallerie artificiali e opere minori</b>	

## 5.1 Sistema di controllo e monitoraggio

Il monitoraggio geotecnico in corso d'opera consente la verifica delle ipotesi progettuali di base e il controllo continuo dell'evoluzione temporale delle condizioni delle opere e dell'interazione opera-terreno.

Il monitoraggio **in corso d'opera** è finalizzato a valutare l'andamento dei parametri significativi, in relazione alle fasi costruttive, ai materiali scelti e alle geometrie in gioco.

Il monitoraggio **in fase di esercizio** ha invece come obiettivo principale quello di registrare le eventuali variazioni a lungo termine dei parametri chiave e quindi di permettere la valutazione delle cause che abbiano determinato tali variazioni.

La strumentazione posta in opera dovrà avere alcuni requisiti funzionali che andranno verificati, certificati e documentati anche quando l'evoluzione tecnologica metterà a disposizione materiali più sofisticati e dispositivi più perfezionati:

- campo di misura o fondo scala ("range");
- massimo campo di misura sopportato dello strumento ("over range");
- ripetitività delle misure;
- precisione;
- sensibilità;
- durabilità e/o affidabilità.

La strumentazione geotecnica prevista per il monitoraggio in corso d'opera è tale da consentire l'acquisizione dei parametri significativi sia per la verifica delle corrispondenze tra comportamento reale e comportamento ipotizzato, sia per l'eventuale attivazione di procedure di gestione del progetto (fasi esecutive, modalità di avanzamento) mirate ad evitare il manifestarsi di situazioni di pericolo.

Il monitoraggio in fase di esercizio si baserà su analoga strumentazione geotecnica ma necessariamente su sistemi centralizzati di acquisizione dati, posizioni remote, quadri sinottici riepilogativi dell'intero sistema e di sue parti, piuttosto che su sistemi di lettura o acquisizione manuale.

Nel monitoraggio in corso d'opera e in esercizio, la cadenza di esecuzione delle misure sarà differente, in generale più fitta in corrispondenza delle fasi costruttive e con obiettivi più a lungo termine per quanto riguarda il monitoraggio in fase di esercizio.

SS 121 "Cataneese" Itinerario Palermo – Agrigento – S.S. 121 Tratto A19 – Bolognetta		 <b>anas</b> GRUPPO FS ITALIANE
UP62	<b>Piano di monitoraggio – Relazione Viadotti, Gallerie artificiali e opere minori</b>	

## 5.2 Soglie di riferimento, condizioni di attenzione e di allarme

Per tutta la strumentazione volta a misurare uno "spostamento" si è definita una soglia di attenzione pari all'80% del valore di spostamento previsto/calcolato e una soglia di allarme pari al 110% dello stesso valore. Nel caso delle celle di carico invece, a partire dal valore calcolato per ogni *stage* di avanzamento lavori si è deciso di considerare una forbice pari a  $\pm 5\%$  del valore calcolato per la definizione della soglia di attenzione, e una forbice pari a  $\pm 10\%$  del valore calcolato per definire la soglia di allarme.

Nel caso degli "spostamenti", infatti, le soglie di attenzione e allarme devono essere considerate in un'ottica di movimenti "positivi" a partire da un valore di partenza. Nel caso dei tiranti invece, una situazione di attenzione o allarme può venirsi a creare non solo per un eccessivo tensionamento del tirante ma anche per un suo detensionamento. Per tale motivo si è deciso di adottare una forbice di valori per la definizione delle soglie di attenzione e allarme.

Per i piezometri non vengono fornite delle soglie di attenzione e allarme.

Le soglie di riferimento sono, come detto, impostate sulla base dei risultati di progetto. In funzione dell'avanzamento dei lavori, i valori potranno essere confermati, rivisti, adeguati al fine di rendere il sistema di controllo sempre utile agli scopi realizzativi, salvaguardando sicurezza, produzione e rispetto dei programmi. Ciò premesso, il sistema integrato costituito da monitoraggio e controllo delle soglie, consentirà di attivare opportune procedure in funzione dei livelli raggiunti.

In questo senso si sono previsti due livelli di check, con soglie di attenzione e allarme basate su quote rappresentative delle previsioni, frutto a loro volta delle analisi teoriche e dei dati di campo. Le soglie di attenzione saranno associate a rischi ritenuti pressoché trascurabili; le procedure previste in questo senso saranno quindi volte a una conferma dei trend in diminuzione del rischio e non in un suo aumento. Le soglie di allarme saranno legate a rischi maggiori. In questo caso le procedure prevedranno la messa in sicurezza, interventi di tipo strutturale quali verifica della tesatura dei tiranti, ritesatura degli stessi, realizzazione di nuovi tiranti, realizzazione di dreni aggiuntivi, alleggerimento del sovraccarico a tergo delle opere con possibilità, in ultima analisi, di fermo dei lavori.

Da un punto di vista operativo, le quantità citate possono essere definite e inquadrate come segue.

**Soglia di attenzione:** *valore fino a cui le operazioni procedono normalmente, la frequenza di osservazione dei parametri monitorati non viene variata, la velocità e le modalità di avanzamento delle attività non vengono variate. Superata la soglia di attenzione, l'appaltatore dovrà avvisare la DL.*

**Soglia di allarme:** *valore per cui l'Appaltatore dovrà immediatamente informare la DL riferendo quali misure intenderà mettere in atto per arrestare l'evoluzione delle deformazioni. La frequenza dei rilievi dei parametri monitorati dovrà essere ulteriormente aumentata, con valutazione di eventuali azioni di carattere strutturale per la messa in sicurezza, e possibilità di interruzione delle lavorazioni sino all'identificazione delle cause che hanno determinato le evoluzioni osservate.*

SS 121 "Cataneſe" <i>Itinerario Palermo – Agrigento – S.S. 121 Tratto A19 – Bolognetta</i>		 <b>anas</b> <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
UP62	<b><i>Piano di monitoraggio – Relazione Viadotti, Gallerie artificiali e opere minori</i></b>	

### **5.3 Frequenza dei rilevamenti**

Sulla base delle letture di zero già effettuate al momento dell'installazione si provvederà ad effettuare successive letture secondo il seguente programma:

- 1 lettura alla settimana in fase d'opera per tutti gli strumenti sia "provvisionali" che "permanenti";
- 1 lettura al mese, per un anno, successivamente al completamento dell'opera sulla sola strumentazione "permanente".

In seguito ad eventuali fenomeni anomali si aumenterà opportunamente la frequenza di lettura della strumentazione, oltre ad avvertire tempestivamente la Direzione Lavori.

SS 121 "Catanese" <i>Itinerario Palermo – Agrigento – S.S. 121 Tratto A19 – Bolognetta</i>		
UP62	<b>Piano di monitoraggio – Relazione Viadotti, Gallerie artificiali e opere minori</b>	

## 6 STRUMENTAZIONE MONITORAGGIO

---

Di seguito vengono riportate le tipologie degli strumenti previsti per il monitoraggio di viadotti, gallerie artificiali e opere minori (muri di sostegno e paratie).

**Barrette estensimetriche** utilizzate per misurare le deformazioni, e quindi definire gli stati tensionali, all'interno di strutture definitive e provvisorie. La barretta estensimetrica è costituita da un elemento centrale in cui è collocato il sensore e al quale sono vincolati due braccetti disposti a 180° tra loro. Le parti terminali dei braccetti sono libere di muoversi lungo il loro asse (entro un certo range) e vengono vincolate alla struttura da monitorare in modo tale da seguirne le deformazioni (trazione o compressione). L'allungamento, o il raccorciamento, della barretta estensimetrica produce una variazione del segnale emesso dal sensore. Tale segnale verrà letto mediante una centralina portatile e, in seguito ad un'opportuna elaborazione, verrà trasformato in un valore di deformazione. La barretta estensimetrica può lavorare indifferentemente sia a trazione che a compressione, inoltre la parte sensibilizzata è resinata al fine di preservare la funzionalità dello strumento nel caso di urti o immersione. Le barrette estensimetriche possono essere installate sia a saldare (ad esempio sulle centine o sulle armature di pali e diaframmi) che annegate in calcestruzzo.

**Sensori di temperatura** utilizzati per misurare la variazione di temperatura delle strutture in contesti in cui siano previste forti escursioni termiche. I termometri sono utilizzati per misurare la temperatura all'interno delle strutture. Sono installati o mediante realizzazione di un foro nella struttura e successivo riempimento con resina bicomponente (o similare), o direttamente annegati nel calcestruzzo. L'applicazione dei sensori di temperatura è necessaria in contesti in cui siano previste forti escursioni termiche o in associazione ad altri strumenti non dotati di sensore di temperatura. Tramite le misure di temperatura è così possibile compensare eventuali errori legati alla temperatura di altri strumenti di monitoraggio. I sensori di temperatura sono realizzati principalmente con tecnologia a termistori o a termoresistenza (ma ne esistono anche con tecnologia a corda vibrante). Il sensore vero e proprio è contenuto all'interno di un corpo cilindrico in acciaio inox e collegato ad un cavo di segnale. La tecnologia a termistori è basata sull'utilizzo di resistori sensibili alla temperatura (rame o platino) in grado di mutare la propria resistenza elettrica in funzione della temperatura. La tecnologia a termoresistenza è basata, invece, sul principio della variazione della temperatura entro 2 metalli diversi. Il modello più diffuso è il PT100 che utilizza un filo di platino. Il segnale emesso viene trasmesso mediante un cavo di segnale e letto mediante una centralina portatile o un Datalogger.

Gli **accelerometri triassiali** forniscono misure simultanee in tre direzioni ortogonali, per analizzare tutte le vibrazioni subite da una struttura. Ogni unità incorpora tre elementi di rilevamento separati, orientati ad angolo retto l'uno rispetto all'altro.

SS 121 "Catanese" Itinerario Palermo – Agrigento – S.S. 121 Tratto A19 – Bolognetta		
UP62	<b>Piano di monitoraggio – Relazione Viadotti, Gallerie artificiali e opere minori</b>	

**Accelerometro monoassiale** costruito con una massa nota, sospesa per mezzo di una molla in un alloggiamento. Alla massa è consentito muoversi solamente nella direzione della molla, quindi, in questa direzione, si può quantificare l'accelerazione della massa rispetto all'accelerazione gravitazionale.

**Fessurimetri e misuratori di giunto** utilizzati per misurare il movimento relativo tra due lembi di una fessura o tra due elementi strutturali posti ad una certa distanza tra loro. Tali strumenti trovano generalmente il loro impiego nella misura di movimenti che avvengono prevalentemente lungo una direzione. I fessurimetri manuali vengono installati a cavallo di lesioni o giunti di strutture in calcestruzzo o in muratura (o di pareti rocciose) e sono utilizzati per misurare l'entità degli spostamenti prodotti dall'insorgere di problematiche quali cedimenti o stati deformativi. I fessurimetri a piastra sono formati da due piccole lastre di resina acrilica sovrapposte. Le due piastre sono mobili tra loro ma vincolate ognuna sulla rispettiva porzione della struttura a ridosso della lesione da monitorare. Sulla piastra superiore è inciso un crocefilo mentre su quella inferiore è inciso un reticolo millimetrato. L'eventuale spostamento dei due lembi della fessura si riflette nel movimento relativo tra le due piastre. È così possibile leggere l'entità di questo spostamento direttamente sul reticolo millimetrato del fessurimetro. I fessurimetri a piastra manuali possono essere sia di tipo piano che angolare (per misure di porzioni perpendicolari tra loro come, ad esempio, gli angoli).

**Clinometri da parete** utilizzati per la misura di inclinazione di opere civili e pareti rocciose. Tali strumenti permettono di registrare le variazioni angolari delle strutture fornendo utili indicazioni riguardanti i movimenti rotazionali delle stesse. La misura può essere sia di tipo puntuale (mediante l'utilizzo dei clinometri o delle piastre clinometriche) che relativa ad una porzione della struttura (utilizzando dei clinometri a barra). Il clinometro fisso da parete permette di valutare i movimenti della struttura a cui è vincolato mediante misure di variazione angolare. Lo strumento è di tipo biassiale consentendo così di individuare non solo l'entità ma anche la direzione degli eventuali spostamenti. Lo strumento utilizza un sensore biassiale di tipo servoaccelerometrico o MEMS. Tali tecnologie consentono di registrare anche minime variazioni di inclinazione delle strutture su cui viene posto in opera. Il segnale viene trasmesso tramite un cavo alla centralina di misura, e i dati vengono elaborati mediante fogli di calcolo e trasformati in valori angolari. Il clinometro fisso da parete è montato su una apposita piastra che viene fissata al punto della struttura da monitorare. Tale punto di installazione è generalmente verticale; è tuttavia possibile installare i clinometri anche orizzontalmente, assicurandosi però che il prodotto sia compatibile a tale posizionamento. Più strumenti, installati sulla stessa struttura, possono misurare tutte le eventuali inclinazioni, in termini di entità e direzione, che l'opera potrebbe subire. In aggiunta al sensore deputato alla misura angolare, i clinometri da parete possono essere dotati di sensore di temperatura. La misura della temperatura permette di valutare eventuali derive termiche dello strumento.

Gli **inclinometri fissi** sono strumenti concepiti per la misura delle deformazioni del terreno e delle strutture e che trovano applicazione nella misura degli spostamenti principalmente orizzontali. Lo strumento si presenta come una catena di nodi (a distanza variabile a seconda delle esigenze) costituita da una serie di elementi collegati tra loro e inseriti all'interno del tubo inclinometrico precedentemente predisposto. La posizione dei diversi nodi è di solito equidistante, tuttavia è possibile installare i diversi nodi anche ad interdistanze

SS 121 "Cataneese" <i>Itinerario Palermo – Agrigento – S.S. 121 Tratto A19 – Bolognetta</i>		
UP62	<b>Piano di monitoraggio – Relazione Viadotti, Gallerie artificiali e opere minori</b>	

diverse, affinché si trovino concentrati nelle zone di maggiore interesse. Aumentare, tuttavia, l'interdistanza tra le sonde va a discapito della precisione della misura dello spostamento totale, per cui è comunque da preferirsi una posa in opera che preveda i singoli nodi il più vicini possibile tra loro. Ogni elemento contiene un sensore di tipo servoaccelerometrico, o MEMS, o similare, che è preposto alla misura della deformazione in quello specifico punto. Alcuni prodotti possono essere forniti, oltre che del sensore per la misura degli spostamenti, anche di altri sensori, quali: un sensore di temperatura, una bussola magnetica o un sensore piezometrico. Non sempre gli inclinometri fissi necessitano di installazione all'interno di tubi inclinometrici classici. Laddove però questo fosse necessario sarà obbligatorio effettuare una serie di misure (almeno due) mediante sonda inclinometrica removibile. Tali misure manuali saranno riprese in caso di malfunzionamento della catena inclinometrica fissa (sempre che ne sia possibile l'estrazione dal tubo). In caso di monitoraggio di un'opera o di un qualsiasi altro tipo di intervento (es. sbancamento), l'installazione dell'inclinometro, e la conseguente lettura di zero, dovrà essere eseguita in ante operam, al fine di "fotografare" la situazione in possibile assenza di spinte orizzontali. In alcuni casi le catene inclinometriche fisse possono essere installate lungo il profilo di pareti rocciose, per monitorarne la deformazione, o all'interno delle gallerie, trasversalmente all'asse della galleria, per effettuare misure di convergenza. Le specifiche strumentali sono fortemente legate alla tipologia del dispositivo e, più che per altri strumenti, all'azienda che li produce. In alcuni casi si tratta di sonde inclinometriche, simili a quelle removibili, collegate l'una all'altra ed inserite nel tubo inclinometrico nella direzione della guida principale.

I **tubi estensoinclinometrici** sono pensati, così come i normali inclinometri, per misurare la componente orizzontale delle deformazioni di terreni o strutture. In aggiunta, grazie alla presenza di una serie di anelli magnetici installati lungo la verticale inclinometrica, è possibile misurare anche la componente verticale delle deformazioni. Gli estensoinclinometri sono realizzati generalmente in ABS, un materiale che ha la capacità di offrire un buon rapporto tra resistenza e deformabilità. I tubi estensoinclinometrici presentano al loro interno 4 scanalature chiamate "guide", ortogonali tra loro, all'interno delle quali scorrono le rotelle delle sonde di misura. Le misure estensoinclinometriche sono di tipo comparativo, quindi dovrà essere effettuata una prima misura detta "misura di zero" (a seguito dell'accertata consolidazione della cementazione dello strumento) che determinerà la geometria della verticale inclinometrica con la quale tutte le successive letture saranno confrontate. È quindi fondamentale che la misura di zero venga effettuata quando ci si trovi in una situazione di minimo disturbo e in assenza di interferenze. In caso di realizzazione di un'opera o di qualsiasi tipo di lavorazione, la lettura di zero dovrà essere eseguita in ante operam, al fine di "fotografare" la situazione in possibile assenza di spinte orizzontali.

Le celle di carico e le celle di pressione sono utilizzate per misurare il carico esercitato sugli elementi di una struttura. Il loro utilizzo è utile per definire le pressioni esercitate in ambito di opere sia provvisorie che definitive. La **cella di carico** per tiranti presenta una forma **toroidale** ed è progettata per il controllo della fase di tesatura di tiranti e del loro rilascio tensionale in fase di esercizio. Le celle di carico per tiranti possono essere sia di tipo elettrico che di tipo idraulico. Nel primo caso sono costituite da un corpo in acciaio di forma toroidale sensibilizzato con estensimetri di tipo resistivo, secondo una particolare configurazione

SS 121 "Catanese" <i>Itinerario Palermo – Agrigento – S.S. 121 Tratto A19 – Bolognetta</i>		
UP62	<b>Piano di monitoraggio – Relazione Viadotti, Gallerie artificiali e opere minori</b>	

(griglia estensimetrica), tale da consentire la misura delle deformazioni a cui la cella è sottoposta. La griglia è configurata in modo da poter conservare la piena funzionalità dello strumento in caso di urti o d'immersione. La cella viene installata tra due piastre di distribuzione del carico a bassa deformabilità ed il segnale elettrico, trasmesso dai sensori, viene misurato mediante una centralina portatile o un Datalogger fisso. Mediante appositi software o fogli di calcolo la misura registrata viene poi trasformata in un valore di carico agente. Le celle di tipo idraulico presentano, invece, al loro interno una camera saturata sottovuoto con olio disareato. La pressione esercitata sulla camera viene trasferita direttamente su un manometro installato in corrispondenza della cella stessa (in tal caso le letture si fanno leggendo direttamente il valore riportato sul manometro). In alternativa la camera interna può essere collegata ad un trasduttore di pressione elettrico che trasforma ogni variazione di pressione in una variazione di segnale elettrico (in tal caso la lettura verrà effettuata con un'apposita centralina di misura). Le celle di carico si differenziano in base alla loro dimensione ed al carico a cui possono essere sottoposte.

L'**assestimetro a piastra** è uno strumento che ha lo scopo di misurare il cedimento del piano di fondazione di un rilevato stradale o ferroviario, o di qualunque altro terreno di fondazione in cui viene installato. Gli assestimetri a piastra vengono solitamente installati all'interno di rilevati in terra allo scopo di misurare i cambiamenti relativi di quota fra il riferimento di superficie e l'ancoraggio profondo. Questo tipo di assestimetri si basa su un principio di funzionamento molto semplice: un'asta di acciaio viene inserita all'interno di una guaina corrugata in materiale plastico per svincolarla dall'attrito del terreno. La parte terminale dell'asta viene resa solidale al rilevato mediante una piastra. In superficie la testa dell'asta è soggetta a cedimenti della stessa entità di quelli dello strato profondo in cui l'asta è ancorata. Con questo tipo di assestimetro si possono eseguire solo misure manuali tramite livellazioni topografiche della borchia posta sulla sommità dell'asta di misura.

L'installazione di **miniprismi** permette di controllare gli spostamenti nelle tre direzioni dei punti di applicazione e, di conseguenza, le eventuali distorsioni relative ad un determinato allineamento di punti. Tipicamente vengono installati su strutture esistenti o in fase di realizzazione (gallerie, viadotti, fabbricati, muri, opere in cls, paratie, ecc.), ma se montate su appositi supporti (basi in cemento) possono essere utilizzati anche per il controllo dei movimenti dei fenomeni franosi. Il miniprisma è costituito da un prisma in quarzo catarifrangente montato all'interno di una struttura metallica di protezione su un supporto orientabile e solidarizzato (mediante tasselli o resine epossidiche) alla struttura da monitorare.

L'installazione dei **target riflettenti** permette di controllare gli spostamenti nelle tre direzioni dei punti di applicazione. Tipicamente vengono installati su strutture esistenti o in fase di realizzazione (in particolare in gallerie). In ambito di monitoraggio delle gallerie, l'uso dei target è adatto sia per effettuare misure di convergenza del cavo che per misure di estrusione del fronte durante le operazioni di scavo. Il target è costituito da una piastra catarifrangente sulla quale è stampato un reticolo con crocefile e può essere o di tipo adesivo o montato su un apposito supporto orientabile che sarà ancorato alla struttura da monitorare.

SS 121 "Catanesa" <i>Itinerario Palermo – Agrigento – S.S. 121 Tratto A19 – Bolognetta</i>		
UP62	<b>Piano di monitoraggio – Relazione Viadotti, Gallerie artificiali e opere minori</b>	

I piezometri sono strumenti che consentono la misura delle pressioni neutre in sito e, congiuntamente, il rilievo della quota piezometrica delle falde acquifere. Mediante le misure piezometriche è quindi possibile individuare e definire gli acquiferi presenti nei terreni attraversati e, mediante successive misure, tenere sotto controllo le oscillazioni della falda. L'impiego dei **piezometri elettrici** è adatto a terreni con permeabilità bassa ( $k < 10^{-8}$  m/sec). Il tempo di risposta delle variazioni piezometriche rilevabili con piezometri elettrici, in questi tipi di terreni, è relativamente breve. I piezometri elettrici sono generalmente costituiti da un corpo cilindrico in acciaio inossidabile contenente il sensore di misura, e da un filtro, realizzato in acciaio sinterizzato o ceramica o plastica. Al corpo cilindrico è poi connesso uno specifico cavo elettrico necessario per effettuare le misure mediante apposita centralina. I piezometri elettrici possono avere un sensore di tipo piezo-resistivo o a corda vibrante. A seconda del tipo di sensore con cui il piezometro elettrico è costituito, si avranno diversi parametri di fondo scala, accuratezza e durabilità dello strumento. In entrambi i casi, comunque, il principio che ne regola il funzionamento è legato essenzialmente al seguente principio: il diaframma contenuto nel corpo cilindrico, vicino al filtro, si inflette per effetto della pressione dell'acqua, e lo spostamento del diaframma è proporzionale alla pressione applicata dall'acqua. Quello che cambia è il sistema di misura della pressione. Prima dell'installazione vera e propria, lo strumento viene inserito, dopo aver disareato e saturato il filtro, in un apposito sacchetto in TNT riempito di sabbia e tenuto immerso in un contenitore di acqua pulita fino al momento dell'installazione. Lo strumento viene poi calato all'interno del foro di sondaggio e la sua posizione dipenderà dalla profondità alla quale è localizzata la falda. Il piezometro elettrico, per non essere soggetto a malfunzionamenti, nella fase di esercizio dovrà sempre essere immerso in acqua. Per tale motivo ci si dovrà assicurare che ci sia un adeguato battente d'acqua al di sopra dello strumento, una volta installato (al fine di mettere al riparo lo strumento da possibili oscillazioni della falda). La misura del livello dell'acqua viene eseguita attraverso apposite centraline di misura. L'installazione degli strumenti dovrà essere realizzata nella posizione di progetto. Eventuali variazioni, dovute alla singolarità di alcuni casi, dovranno comunque essere concordate con ANAS. L'Affidatario è tenuto ad eseguire a suo esclusivo onere e spesa tutte le opere sostitutive e/o complementari che a giudizio della DL o DEC, sentito il Progettista, si rendessero necessarie per garantire piena funzionalità degli strumenti in caso di esecuzione non conforme alle tolleranze stabilite. L'Affidatario dovrà informare il DEC o DL riguardo al modello che intende utilizzare, specificandone le caratteristiche tecniche. Le modalità di installazione saranno conformi a quanto indicato dal costruttore per il modello prescelto e comunicata alla DL.

SS 121 "Catanesa" <i>Itinerario Palermo – Agrigento – S.S. 121 Tratto A19 – Bolognetta</i>		
<b>UP62</b>	<b>Piano di monitoraggio – Relazione Viadotti, Gallerie artificiali e opere minori</b>	

Nell'ambito del monitoraggio geotecnico e geomorfologico è necessario prevedere non solo la strumentazione di monitoraggio in senso stretto, ma anche tutta una serie di strumenti e componenti che sono fondamentali per la realizzazione ed il mantenimento della stessa rete di monitoraggio. Tale strumentazione di supporto è costituita da tutta una serie di sensori (come ad esempio le Stazioni Meteorologiche), o di apparati di alimentazione (come i pannelli fotovoltaici), ma anche di semplici componenti di ricambio (cavi multipolari, tubi idraulici, ecc.).

La **stazione meteorologica** è di primaria importanza, soprattutto nell'ambito dei monitoraggi di fenomeni franosi, al fine di correlare le eventuali evoluzioni dei movimenti con gli eventi meteorologici. È ad esempio importante capire se e come un'intensa precipitazione possa influire sulla riattivazione di un fenomeno franoso. In generale le stazioni di misura devono essere collocate in luoghi aperti, su terreno pianeggiante, lontano da edifici, alberature od ostacoli in grado di interferire con le misurazioni e in siti rappresentativi del territorio circostante (evitando, per quanto possibile, installazioni su tetti, terrazzi di edifici e scarpate). Il vento, in particolare, è in grado di alterare anche pesantemente le misure pluviometriche, soprattutto nel caso di precipitazioni nevose. Per tale motivo, nelle installazioni andrebbero evitate posizioni particolarmente esposte al vento. Inoltre, in dipendenza dalla quota s.l.m. dell'area di lavoro, la strumentazione deve essere dotata di adeguato sistema per il controllo della precipitazione nevosa. Al fine di garantire la stabilità della Stazione Meteo, per tutta la durata della campagna di monitoraggio, la stessa dovrà essere posizionata su un una solida base di appoggio. Qualora non fosse disponibile in sito una base di appoggio che garantisca la stabilità del sistema, dovrà essere realizzato un basamento fisso di dimensioni adeguate. I dati registrati dalle stazioni meteo vengono acquisite mediante Datalogger fissi e trasmesse ad un apposito server.

L'utilizzo di **pannelli solari** si rende necessario per alimentare i dispositivi di monitoraggio laddove non sia presente un accesso diretto ad altre forme di alimentazione o dove cablare dei cavi di alimentazione diventi problematico.

SS 121 "Catanese" <i>Itinerario Palermo – Agrigento – S.S. 121 Tratto A19 – Bolognetta</i>		
UP62	<b>Piano di monitoraggio – Relazione Viadotti, Gallerie artificiali e opere minori</b>	

Nell'ambito del monitoraggio geotecnico, le misure dei vari strumenti possono essere effettuate in due modalità:

- Misure manuali;
- Misure automatiche.

Le misure manuali si effettuano direttamente sul posto utilizzando lo strumento di acquisizione più idoneo (centraline portatili, sonde, comparatori, freatimetri, ecc.). Le misure automatiche si effettuano, invece, mediante apposite Unità di Acquisizione Dati (UAD) o Dataloggers. Tali unità vengono solitamente installate in un punto sicuro e al riparo da eventuali interferenze e sono deputate all'acquisizione dei dati dei vari strumenti di monitoraggio mediante collegamenti diretti con cavi multipolari o mediante trasmissione wireless.

I **Dataloggers** sono delle Unità Acquisizione Dati deputate, in un sistema di centralizzazione della rete di monitoraggio, al ricevimento e alla trasmissione dei dati verso un Server dedicato. Il collegamento con i vari strumenti di monitoraggio avviene mediante cavi multipolari aventi specifiche caratteristiche qualitative. I Datalogger sono composti da una struttura ad armadietto o a scatola, montata su un adeguato telaio di supporto ed alimentata direttamente alla rete elettrica o tramite pannelli solari dedicati. All'interno dell'armadietto è presente una serie di componenti quali: schede di acquisizione dati/centralizzazione, cavi di collegamento e di alimentazione, connettori, antenna, modulo e sistema trasmissione dati GSM/GPRS, ecc. I Dataloggers possono contenere una o più schede di acquisizione dette multiplexer (o MUX). Ogni MUX è composto da un numero variabile di canali (generalmente sino ad un massimo di 32 canali). Il numero di canali che saranno occupati è dipendente dal numero e dal tipo di strumenti collegati. Alcuni strumenti trasmettono il segnale tramite 2 coppie di cavi (cavo multipolare a 2 coppie), altri tramite 3 coppie, ecc. Quindi, a seconda dei casi, ogni strumento potrà occupare uno, due o più canali del MUX. Per aumentare la capacità del Datalogger di acquisire un numero più elevato di strumenti basterà aumentare al suo interno il numero di Schede Multiplexer (generalmente massimo 6). I Datalogger verranno pertanto suddivisi in base alla loro "capacità" di leggere un determinato numero di strumenti. Tale "capacità" è espressa dal numero totale di canali presenti sul singolo Datalogger.

## 7 SEZIONI TIPO MONITORAGGIO

Di seguito vengono riportate le sezioni tipo con la disposizione e le quantità degli strumenti previsti per i viadotti, le gallerie artificiali e le opere minori (muri di sostegno e paratie).

### 7.1 Viadotti e cavalcavia

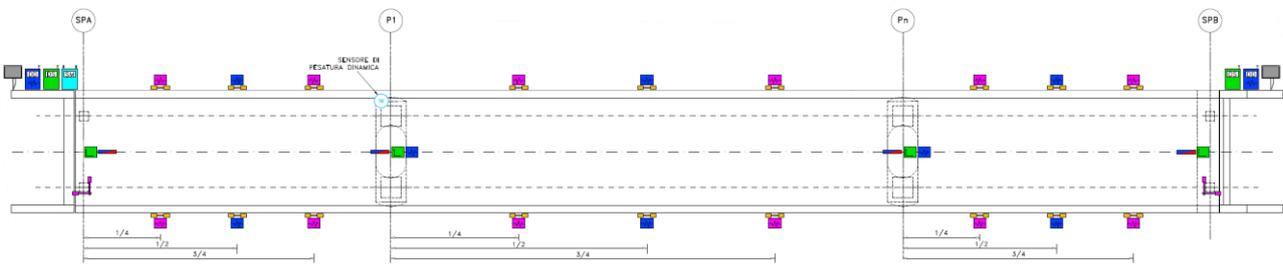


Figura 7-1 Schema soletta impalcato posizionamento strumentazione

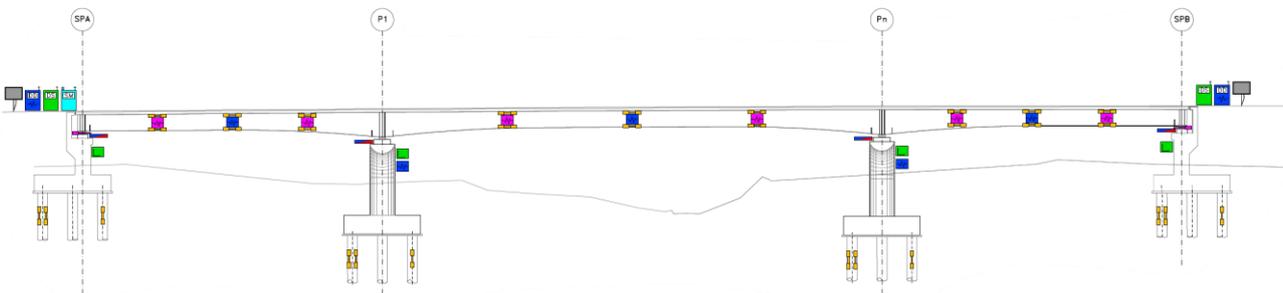


Figura 7-2 Schema profilo impalcato posizionamento strumentazione

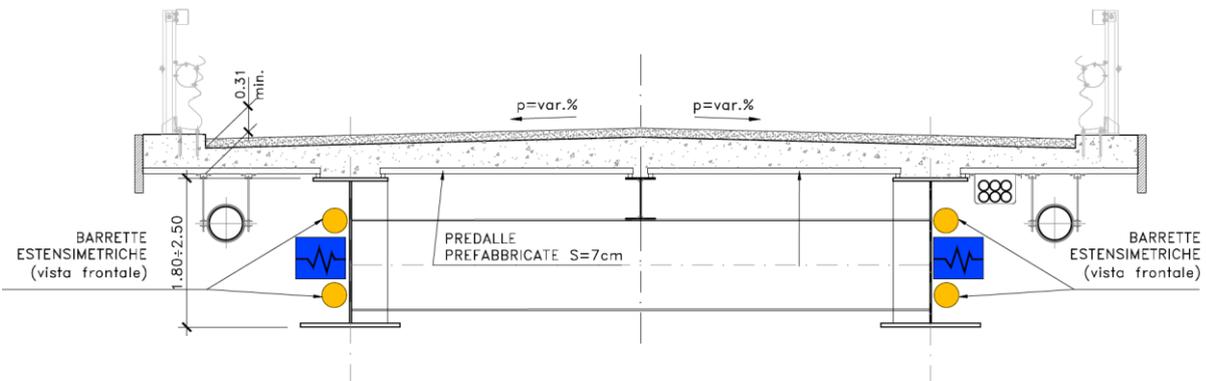


Figura 7-3 Sezione tipo impalcato posizionamento strumentazione

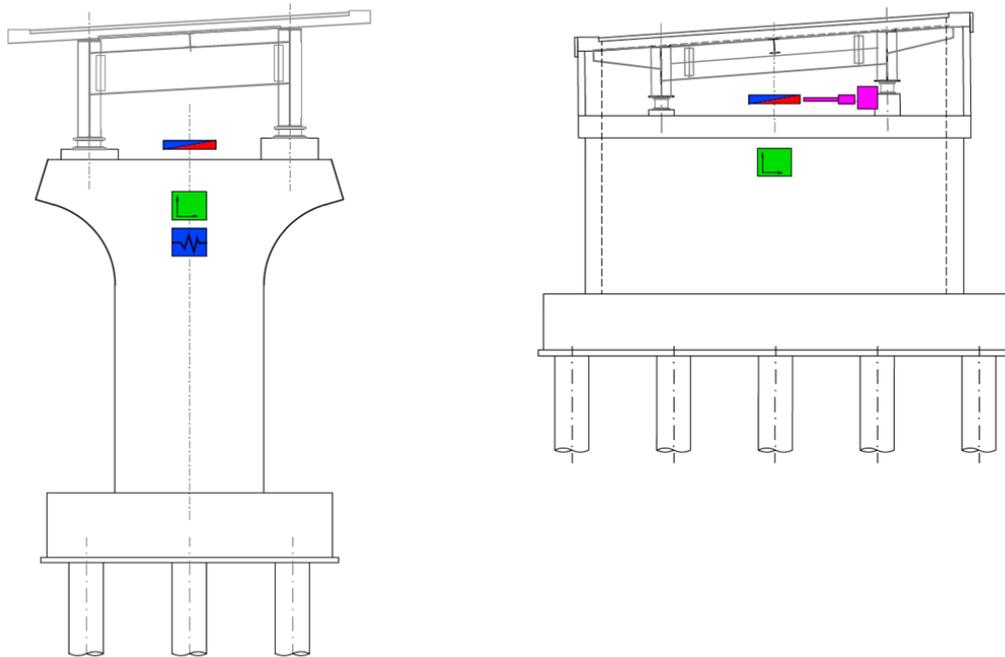


Figura 7-4 Schema posizionamento strumentazioni pila viadotti (sx) e spalla (dx)

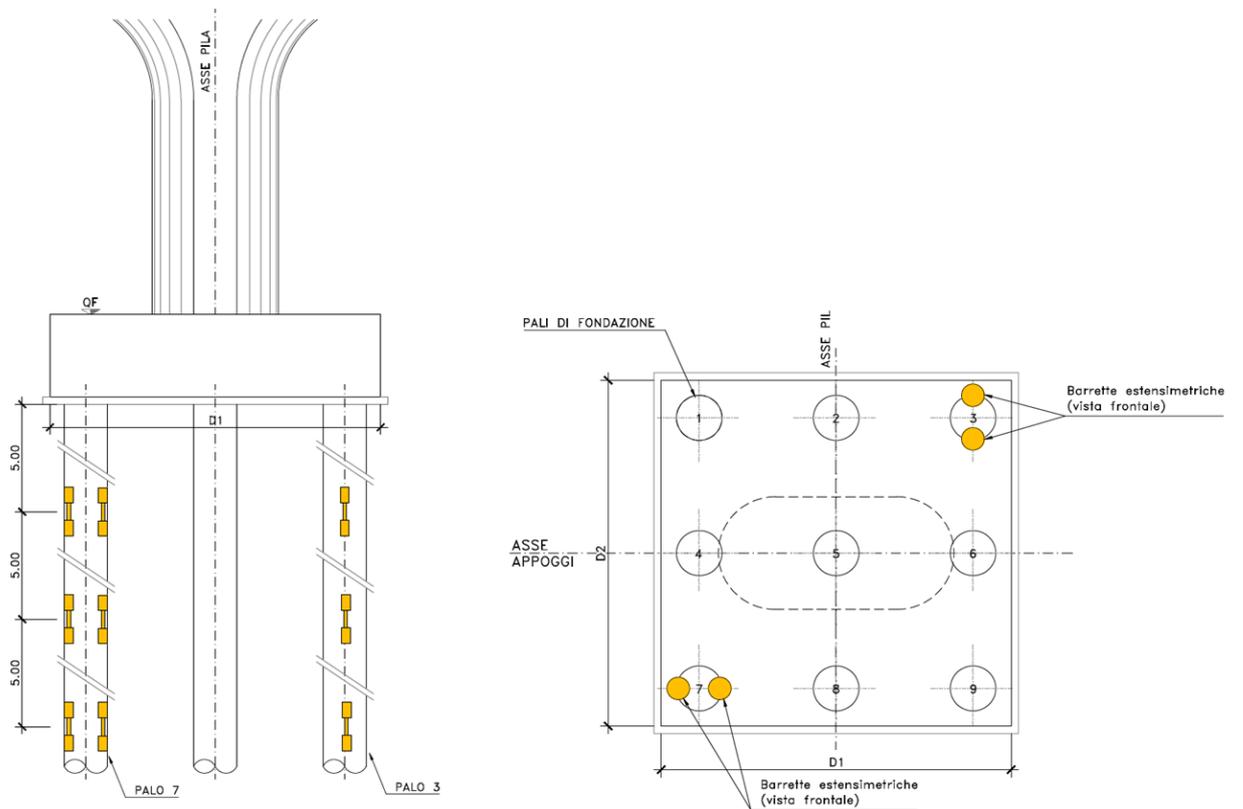


Figura 7-5 Sezione (sx) e pianta (dx) fondazione pila



Figura 7-6 Legenda viadotti/cavalcavia

Di seguito il riepilogo delle quantità previste per ogni viadotto/cavalcavia.

VIADOTTO	VI01		VI02		VI03		VI04		VI05		VI06		VI07		VI08		VI09		VI10		VI11		VI12		VI13		VI14	VI15	CV01	
CARREGGIATA	-	DX	SX	DX	SX	DX	SX	DX	SX	DX	SX	DX	SX	DX	SX	DX	SX	DX	SX	DX	SX	DX	SX	DX	SX	DX	SX	-	-	-
N°CAMPATE	3	5	5	16	18	5	5	2	2	8	9	8	8	3	3	7	7	11	11	6	4	4	4	5	4	5	8	2		
N° PILE	2	4	4	15	17	4	4	1	1	7	8	7	7	2	2	6	6	10	10	5	3	3	3	4	3	4	7	1		
SOTTOSTR CON PALI	0	4	4	16	18	5	5	3	3	9	10	9	9	4	4	8	8	12	12	7	5	5	5	6	5	6	9	0		
L <sub>tot</sub> (m)	70	400	400	620	700	180	180	80	80	300	340	300	300	140	140	380	380	620	620	220	140	200	200	260	200	310	520	40		

VIADOTTO	VI01		VI02		VI03		VI04		VI05		VI06		VI07		VI08		VI09		VI10		VI11		VI12		VI13		VI14	VI15	CV01	
CARREGGIATA	-	DX	SX	DX	SX	DX	SX	DX	SX	DX	SX	DX	SX	DX	SX	DX	SX	DX	SX	DX	SX	DX	SX	DX	SX	DX	SX	-	-	-
BARRETTA ESTENSIMETRICA	36	108	108	384	432	120	120	60	60	204	228	204	204	84	84	180	180	276	276	156	108	108	108	132	108	132	204	24		
SENSORE DI TEMPERATURA	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
ACCELEROMETRO TRIASSIALE	8	14	14	47	53	14	14	5	5	23	26	23	23	8	8	20	20	32	32	17	11	11	11	14	11	14	23	5		
ACCELEROMETRO MONOASSIALE	12	20	20	64	72	20	20	8	8	32	36	32	32	12	12	28	28	44	44	24	16	16	16	20	16	20	32	8		
CLINOMETRO DA PARETE BIASIALE	4	6	6	17	19	6	6	3	3	9	10	9	9	4	4	8	8	12	12	7	5	5	5	6	5	6	9	3		
MISURATORE DI GIUNTO	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
STAZIONE METEO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
PANNELLO SOLARE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
DATALOGGER STATICO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
DATALOGGER DINAMICO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		

Tabella 7-1 Riepilogo quantità strumentazioni per viadotto/cavalcavia

## 7.2 Gallerie artificiali – tipo scatolare



Figura 7-7 Pianta galleria con posizionamento strumentazione

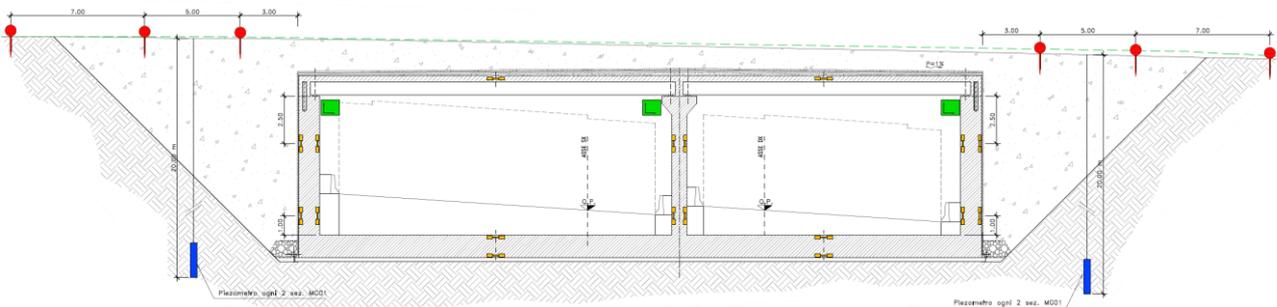


Figura 7-8 Sezione MG01

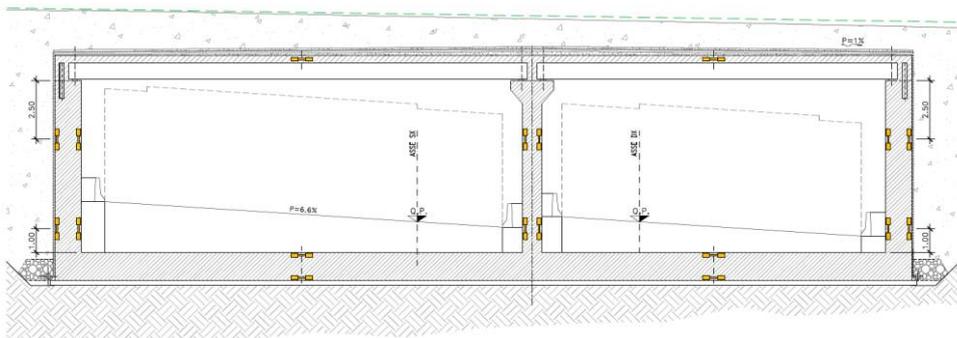


Figura 7-9 Sezione MG02



Figura 7-10 Legenda gallerie artificiali - tipo scatolare

Di seguito il riepilogo delle quantità previste per ogni galleria artificiale tipo scatolare.

GALLERIA	GA01		GA02		
	SEZ	MG01	MG02	MG01	MG02
n°SEZ	2	1	5	4	
<b>BARRETTA ESTENSIMETRICA</b>	36	18	90	72	
<b>CATENA INCLINOMETRICA FISSA</b>	0	0	0	0	
<b>CLINOMETRO DA PARETE BIASSIALE</b>	6	0	15	0	
<b>MINIPRISMA TOPOGRAFICO</b>	12	0	30	0	
<b>PIEZOMETRO ELETTRICO</b>	2	0	5	0	
<b>PANNELLO SOLARE</b>		2		2	
<b>DATALOGGER STATICO</b>		2		2	

Tabella 7-2 Riepilogo quantità strumentazioni per gallerie artificiali - tipo scatolare

Si adotteranno piezometri di lunghezza pari a 20 m.

### 7.3 Gallerie artificiali – tipo paratie di pali

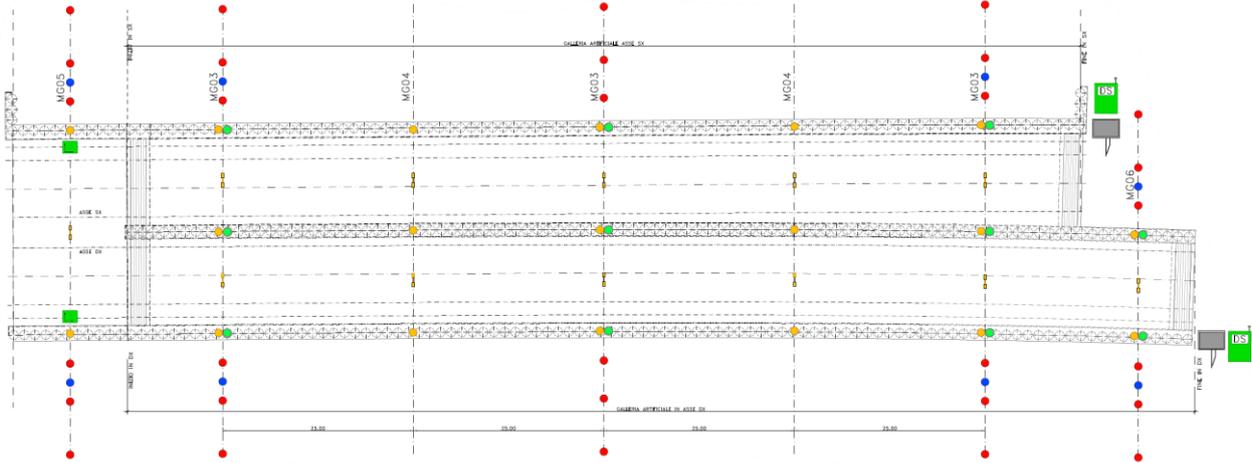


Figura 7-11 Pianta galleria con posizionamento strumentazione

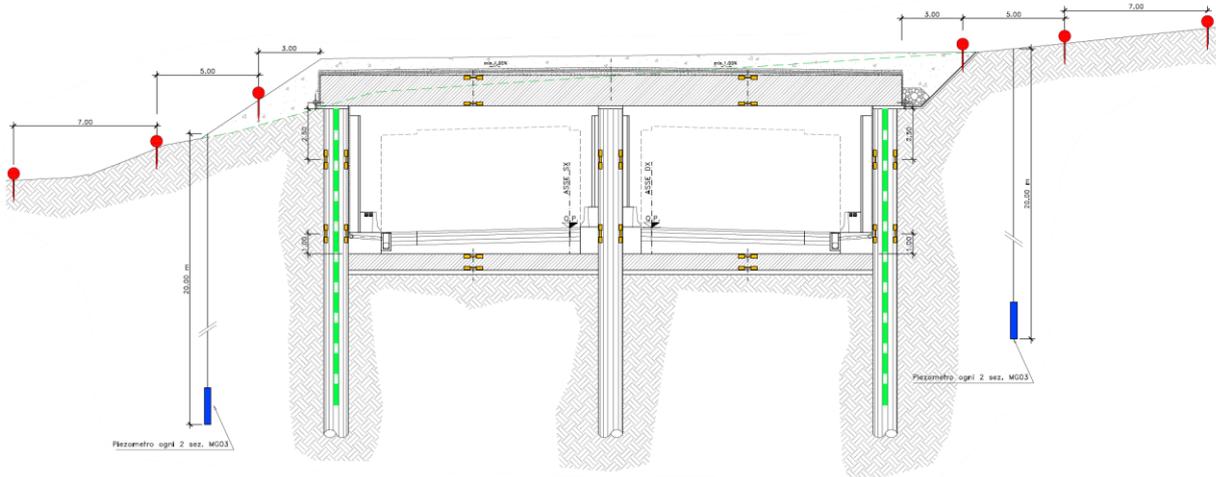


Figura 7-12 Sezione MG03

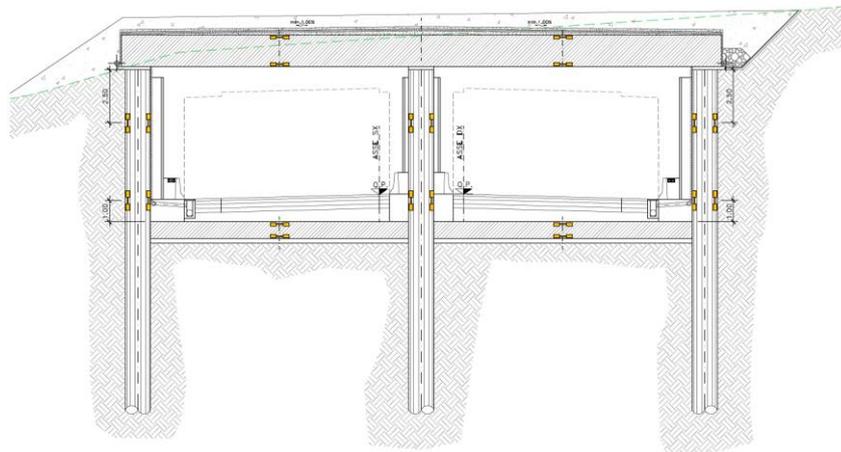


Figura 7-13 Sezione MG04

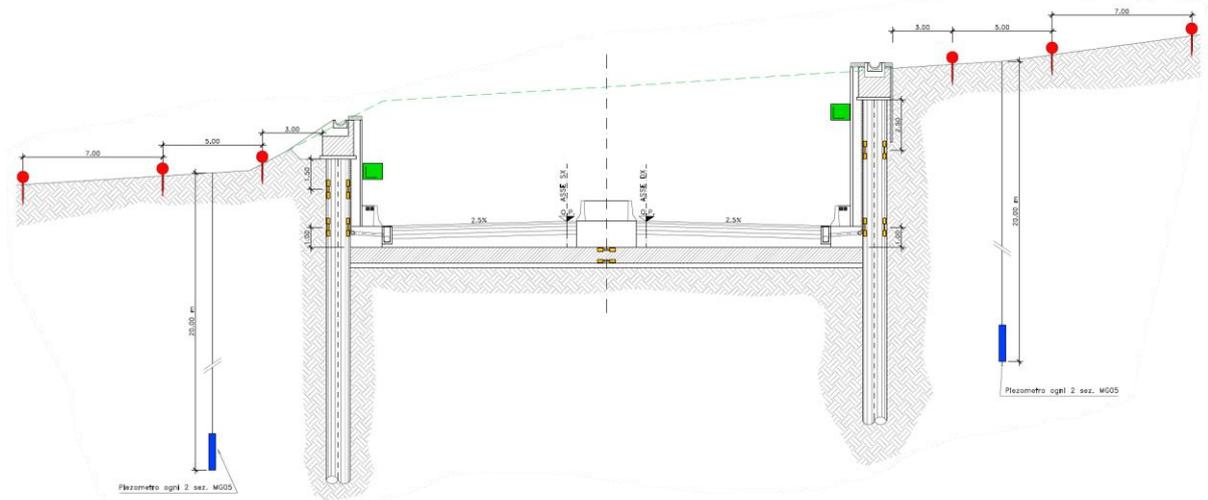


Figura 7-14 Sezione MG05

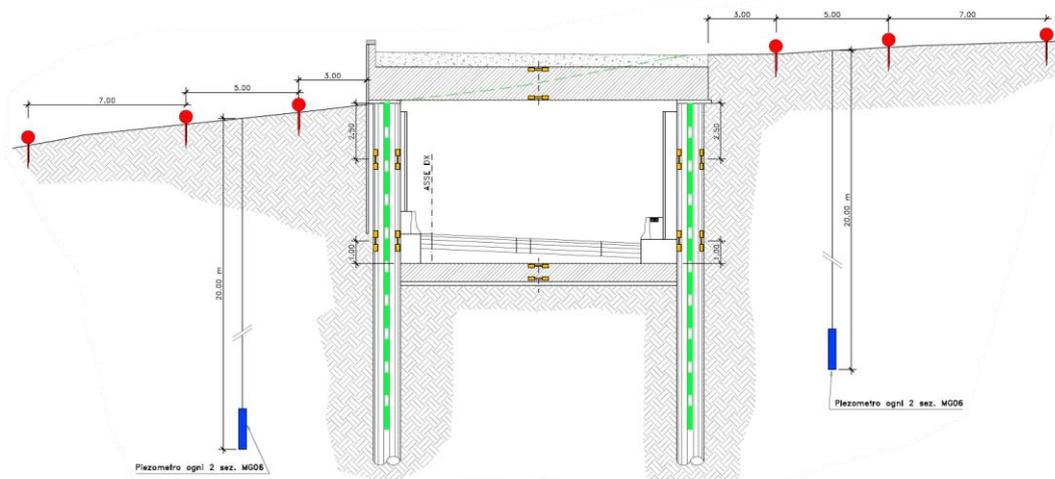


Figura 7-15 Sezione MG06

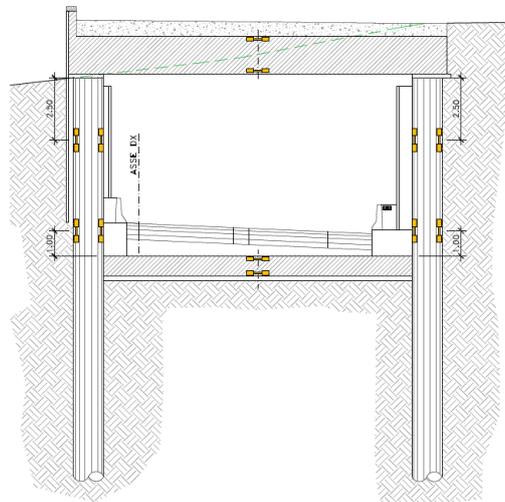


Figura 7-16 Sezione MG07



Figura 7-17 Sezione pali



Figura 7-18 Legenda gallerie artificiali - tipo paratie di pali

Di seguito il riepilogo delle quantità previste per ogni galleria artificiale tipo paratie di pali.

GALLERIA	GA03				GA04 DX			GA04 SX			GA05		
	SEZ	MG03	MG04	MG05	MG06	MG05	MG06	MG07	MG05	MG06	MG07	MG03	MG04
n°SEZ	3	2	1	1	2	2	1	2	2	1	4	3	
BARRETTA ESTENSIMETRICA	60	40	10	12	20	24	12	20	24	12	80	60	
CATENA INCLINOMETRICA FISSA	6	0	0	2	0	4	0	0	4	0	8	0	
CLINOMETRO DA PARETE BIASIALE	0	0	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	
MINIPRISMA TOPOGRAFICO	18	0	3	6	6	12	0	6	12	0	24	0	
PIEZOMETRO ELETTRICO	3	0	1	1	2	2	0	2	2	0	4	0	
PANNELLO SOLARE		2				1			1			2	
DATALOGGER STATICO		2				1			1			2	

Tabella 7-3 Riepilogo quantità strumentazioni per gallerie artificiali - tipo paratie di pali

Si adotteranno piezometri di lunghezza pari a 20 m.

**7.4 Paratie, muri su pali, muri su fondazione diretta e rilevati**

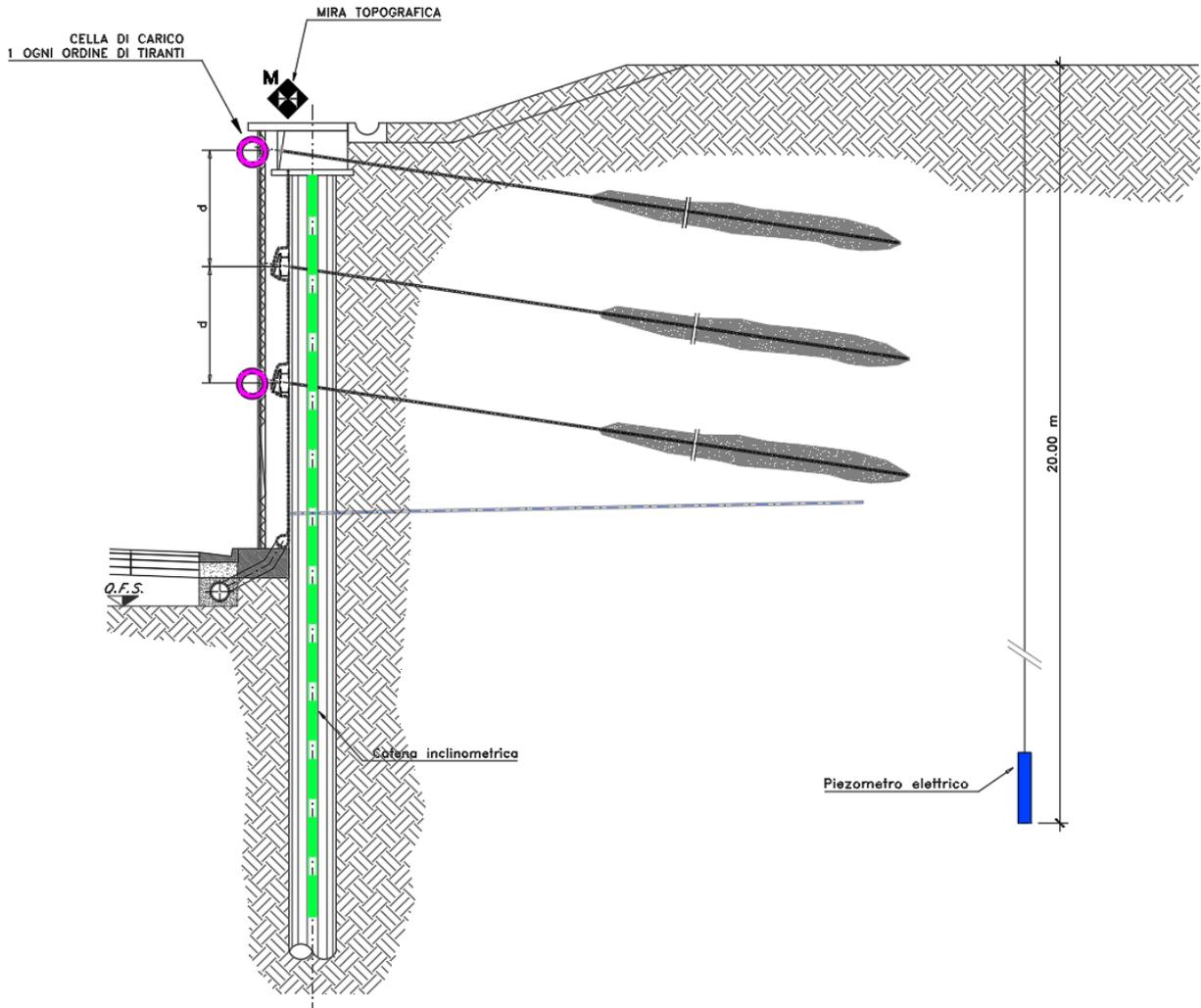


Figura 7-19 Sezione tipo paratia

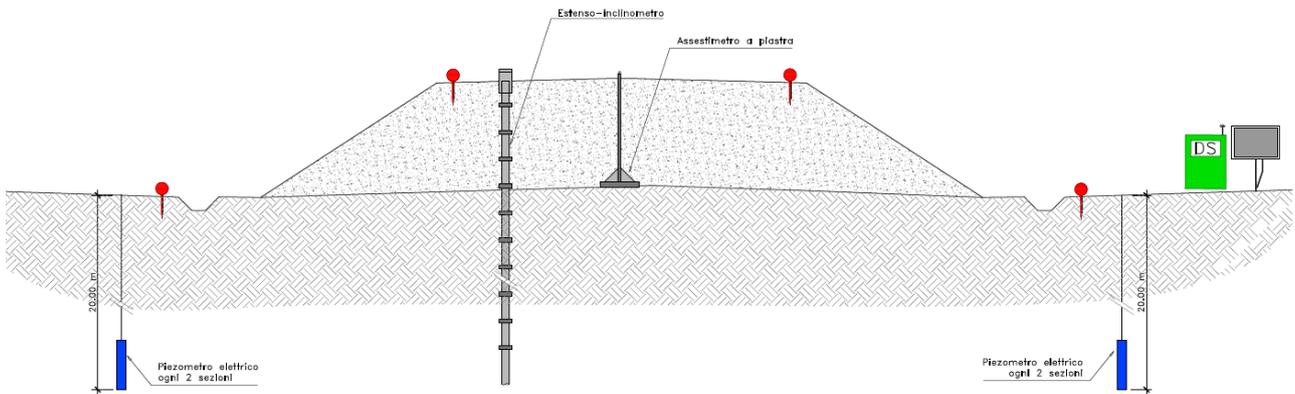


Figura 7-20 Schema rilevato con posizionamento strumentazione

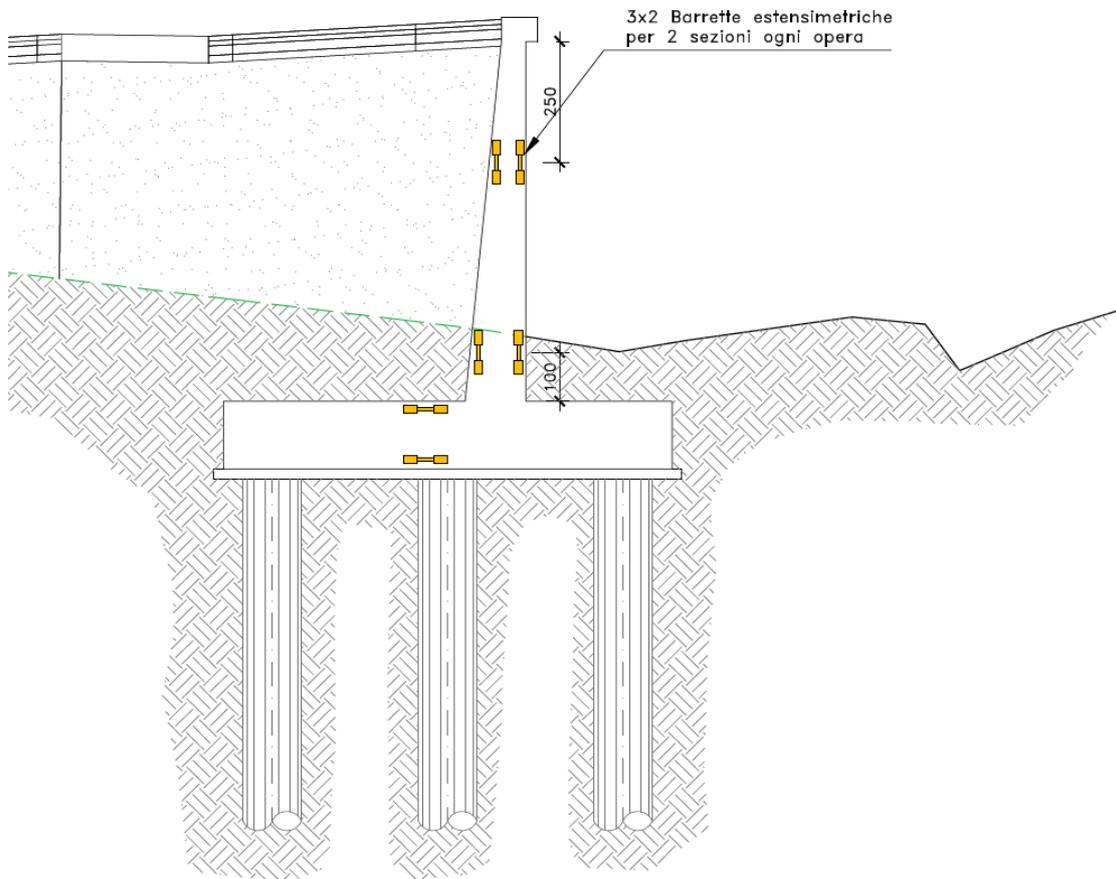


Figura 7-21 Sezione tipo muri su pali

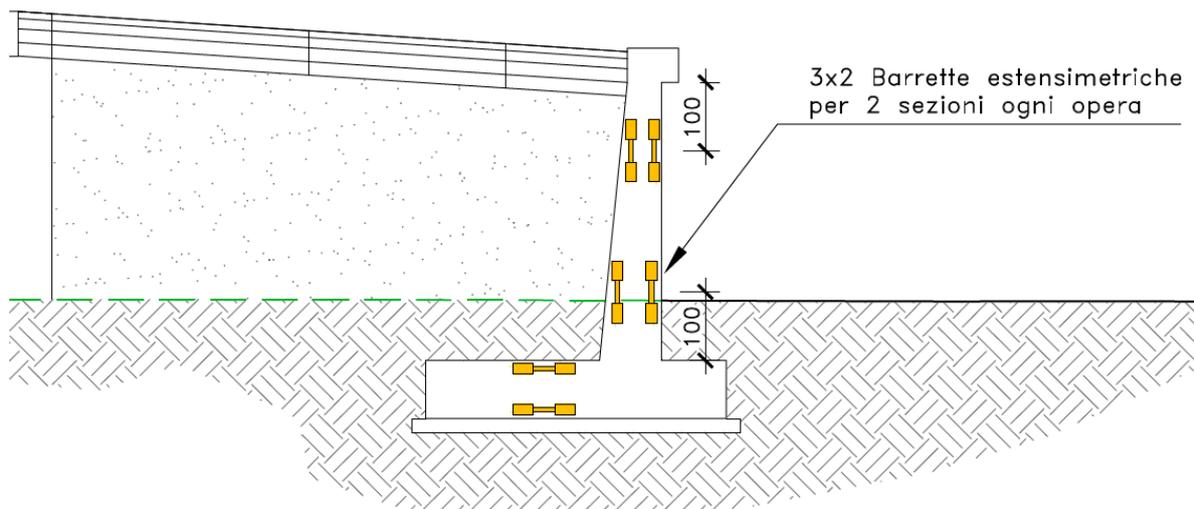


Figura 7-22 Sezione tipo muri su fondazione diretta

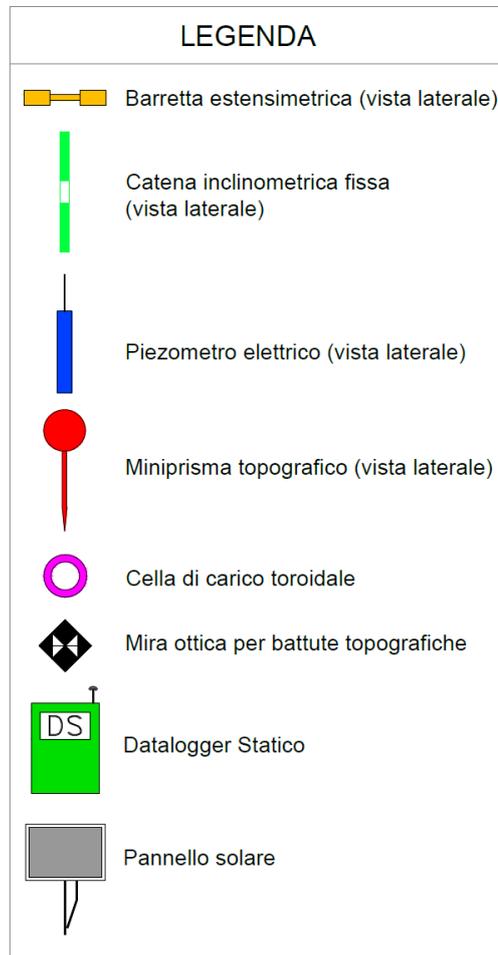


Figura 7-23 Legenda opere minori

Di seguito il riepilogo delle quantità previste per muri, paratie definitive, paratie provvisionali e rilevati.

**MURI**

<b>N° MURI</b>	<b>45</b>
<b>N° STAZIONI PER MURO</b>	<b>2</b>
<b>BARRETTA ESTENSIMETRICA</b>	540

**PARATIE DEFINITIVE**

TIPOLOGIA	H4a	H6a	H9a	H4b	H6b
<b>N° TIRANTI PER TIPOLOGIA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>N° TRATTI PER TIPOLOGIA</b>	<b>16</b>	<b>14</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>MIRA OTTICA</b>	16	14	9	1	1
<b>CATENA INCLINOMETRICA FISSA</b>	16	14	9	1	1
<b>CELLA DI CARICO TOROIDALE</b>	16	14	13	2	3
<b>PIEZOMETRO ELETTRICO</b>	16	14	9	1	1

SS 121 "Cataneese" Itinerario Palermo – Agrigento – S.S. 121 Tratto A19 – Bolognetta		
UP62	<b>Piano di monitoraggio – Relazione Viadotti, Gallerie artificiali e opere minori</b>	

#### PARATIE PROVVISORIALI

TIPOLOGIA	A	B	C
N° TIRANTI PER TIPOLOGIA	1	2	3
N° TRATTI PER TIPOLOGIA	5	32	13
MIRA OTTICA	5	32	13
CATENA INCLINOMETRICA FISSA	2	16	6
CELLA DI CARICO TOROIDALE	5	32	19
PIEZOMETRO ELETTRICO	5	32	13

#### RILEVATI

LUNGHEZZA TOT RILEVATI (m)	7600
INTERVALLO SEZIONI (m)	200
N° STAZIONI	38

MINIPRISMA TOPOGRAFICO	152
PIEZOMETRO ELETTRICO	38
ASSESTIMETRO A PIASTRA	38
ESTENSO-INCLINOMETRO	38
PANNELLO SOLARE	19
DATALOGGER STATICO	19

Tabella 7-4 Riepilogo quantità strumentazioni per muri, paratie definitive, paratie provvisoriali e rilevati

Si adotteranno piezometri di lunghezza pari a 20 m.