

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01 e s.m.i.



Progetto cofinanziato  
dalla Unione Europea

CUP: J94F04000020001

### U.O. GALLERIE

### PROGETTO DEFINITIVO

#### ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

#### ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

#### LOTTO 1: FORTEZZA - PONTE GARDENA

#### RELAZIONE TECNICA.

#### INTERFERENZA INTERCONNESSIONI DI PONTE GARDENA E AUTOSTRADA DEL BRENNERO A22.

SCALA:

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

IBL1	10	D	07	RH	GN0700	001	A
------	----	---	----	----	--------	-----	---



Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato - Data
A	Emissione definitiva per CdS	N.Casagrande	Marzo 2013	A.Sciotti	Marzo 2013	C. Mazzocchi	Marzo 2013	Andrea Pigorini Marzo 2013

File: IBL110D07RHGN0700001A.doc

n. Elab.:

## INDICE

1.	PREMESSA .....	3
2.	SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO.....	3
3.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	3
3.1	DOCUMENTI REFERENZIATI .....	3
3.2	DOCUMENTI CORRELATI .....	4
3.3	DOCUMENTI SUPERATI.....	4
3.4	ALLEGATI.....	4
3.5	DOCUMENTI PRODOTTI A SUPPORTO .....	4
4.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	5
5.	IL MONITORAGGIO SATELLITARE .....	9
5.1	LA TECNICA DI ELABORAZIONE DEI DATI .....	9
5.2	L'APPLICAZIONE DELLA TECNICA SQUEESAR™ ALL'AREA DI PONTE GARDENA.....	11
6.	LA NUOVA SOLUZIONE DI TRACCIATO.....	16
6.1	LA GALLERIA DI INTERCONNESSIONE BINARIO PARI .....	17
6.2	LA GALLERIA DI INTERCONNESSIONE BINARIO DISPARI .....	18
6.3	SCELTA DEL SISTEMA DI SCAVO.....	18
6.4	INTERVENTI A SALVAGUARDIA DELLE OPERE INTERFERITE.....	19
6.4.1	<i>Interventi sotto la pila 13.....</i>	<i>19</i>
6.4.2	<i>Interventi davanti alla pila 14.....</i>	<i>22</i>
6.4.3	<i>Interventi sotto il rilevato autostradale in prossimità dell'imbocco della galleria dispari.....</i>	<i>23</i>
6.5	MONITORAGGIO .....	26

	<b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA</b>					
GALLERIE DI INTERCONNESSIONE DI PONTE GARDENA INTERFERENZA CON A22	<b>COMMESSA</b> IBE1	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> T 05RH	<b>DOCUMENTO</b> GE 00 00 001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 3 di 26

## 1. PREMESSA

Nel Progetto Preliminare il tracciato dell'Interconnessione di Ponte Gardena prevedeva il sottoattraversamento in galleria naturale dell'autostrada A22, in corrispondenza del viadotto "Belprato 2". Nel prosieguo della progettazione, a seguito di incontri con i rappresentanti dell'Autostrada del Brennero, si è appreso di un movimento franoso sulla porzione di versante attraversata dal viadotto "Belprato2", che avrebbe pertanto coinvolto le gallerie di interconnessione.

La Società Autostrada del Brennero ha fornito elementi e dati sulle caratteristiche geometriche e sulle tipologie delle fondazioni dei viadotti, le quote delle stesse, lo schema strutturale del viadotto, i dati di monitoraggio del versante e i rilievi topografici delle pile. Allo stesso tempo Italferr ha intrapreso un'ampia campagna geognostica nell'area in esame e ha condotto un'analisi di dati radar satellitari al fine di poter ricostruire l'estensione del corpo di frana ed individuare le soluzioni progettuali per attraversare il versante e sottopassare in sicurezza l'autostrada A22.

## 2. SCOPO E CONTENUTI DEL DOCUMENTO


Il presente documento descrive ed analizza le problematiche di interferenza tra le gallerie di interconnessione di Ponte Gardena e l'Autostrada del Brennero A22, alla luce degli elementi emersi nel corso della progettazione definitiva. Sono di seguito illustrati i risultati di tali studi ed indagini, la revisione del tracciato delle interconnessioni al fine di evitare l'interferenza con l'area di frana, e le soluzioni progettuali per sottopassare in sicurezza l'Autostrada A22.

## 3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 3.1 Documenti referenziati

I documenti referenziati, utilizzati come input per il presente documento, sono i seguenti:

- Rif. [1] Italferr, U.O. Gallerie, elaborati del Progetto Preliminare "Asse ferroviario Monaco-Verona. Accesso Sud alla galleria di base del Brennero. Quadruplicamento della linea Verona-Fortezza. Lotto 1: Fortezza-Ponte Gardena".
- Rif. [2] Italferr, U.O. Geologia, elaborati del Progetto Definitivo "Asse ferroviario Monaco-Verona. Accesso Sud alla galleria di base del Brennero. Quadruplicamento della linea Verona-Fortezza. Lotto 1: Fortezza-Ponte Gardena".
- Rif. [3] Autostrada del Brennero - Documentazione riguardante il viadotto Belprato 2 (Schoenau) – Caratteristiche costruttive e rilievi. Novembre 2011.
- Rif. [4] Autostrada del Brennero - P1 Rapporto 2012 – Relazione preliminare. Misure di spostamento di alcune pile del viadotto Belprato 2 (Schoenau). Marzo 2012.

	<b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA</b>					
GALLERIE DI INTERCONNESSIONE DI PONTE GARDENA INTERFERENZA CON A22	<b>COMMESSA</b> IBE1	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> T 05RH	<b>DOCUMENTO</b> GE 00 00 001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 4 di 26

Rif. [5] Autostrada del Brennero - Documentazione riguardante il viadotto Belprato Novale luglio 2012. Disegno e calcoli della struttura del viadotto Belprato (Novale).

### 3.2 Documenti correlati

p.m.

### 3.3 Documenti superati

p.m.

### 3.4 Allegati

p.m.

### 3.5 Documenti prodotti a supporto

Rif. [6] Italferr, U.O. Gallerie, elaborati del Progetto Definitivo “Asse ferroviario Monaco-Verona. Accesso Sud alla galleria di base del Brennero. Quadruplicamento della linea Verona-Fortezza. Lotto 1: Fortezza-Ponte Gardena”:

- IBL1 10 D 07 P9 GN 0700 003 A - Intervento pila 13 - Planimetria, profilo e sezioni B.P.
- IBL1 10 D 07 P9 GN 0700 004 A - Intervento pila 14 - Planimetria, profilo e sezioni B.P.
- IBL1 10 D 07 P9 GN 0700 005 A - Planimetria, profilo e sezioni opere di consolidamento da piano campagna B.D.
- IBL1 10 D 07 P9 GN 0700 006 A - Planimetria, profilo e sezioni opere di consolidamento sotto sede autostradale B.D.
- IBL1 10 D 07 Pz GN 0700 004 A – Consolidamenti da piano campagna – Schema delle fasi esecutive B.D.

#### 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Le gallerie dell'Interconnessione di Ponte Gardena si sviluppano nel versante in sinistra idrografica del fiume Isarco, e sottopassano l'autostrada del Brennero A22 nella zona compresa tra il fondovalle e le frazioni di Fontana, Ranzfruner e Tschangger (Fig.1).

Il contesto geologico e geomorfologico dell'area di interesse è stato esaminato attraverso rilievi di superficie, analisi fotogrammetriche, indagini geognostiche ed indagini geofisiche. Metodo e risultati di studi ed indagini sono descritti in dettaglio negli elaborati di progetto della U.O. Geologia (Rif. [2]).



Fig.1 Inquadramento dell'area di studio (stralcio da cartografia 1:25000 IGM).

I rilievi di superficie sono stati eseguiti a scala 1:5000 e, in alcuni singolari settori, anche a scala 1:2000. I rilievi di campagna sono stati affiancati da un'analisi fotogrammetrica multiscalare e multitemporale e dall'analisi del nuovo modello digitale del terreno (DTM) della Provincia Autonoma di Bolzano ottenuto da immagini LIDAR (Rif. [2]).

Le indagini geognostiche sono consistite in sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di campioni per prove di laboratorio. In foro sondaggio sono state eseguite prove SPT, prove pressiometriche e dilatometriche per la determinazione delle caratteristiche meccaniche dell'ammasso, prove Lefranc e Lugeon per la misura della permeabilità. I fori sono stati strumentati con inclinometro o piezometro.

Nella tabella seguente sono elencate le perforazioni eseguite, la tipologia, le relative profondità e la strumentazione installata.

sondaggio	ubicazione	prof. (m)	tipologia	strumentazione
<b>S16</b>	circa 320m ad E di pila 10 Viad. Belprato2	205	carotaggio	piezometro
<b>V21</b>	circa 100 m ad E di pila 11 Viad. Belprato2	130	carotaggio	piezometro
<b>B2V11</b>	pila11 Viad. Belprato 2	70	carotaggio	inclinometro
<b>B2V13</b>	pila13 Viad. Belprato 2	70	carotaggio	inclinometro
<b>BV1</b>	pila1 Viad. Belprato	70	carotaggio	inclinometro
<b>BV4p</b>	pila4 Viad. Belprato	70	carotaggio	piezometro
<b>BV5</b>	pila6 Viad. Belprato	70	carotaggio	inclinometro
<b>BV6</b>	pila5 Viad. Belprato	65	carotaggio	inclinometro
<b>C5</b>	circa 45 m ad E di pila 10 Viad. Belprato	100	carotaggio	inclinometro
<b>C23</b>	circa 30 m a W di pila 15 Viad. Belprato	50	carotaggio	inclinometro
<b>CBV13</b>	pila 13 Viad. Belprato	80	carotaggio	inclinometro
<b>C25</b>	rilevato - località Novale	30	carotaggio	-
<b>C26</b>	rilevato - località Novale	40	carotaggio	-
<b>B2V13pg</b>	pila13 Belprato 2	63	distruzione	piezometro
<b>B2V13ps</b>	pila13 Belprato 2	30	distruzione	piezometro

Tab. 1 - Perforazioni eseguite

Per quel che riguarda le indagini geofisiche sono stati realizzati stendimenti di tomografia elettrica (lunghezza fino a 1800 m) e stendimenti di sismica a rifrazione (lunghezza fino a 1100 m).

L'analisi e l'interpretazione dei risultati delle indagini e degli studi citati hanno consentito di definire i caratteri geologici e geomorfologici dell'area.

Le gallerie dell'Interconnessione di Ponte Gardena si sviluppano pressoché interamente nella formazione delle Filladi Quarzifere di Bressanone, caratterizzate nell'area in esame da una scistosità principale con immersione

verso Sud-Est (giacitura media 150/30) e da diversi sistemi di discontinuità, dei quali i principali, individuati sul terreno hanno mediamente giacitura 300/80 e 40/85 (Rif. [2]). Le analisi indirette e le evidenze geologico-strutturali e geomorfologiche rilevabili sul terreno (Rif. [2]) hanno consentito inoltre di individuare, ad una distanza di circa 2 km dall'abitato di Ponte Gardena, un importante lineamento tettonico immergente verso SW e con inclinazione di circa 50°, che segna il passaggio ad un settore maggiormente fratturato e decompresso, caratterizzato da sistemi di faglie e fratture subverticali con immersione prevalente verso Nord-Ovest (Rif. [2]).

Le caratteristiche geomorfologiche di tale versante sono strettamente connesse alla struttura fragile dell'area e all'evoluzione recente, legata alla fase di ritiro dei ghiacciai e, in misura minore, all'erosione al piede esercitata dal fiume Isarco, che hanno innescato fenomeni di deformazione delle porzioni di ammasso disgiunte e svincolate dalle discontinuità. Il versante presenta, infatti, elementi morfologici rettilinei, associabili a discontinuità subverticali, strette e continue valli e vallecole, trincee più o meno ampie e scarpate strutturali. Non sono stati riscontrati elementi (ad es. scarpate e trincee fresche) che possano far pensare ad una recente e/o attuale attività a grande scala. Attualmente l'erosione laterale del fiume Isarco è impedita da opere di protezione spondale e non costituisce meccanismo di ulteriori inneschi (Rif. [2]).

Nelle porzioni più esterne dell'area, in particolare sul versante affacciato verso la valle d'Isarco, ove in sede di Progetto preliminare erano stati localizzati gli imbocchi delle gallerie di interconnessione, l'analisi di foto aeree ha evidenziato un esteso e complesso corpo di frana quiescente, al cui interno si innescano fenomeni di riattivazione più recente (Fig.2). In particolare, tra questi è compresa l'area identificata tramite il monitoraggio inclinometrico fatto eseguire dalla Società Autostrada del Brennero.

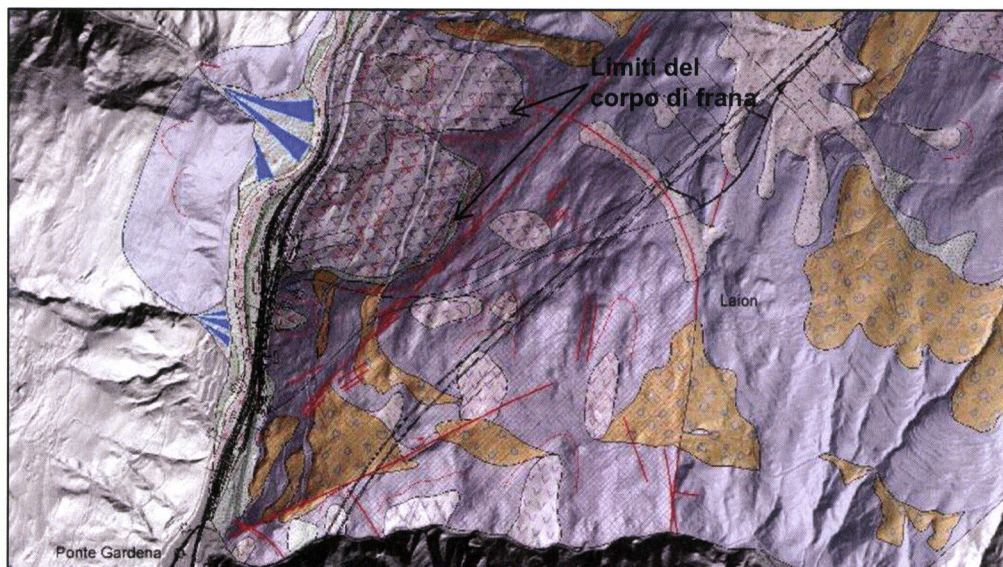


Fig.2. Planimetria dell'area di studio con indicazione del corpo di frana quiescente (da Rif. [2]).

Le indagini geognostiche eseguite nell'area mostrano che il corpo franoso ha una natura articolata e composta, con zone caotiche e difficili da definire, alternate a settori riconducibili a orizzonti rocciosi variamente fratturati e



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA


GALLERIE DI INTERCONNESSIONE DI PONTE GARDENA  
INTERFERENZA CON A22

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBE1	00	T 05RH	GE 00 00 001	A	8 di 26

discontinui. Il substrato questo appare costituito da un ammasso roccioso a luoghi più o meno integro e continuo, a luoghi invece molto fratturato e al limite incoerente (Rif. [2]).

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati specialistici di progetto definitivo redatti dalla U.O. Geologia (Rif. [2]).



	<b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA</b>					
GALLERIE DI INTERCONNESSIONE DI PONTE GARDENA INTERFERENZA CON A22	<b>COMMESSA</b> IBE1	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> T 05RH	<b>DOCUMENTO</b> GE 00 00 001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 9 di 26

## 5. IL MONITORAGGIO SATELLITARE

Allo scopo di individuare l'estensione planimetrica dell'area in movimento ed integrare le informazioni provenienti dai rilievi topografici e dal monitoraggio geotecnico, è stata avviata un'analisi di dati radar satellitari per il controllo degli spostamenti superficiali nell'area di interesse. Tali analisi consentono non solo di stimare il comportamento deformativo attuale, ma anche di ricostruirne l'evoluzione attraverso l'elaborazione dei pregressi dati satellitari.

### 5.1 La tecnica di elaborazione dei dati

Le recenti evoluzioni delle tecniche di elaborazione delle immagini radar satellitari hanno condotto allo sviluppo di nuovi strumenti per l'analisi ed il monitoraggio ad alta precisione di fenomeni di deformazione della superficie terrestre. Nel caso delle opere a grande sviluppo lineare, quali le infrastrutture ferroviarie, il telerilevamento satellitare presenta il vantaggio, rispetto alle usuali tecniche di monitoraggio, di poter analizzare grandi aree in tempi rapidi ed inoltre grazie agli archivi storici di immagini satellitari è possibile ricostruire l'evoluzione temporale delle deformazioni già a partire dagli anni 90.

L'analisi di dati satellitari per il monitoraggio di spostamenti superficiali prevede l'impiego di radar di tipo SAR (Synthetic Aperture Radar), in grado di misurare la distanza tra il sensore e un bersaglio a terra registrando il tempo intercorso tra l'emissione dell'onda elettromagnetica e la ricezione del segnale retro-diffuso dal bersaglio stesso. Radar di questo tipo installati su satelliti consentono, per la periodicità di passaggio del satellite sulla stessa area, di acquisire misure ripetute della distanza sensore-bersaglio e di identificare, quindi, dalla variazione di tale distanza in istanti successivi, eventuali spostamenti del bersaglio (Fig.3).

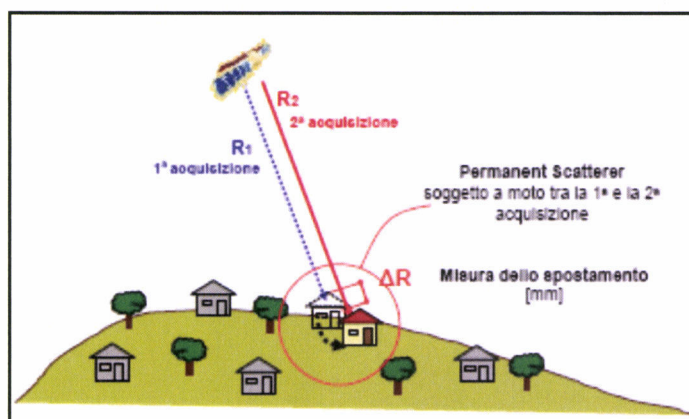


Fig. 3. Principio di funzionamento dell'Interferometria SAR con la tecnica SqueeSAR™.

Le analisi sono state condotte dalla società Tele-Rilevamento Europa s.r.l, mediante la tecnica di elaborazione SqueeSAR™, che consente di ricavare le informazioni di movimento superficiale da elementi già presenti e visibili da satellite: i riflettori permanenti e i riflettori distribuiti (rispettivamente: Permanent Scatterers, PS e

	<b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA</b>					
	GALLERIE DI INTERCONNESSIONE DI PONTE GARDENA INTERFERENZA CON A22	<b>COMMESSA</b> IBE1	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> T 05RH	<b>DOCUMENTO</b> GE 00 00 001	<b>REV.</b> A

Distributed Scatterers, DS). I riflettori PS possono essere sia di origine naturale (ad es. rocce esposte), sia di origine antropica (ad es. edifici, guardrail di strade e viadotti, tralicci). I DS sono generalmente costituiti da aree detritiche o aree omogenee con scarsa vegetazione.

Il satellite misura la distanza sensore-bersaglio lungo una linea inclinata rispetto alla verticale, definita Line Of Sight, (LOS, congiungente sensore-bersaglio) (Fig.4). Nel caso dei satelliti ERS-1 e ERS-2 dell’Agenzia Spaziale Europea la direzione sensore-bersaglio è inclinata rispetto alla verticale di un angolo di circa 22°, nel caso dei satelliti RADARSAT dell’Agenzia Spaziale Canadese l’inclinazione è di circa 35°. Lo spostamento misurato dal satellite rappresenta, pertanto, la componente lungo la direzione sensore-bersaglio del reale spostamento del bersaglio a terra: ne deriva che lo spostamento misurato dal satellite è tanto più piccolo rispetto allo spostamento reale, quanto più la direzione del vettore spostamento si discosta dalla direzione di puntamento del sensore.

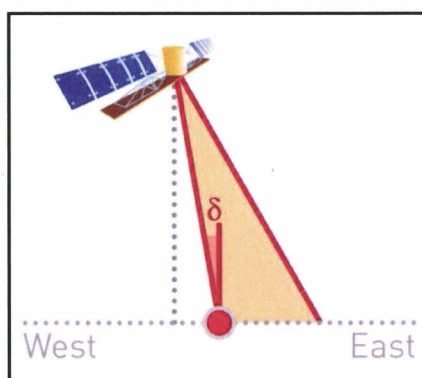



Fig. 4. La linea di vista del satellite (Line of Sight, LOS).

La tecnica SqueeSAR<sup>TM</sup> consente di raggiungere una precisione millimetrica nella misura della velocità media di spostamento (Tabella 2).

Tabella 2

Spostamenti	Velocità media di spostamento		Singola Misura
Precisione (1σ)	<1 mm/anno		<5 mm
Posizione	Est	Nord	Verticale
Precisione (1σ)	7 m (satelliti ERS-RSAT) 4 m (satelliti in banda X)	2 m (satelliti ERS-RSAT) 1m (satelliti in banda X)	1.5 m

	<b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA</b>					
	GALLERIE DI INTERCONNESSIONE DI PONTE GARDENA INTERFERENZA CON A22	<b>COMMESSA</b> IBE1	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> T 05RH	<b>DOCUMENTO</b> GE 00 00 001	<b>REV.</b> A

## 5.2 L'applicazione della tecnica SqueeSAR™ all'area di Ponte Gardena

L'area oggetto dell'analisi dei dati satellitari si riferisce alla porzione di tracciato compreso tra Ponte Gardena e Chiusa, per un'estensione di circa 10 km<sup>2</sup>.

Sono stati esaminati i dati satellitari riguardanti il periodo temporale 1992 ÷ 2011; in particolare, sono state elaborate 160 immagini radar satellitari, acquisite dai sensori ERS-1 e ERS-2 dell'Agenzia Spaziale Europea nel periodo 1992-2000 e dal sensore RADARSAT-1 dell'Agenzia Spaziale Canadese nel periodo 2003-2011, entrambi in geometria discendente. Nel complesso, l'elaborazione dei dati radar satellitari con la tecnica SqueeSAR™ ha consentito di individuare oltre 2600 punti di misura, la cui densità è massima nelle zone di fondovalle, in corrispondenza delle infrastrutture e dei centri abitati, e minima nelle zone vegetate o prive di strutture.


Gli spostamenti dei punti di misura sono definiti rispetto alla linea di vista del satellite e rispetto ad un punto di riferimento (localizzato nell'abitato di Ponte Gardena), selezionato tra tutti i PS che non manifestano trend di spostamento, e caratterizzato da elevate qualità radiometriche.

Le analisi forniscono informazioni sui movimenti superficiali dei riflettori in termini di velocità media di spostamento sull'intero periodo di tempo monitorato e in termini di "serie storiche di spostamento", che descrivono l'evoluzione dello spostamento nel tempo.

In Figura 5 sono illustrati i punti di misura individuati nell'area compresa tra Ponte Gardena a Sud, Chiusa a Nord, Laion ad Est ed il fiume Isarco ad Ovest, visualizzati in termini di velocità media annua (mm/anno) calcolata sul periodo 2003-2011. La scala colori utilizzata identifica con giallo, arancione e rosso gli allontanamenti dal sensore lungo la direzione di vista (LOS), con il colore verde punti sostanzialmente stabili (velocità comprese tra  $\pm 1$  mm/anno), e con diverse tonalità di blu avvicinamenti al sensore lungo la direzione di vista.

È evidente una zona caratterizzata da movimenti con velocità media dell'ordine di -5 mm/anno e con valori massimi fino a -9 mm/anno (il segno meno indica allontanamento del bersaglio dal satellite): per il dettaglio vedi Figura 6.

Tale risultati sono confermati anche dall'analisi dei dati satellitari relativi al periodo 1992-2000 (dati dai satelliti ERS) con paragonabili valori di velocità media.

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA</b>					
	GALLERIE DI INTERCONNESSIONE DI PONTE GARDENA INTERFERENZA CON A22	<b>COMMESSA</b> IBE1	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> T 05RH	<b>DOCUMENTO</b> GE 00 00 001	<b>REV.</b> A

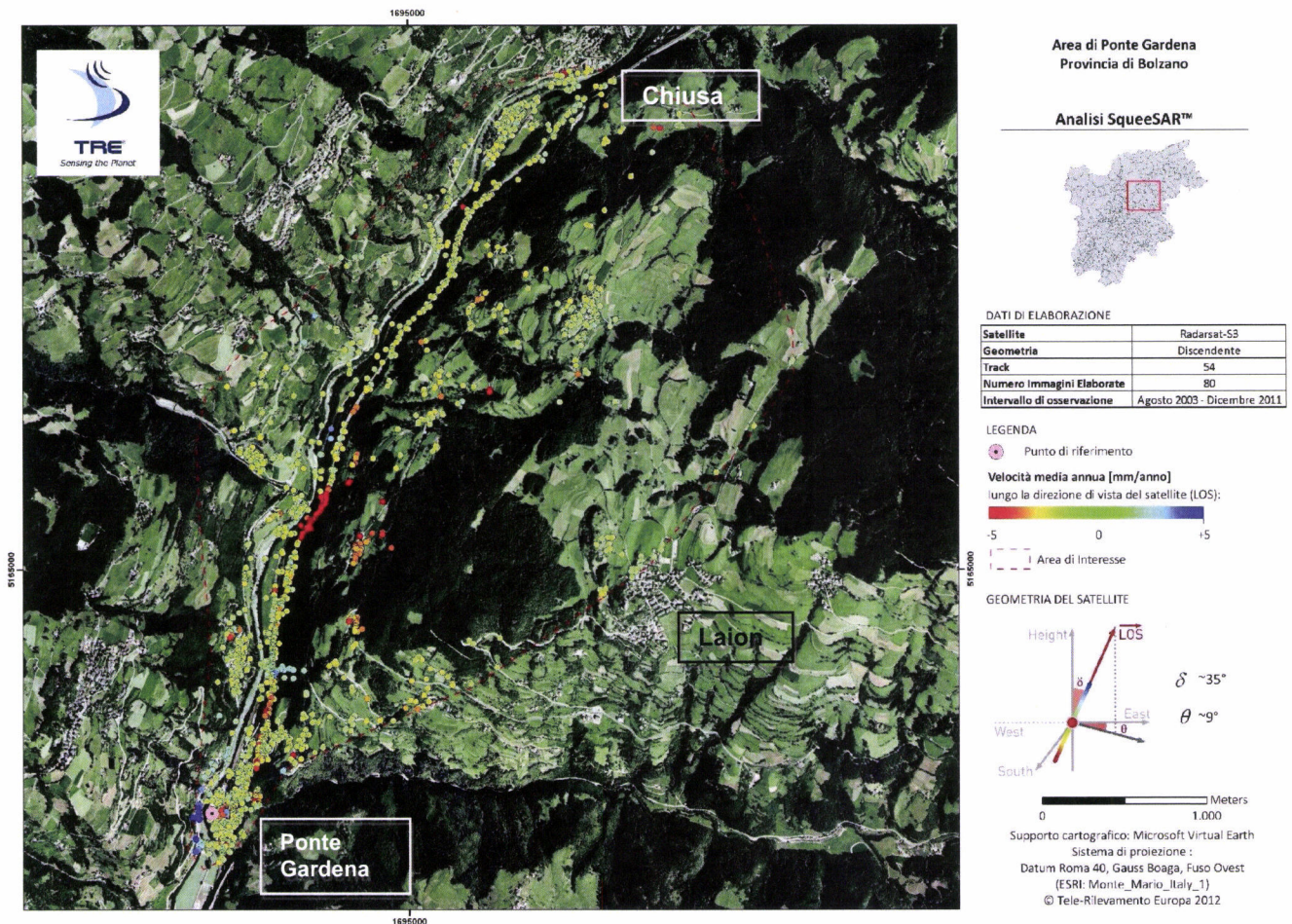


Fig. 5. Risultati dell'analisi sui dati da satellite RADARSAT-1: velocità media di spostamento nel periodo 2003-2011.

I punti in movimento visibili dal sensore si localizzano prevalentemente lungo il viadotto Belprato 2, in maniera più significativa tra la pila n°7 e la pila n° 11, e su alcuni fabbricati a monte. In particolare, si osserva che in tale area le serie storiche degli spostamenti sono caratterizzate da un trend lineare nel tempo (Fig.7).

Si riporta per confronto in figura 8 la serie storica dello spostamento di un PS, al di fuori dell'area in movimento, localizzato più a Sud, lungo il viadotto Belprato.

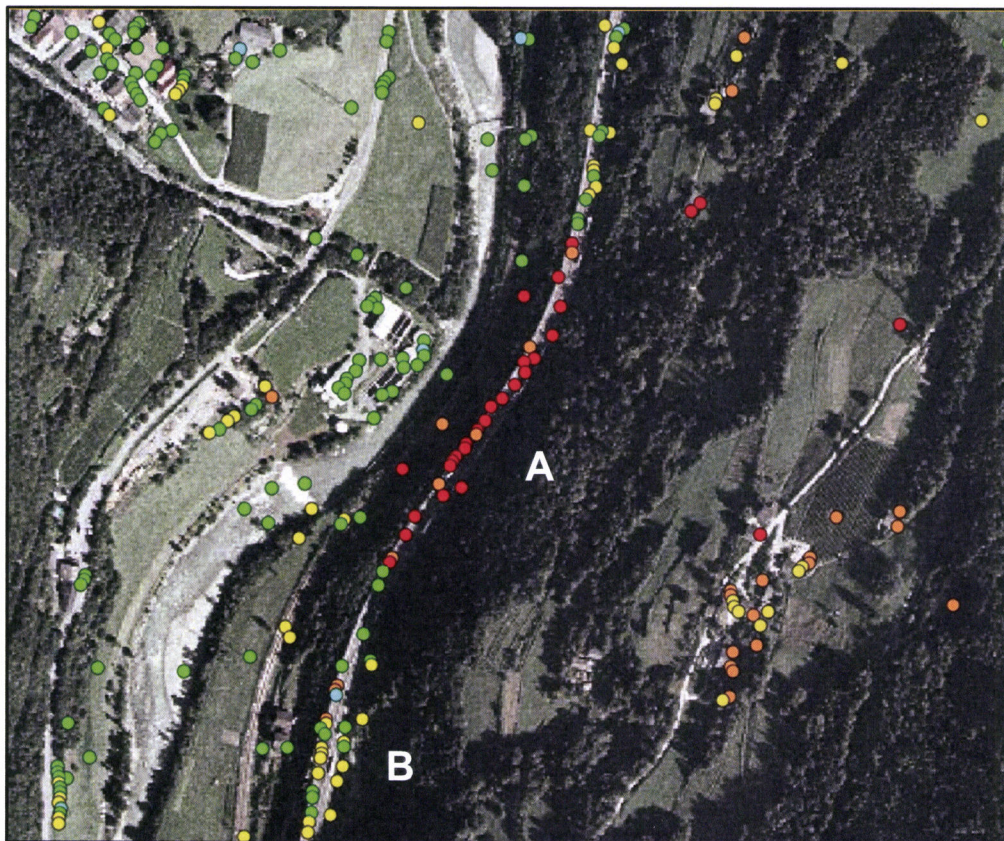


Fig. 6. Dettaglio dell'analisi SqueeSAR<sup>TM</sup>. Zona A: PS con velocità media  $\geq 5$  mm/anno nel periodo 2003-2011.  
Zona B: PS con velocità  $\leq 2$  mm/anno nel periodo 2003-2011.

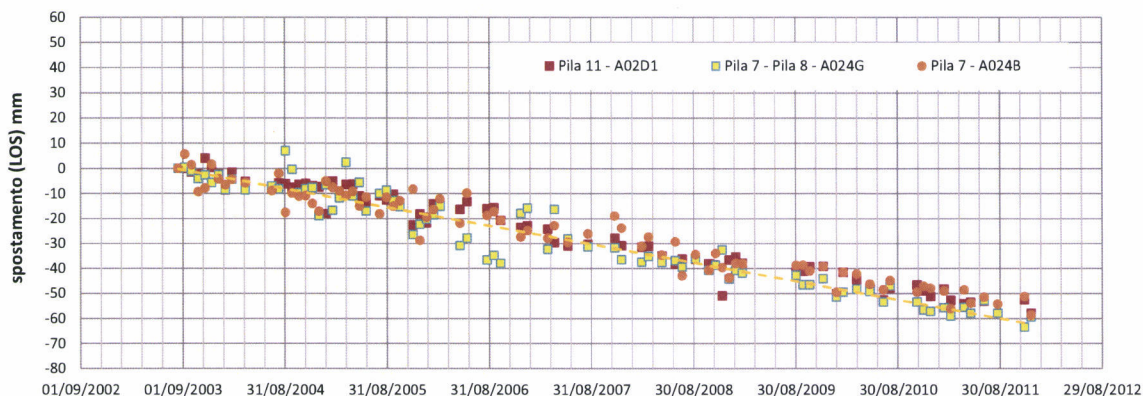


Fig. 7. Serie storiche degli spostamenti di alcuni PS sul viadotto Belprato 2 (zona A in fig.5).

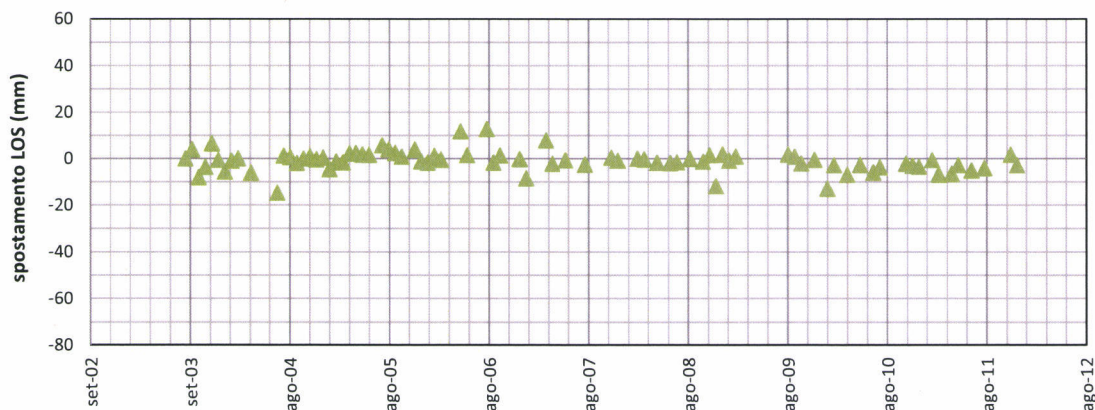


Fig. 8. Serie storiche degli spostamenti di un PS rappresentativo dell'area stabile, sul viadotto Belprato (zona B in fig.5).

I movimenti superficiali individuati dall'analisi dei dati radar satellitari ricadono all'interno dell'area di frana evidenziata sia dagli studi geologici, sia dalle indagini geognostiche; il tracciato delle gallerie di interconnessione previsto nel Progetto Preliminare si sviluppa attraverso tale area, sottopassando con basse coperture il viadotto autostradale Belprato 2 (Fig.9).

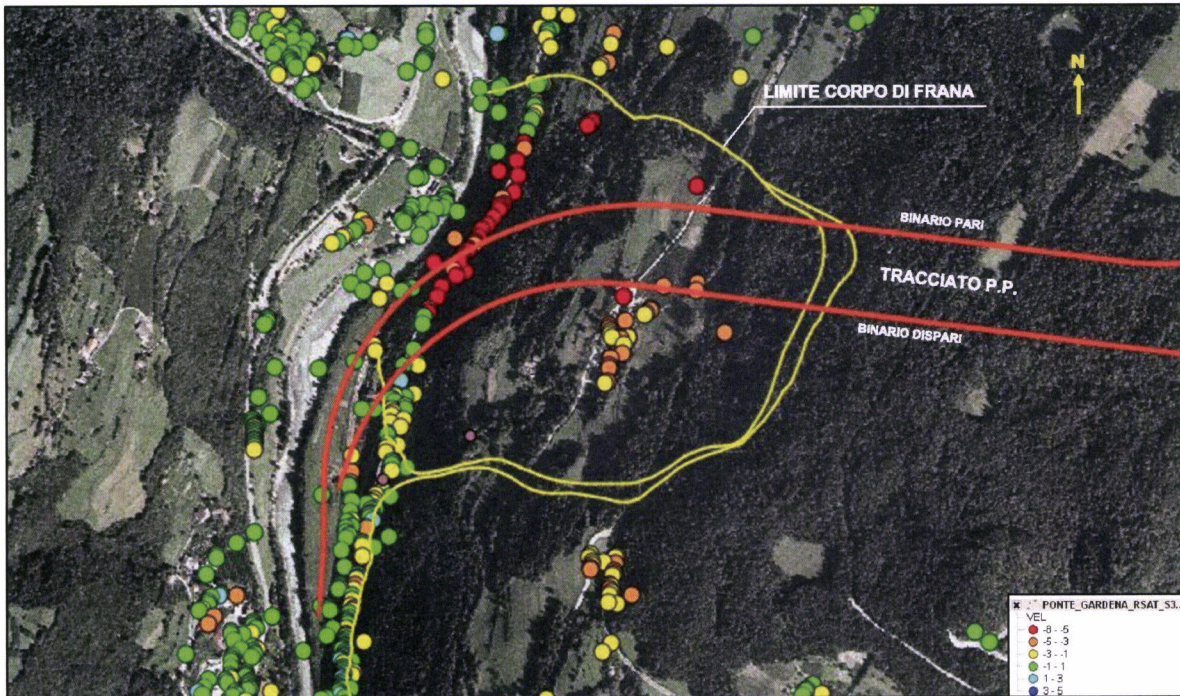



Fig. 9. Planimetria con i dati di monitoraggio satellitare e con lo sviluppo del tracciato di Progetto Preliminare. In giallo l'estensione dell'area di frana.

	<b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA</b>					
GALLERIE DI INTERCONNESSIONE DI PONTE GARDENA INTERFERENZA CON A22	<b>COMMESSA</b> IBE1	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> T 05RH	<b>DOCUMENTO</b> GE 00 00 001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 16 di 26

## 6. LA NUOVA SOLUZIONE DI TRACCIATO

Il confronto e l'analisi integrata dei risultati degli studi geologico-geomorfologici e del monitoraggio dei movimenti superficiali tramite dati radar satellitari hanno consentito di definire con un buon livello di affidabilità i limiti del dissesto, evidenziandone al contempo la sua natura articolata e i suoi significativi spessori. Sulla base di tali risultati e della complessità del sottoattraversamento della infrastruttura autostradale nel contesto sopra descritto, si è ritenuto necessario individuare soluzioni di tracciato alternative.

Nel progetto definitivo è stata quindi sviluppata una nuova ipotesi di tracciato, collocato a Sud della soluzione precedente, in zone che dal telerilevamento satellitare e dagli studi geologico-geomorfologici appaiono esenti da criticità e geomorfologicamente meno suscettibili. Nel nuovo tracciato di progetto definitivo:

- il ramo pari dell'interconnessione si snoda planimetricamente, nella parte iniziale della galleria, al margine dell'area interessata dal fenomeno gravitativo, per poi allontanarsene decisamente; dal punto di vista altimetrico il nuovo tracciato del binario pari si sviluppa senza prevedibili interferenze con il corpo franoso (Fig.10, poiché le coperture aumentano rapidamente procedendo all'interno del versante;
- il ramo dispari dell'interconnessione, situato decisamente più a Sud del ramo pari, risulta ben distante dalla zona interessata dal dissesto (Fig.10).

Con il nuovo tracciato l'interferenza tra i due rami di interconnessione e l'autostrada A22 si sviluppa completamente in sotterraneo, sottopassando il rilevato del viadotto "Belprato" (interconnessione dispari) e la pila 13 del viadotto "Belprato" (interconnessione pari).

È stata inoltre definita una metodologia di avanzamento diversa rispetto a quella prevista in progetto preliminare: anziché in scavo tradizionale, le gallerie saranno realizzate in scavo meccanizzato a piena sezione mediante TBM scudata e fronte in pressione per controllare gli effetti di interazione. Le gallerie di interconnessione hanno sezione circolare con diametro di scavo di 9,60 m, il rivestimento è previsto in elementi prefabbricati in calcestruzzo armato dello spessore di 45 cm.



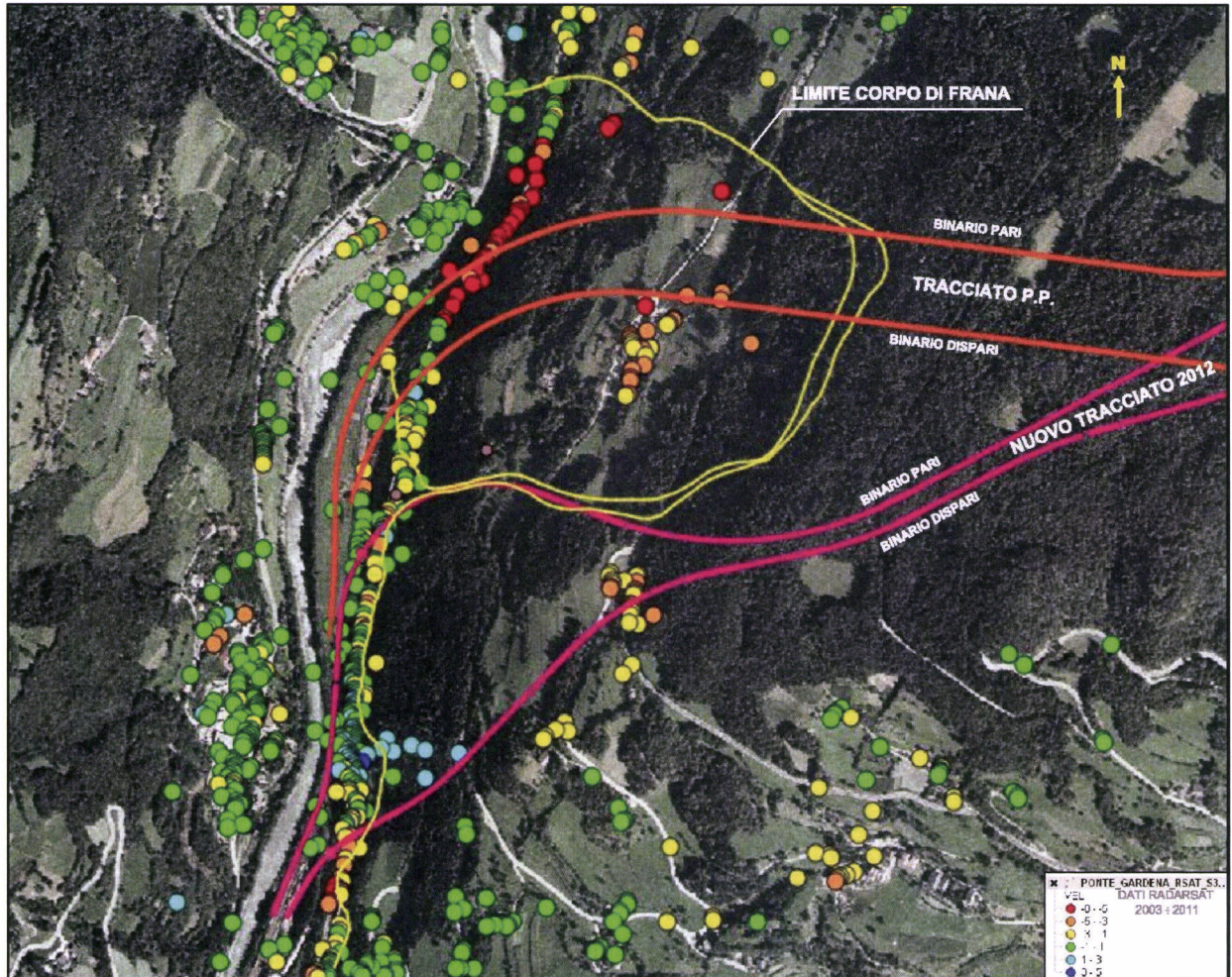


Fig. 10. Planimetria con i dati di monitoraggio satellitare e con lo sviluppo del nuovo tracciato 2012, posto a confronto con il tracciato di Progetto Preliminare. In giallo l'estensione dell'area di frana.

### 6.1 La galleria di interconnessione binario pari

Per il tracciato del binario pari si è scelta la soluzione che prevede la maggiore copertura rispetto alle fondazioni del viadotto. L'interferenza vera e propria con l'Autostrada A22 è rappresentata dal sottoattraversamento della pila 13 ad una distanza di ca. 11 m, misurata tra l'estradosso della galleria (472,50 m s.l.m.) e il piano di fondazione (484,80 m s.l.m.) come mostrato negli elaborati di progetto (Rif. [6]). Si prevedono interventi di



**QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA**  
**LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA**

GALLERIE DI INTERCONNESSIONE DI PONTE GARDENA  
INTERFERENZA CON A22

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBE1	00	T 05RH	GE 00 00 001	A	18 di 26

consolidamento dell'ammasso roccioso al di sotto della fondazione stessa: la porzione di terreno consolidata interessa lo spazio compreso tra la fondazione della pila 13 e l'estradosso della galleria secondo la geometria dell'intervento indicativamente rappresentata negli elaborati di progetto (Rif. [6]). L'intervento verrà eseguito, tramite perforazioni sub-orizzontali, sia dall'area ferroviaria, sia dalla strada di servizio dell'autostrada; pertanto tutte le operazioni si svolgono all'esterno delle strutture. E' inoltre previsto un intervento di separazione tra la pila 14 e la galleria mediante una paratia di pali per ridurre gli eventuali effetti di disturbo indotti dallo scavo (Rif. [6]). Più a valle è prevista la realizzazione di un tampone di terreno consolidato, mediante iniezioni verticali, per uno sviluppo longitudinale di 20m ca., che precede il successivo tratto in galleria artificiale (Rif. [6]). L'intervento ha la finalità di garantire il corretto arrivo della macchina scudata nella galleria artificiale.

## 6.2 La galleria di interconnessione binario dispari

Il tracciato del binario dispari si trova spostato ancora più a sud, molto lontano dal limite del corpo di frana. L'interferenza con l'Autostrada A22 è rappresentata dal sottoattraversamento del rilevato posto a valle del viadotto "Belprato", a ridosso della spalla sud, con copertura media di 16 m rispetto al piano di rotolamento stradale. Anche qui sono previsti interventi di consolidamento del terreno come mostrato negli elaborati di progetto (Rif. [6]) per controllare gli effetti dell'interazione. La porzione di terreno consolidata interessa lo spazio compreso tra il piano di rotolamento stradale e l'estradosso della galleria, secondo la geometria dell'intervento rappresentata negli elaborati di progetto (Rif. [6]). I consolidamenti verranno eseguiti dall'area ferroviaria a valle del rilevato tramite perforazioni sub orizzontali, pertanto tutte le operazioni si svolgono all'esterno delle strutture autostradali. Più a valle, al fine di consentire l'uscita della TBM in sicurezza, è prevista un tampone di terreno consolidato mediante iniezioni verticali, immediatamente a tergo del successivo tratto in galleria artificiale. Si renderà necessario prevedere la deviazione provvisoria, per fasi, della locale strada di servizio senza comunque interromperne la funzionalità. Dopo il passaggio della fresa i luoghi verranno ripristinati nelle condizioni originarie.

## 6.3 Scelta del sistema di scavo

Come anticipato in premessa, in funzione delle caratteristiche dei terreni da attraversare, delle ridotte coperture in prossimità degli imbocchi e delle opere interferenti sensibili ai cedimenti si è optato, per lo scavo delle gallerie, per l'impiego del metodo meccanizzato a piena sezione con frese scudate e sostegno attivo del fronte (metodo EPB). Tale metodo risulta senz'altro più idoneo ed efficace ad assicurare le necessarie condizioni di stabilità ed a limitare notevolmente i cedimenti in superficie rispetto allo scavo tradizionale inizialmente previsto in progetto preliminare. Assieme agli interventi preventivi di consolidamento e protezione previsti nelle zone interferenti si ottiene così un sistema integrato capace di garantire condizioni di stabilità dei terreni e di contenere al massimo i cedimenti superficiali, garantendo la salvaguardia delle infrastrutture presenti che vengono sottopassate.

La tecnica dello scavo meccanizzato con frese a sostegno del fronte permette di mantenere sempre una pressione sul fronte e di contenere le deformazioni del cavo rivestendo la galleria a brevissima distanza dal fronte con anelli prefabbricati impermeabili, man mano che avanzano gli scavi. Attraverso la stessa contropressione il sistema è anche in grado di tamponare le infiltrazioni d'acqua con l'aiuto di additivi iniettati sul fronte direttamente dalla

	<b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA</b>					
	GALLERIE DI INTERCONNESSIONE DI PONTE GARDENA INTERFERENZA CON A22	<b>COMMESSA</b> IBE1	<b>LOTTO</b> 00	<b>CODIFICA</b> T 05RH	<b>DOCUMENTO</b> GE 00 00 001	<b>REV.</b> A

camera di scavo che chiudono gli interstizi tra i grani del terreno. In questo modo si evita di turbare le condizioni idrogeologiche e di innescare cedimenti di consolidazione del terreno.

## 6.4 Interventi a salvaguardia delle opere interferite

### 6.4.1 Interventi sotto la pila 13

Per il sottoattraversamento della pila 13 è stato previsto, a salvaguardia dell'opera, il consolidamento dell'ammasso roccioso con iniezioni cementizie nella fascia compresa tra la fondazione dell'opera e la galleria. Tali iniezioni sono effettuate attraverso perforazioni sub-orizzontali eseguite prima dell'arrivo della TBM-EPB secondo le geometrie riportate nelle Figure 11, 12 e 13.

Gli interventi previsti si svolgono su due settori all'esterno della struttura autostradale, e comprendono due tipologie di consolidamenti, denominate A e B.

Il consolidamento tipo A viene effettuato da una piazzola ricavata a fianco della strada a servizio dell'A22, posta più o meno a quota fondazione pila. Tali consolidamenti sono costituiti da perforazioni a maglie quinconce alternate, diam. 160 mm, di lunghezza variabile da 34 a 44 m di cui 27 m iniettati con tubi valvolati in PVC (in 2 valvole/m) con azimut e inclinazione tali da rendere la maglia di resa 2mx2m in asse pila. Le iniezioni saranno realizzate con miscele composte da acqua e cemento. L'eventuale interferenza delle tubazioni con il tracciato della galleria non comporta problemi al momento dell'arrivo della TBM-EPB poiché gli elementi in PVC sono facilmente demolibili dalla testa fresante della macchina.

Il consolidamento tipo B viene effettuato da un'altra piazzola posta a quota più bassa, più o meno a livello della sede ferroviaria. Tali consolidamenti sono costituiti da perforazioni a maglie quinconce alternate, diam. 160 mm, lunghezza 60 m, di cui 28 m iniettati con tubi valvolati con armatura tubolare diam. 114 (in 2 valvole/m) con azimut e inclinazione tali da rendere la maglia di resa 2mx2m in asse pila. Le iniezioni saranno realizzate con miscele composte da acqua e cemento. L'inclinazione delle perforazione è più ridotta rispetto a quella del tipo A per evitare l'interferenza sia con la fondazione della pila che con l'impronta della galleria.

L'intervento ha la finalità di mitigare le deformazioni indotte dallo scavo, ricucendo l'ammasso interposto fra la fondazione della pila e la sezione di scavo, che localmente si può presentare fratturato/molto fratturato. L'intervento tipo A consente di dare omogeneità e con il secondo, il tipo B, si rende tridimensionale il consolidamento; infine l'armatura tubolare riduce ulteriormente eventuali deformazioni lavorando a flessione e trasferendo i carichi lateralmente.

I parametri di iniezione (volume iniettato e pressione) dovranno essere confermati e tarati mediante un campo prove da realizzarsi prima dell'inizio dei lavori, suffragati da prove di permeabilità per accertarsi della iniettabilità dell'ammasso.

La sequenza delle lavorazioni prevede l'esecuzione del consolidamento prima del tipo A e poi del tipo B.

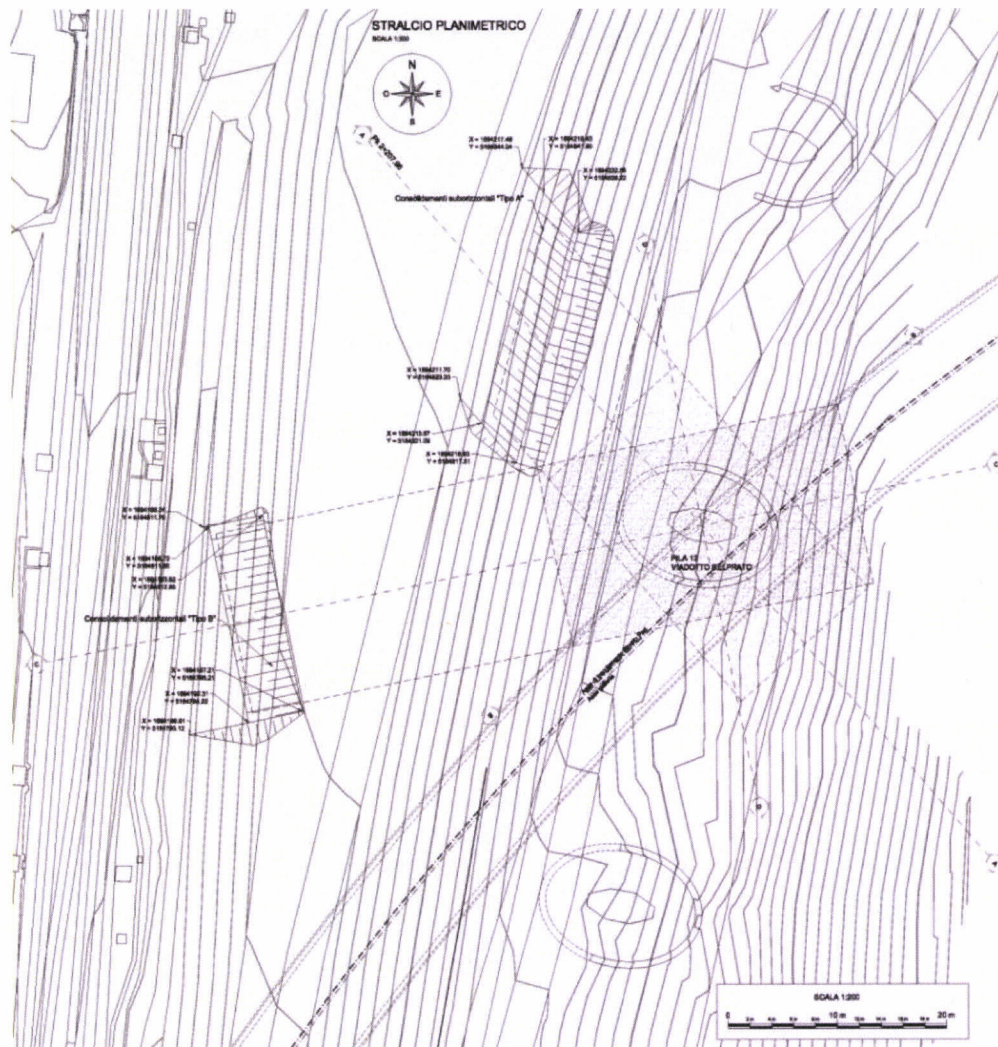


Figura 11 – Planimetria zona interferita - geometrie dell'intervento

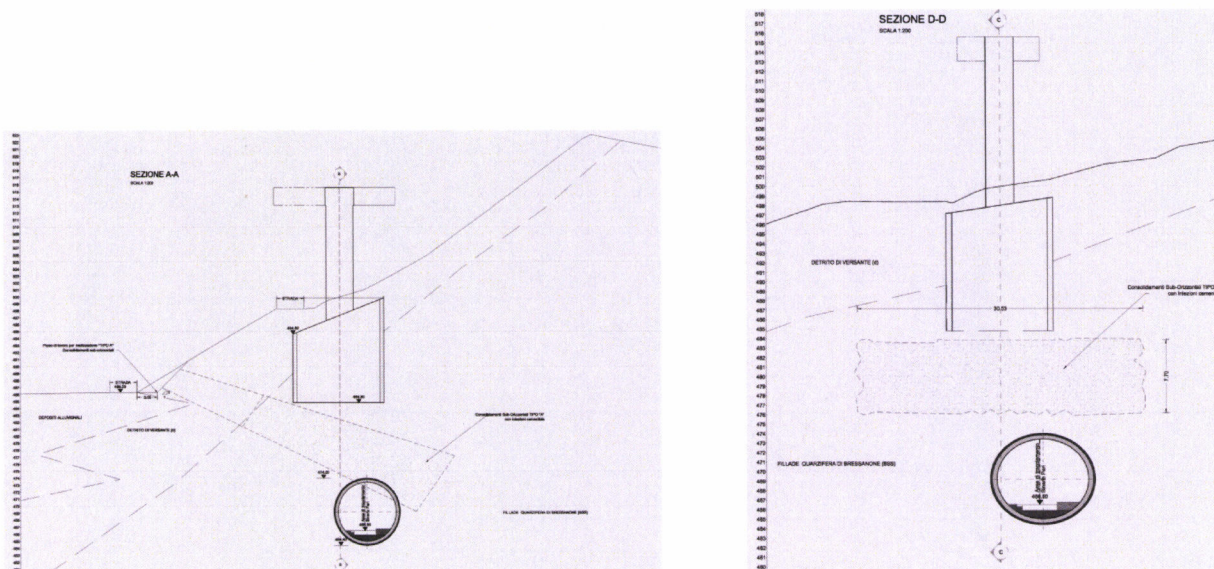


Figura 12 – Sezioni trasversali - Geometrie degli interventi sotto la fondazione della pila 13  
(a sx intervento del tipo A, a dx intervento del tipo B)

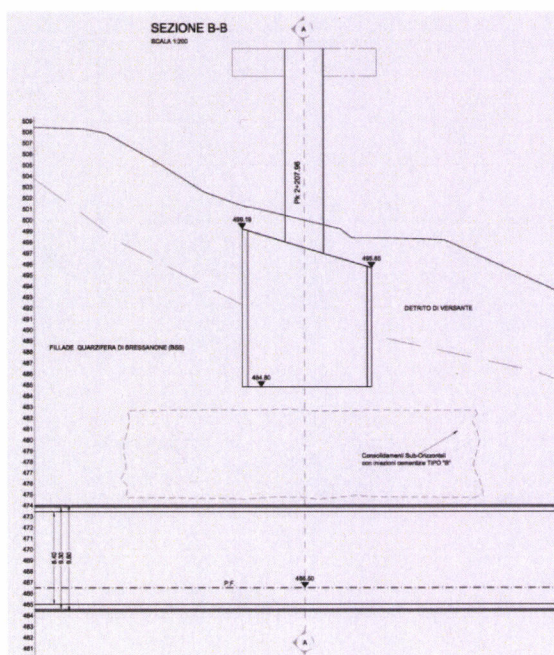


Figura 13 – Sezione longitudinale – Intervento tipo B sotto la fondazione della pila 13

#### 6.4.2 Interventi davanti alla pila 14

Per ridurre gli effetti di disturbo indotti dallo scavo della galleria è prevista la realizzazione di una paratia di pali di cinturazione posti tra la pila 14 e la galleria, eseguiti secondo la geometria rappresentata nelle figure 14 e 15.

La paratia misura uno sviluppo di 31 m circa ed è costituita da pali del diam. 800 mm con armatura in tubi in acciaio del diam. 350mm per aumentare l'inerzia. La profondità dei pali varia da 37 a 41 m circa. I pali sono collegati in testa da una trave di coronamento in cls armato, posta a quota p.c., delle dimensioni di 1,20x0,90 m.

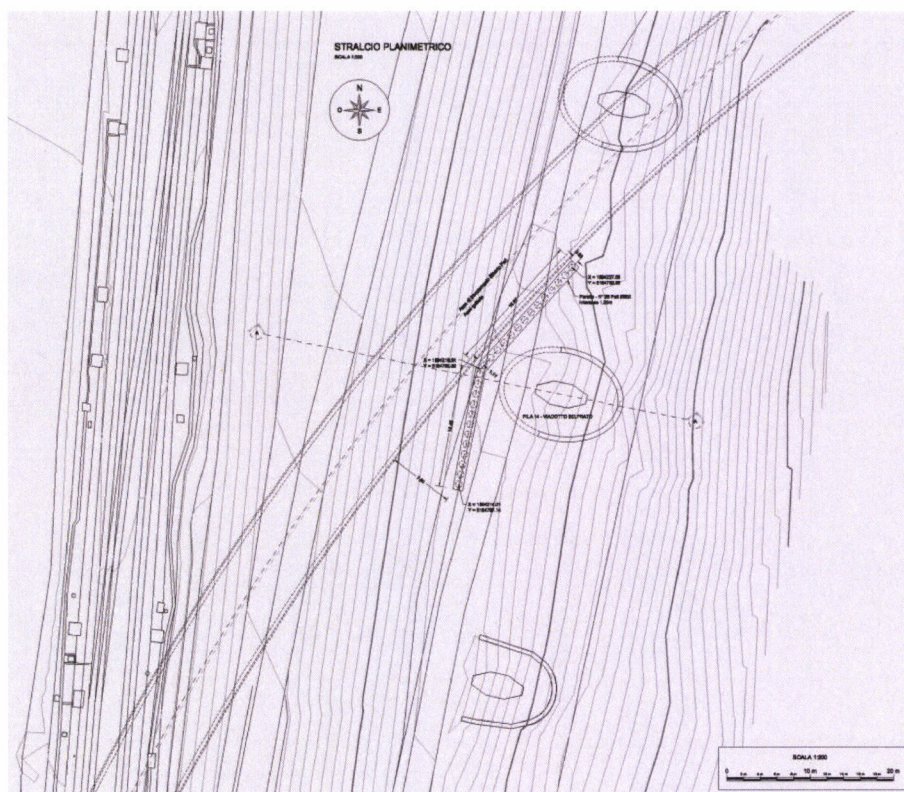


Figura 14 – Planimetria della zona interessata dall'intervento con pali di cinturazione davanti alla pila 14

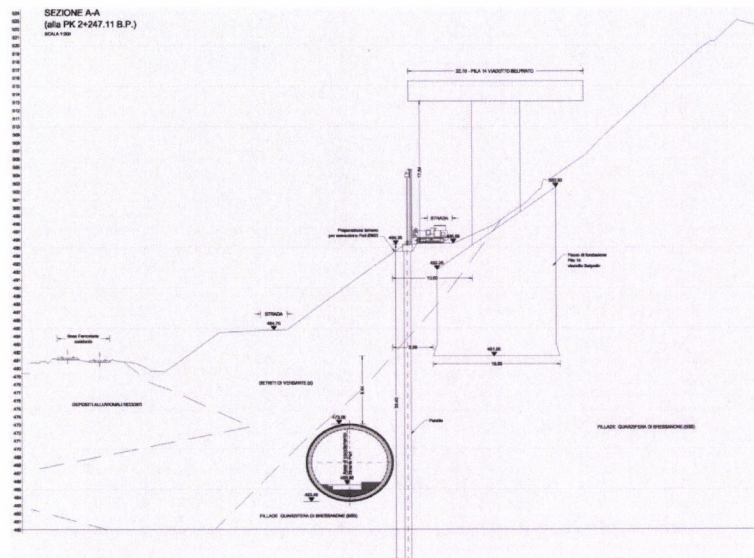


Figura 15 – Sezione trasversale – Intervento con pali di cinturazione tra la galleria e la fondazione della pila 14

#### 6.4.3 Interventi sotto il rilevato autostradale in prossimità dell'imbocco della galleria dispari

Per il sottoattraversamento del rilevato autostradale posto a valle del viadotto “Belprato”, a ridosso della spalla sud, è stato previsto, a salvaguardia dell’opera, il consolidamento dell’ammasso roccioso con iniezioni cementizie di una fascia di rilevato posta al di sopra della galleria e di una porzione di terreno a ridosso dell’imbocco che si estende al di sotto dell’arco rovescio. Tali iniezioni sono effettuate attraverso perforazioni sub-orizzontali e sub-verticali eseguite prima dell’arrivo della TBM-EPB secondo le geometrie riportate nelle figure 16, 17, 18.

Gli interventi previsti si svolgono all’esterno della struttura autostradale, e comprendono due tipologie di consolidamenti, quelli sub-orizzontali e quelli subverticali.

Il consolidamento previsto sopra la calotta della galleria, distinto geometricamente in tre settori rispettivamente A,B e C in funzione del posizionamento dell’attrezzatura di perforazione e di iniezione, verrà effettuato dalla strada che passa dietro la stazione ferroviaria. Tali consolidamenti sono costituiti da perforazioni a maglie quinconce alternate diam. 160 mm, lunghezza variabile da 38 a 48 m, con tratti iniettati variabili da 11 a 28 m. L’iniezione verrà eseguita con tubi valvolati con armatura tubolare diam. 114 (in 2 valvole/m) con azimut e inclinazione tali da rendere la maglia di resa 2mx2m in asse pila. Le iniezioni saranno realizzate con miscele composte da acqua e cemento. Tale tipologia di intervento consente di dare omogeneità al terreno e l’armatura tubolare consente di ricucire l’ammasso, riducendo ulteriormente eventuali deformazioni lavorando a flessione e trasferendo i carichi lateralmente.



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

GALLERIE DI INTERCONNESSIONE DI PONTE GARDENA  
INTERFERENZA CON A22

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBE1	00	T 05RH	GE 00 00 001	A	24 di 26

Il consolidamento sub-verticale verrà realizzato da piano campagna e interesserà la porzione di rilevato a tergo della paratia di imbocco della galleria e si estenderà sino oltre l'arco rovescio secondo la geometria rappresentata in figura. In tal modo il consolidamento comprenderà tutta la geometria del rilevato autostradale interessato dal sottoattraversamento creando anche un tampone di terreno consolidato a tergo dell'imbocco per garantire l'arrivo in sicurezza della TBM-EPB.

Per il consolidamento sub-verticale è prevista una tecnologia differente rispetto a quella adottata per il consolidamento sub-orizzontale, per la possibile presenza di trovanti nel terreno.

In tal caso infatti le iniezioni eseguite attraverso tubi valvolati con armatura tubolare, senza accorgimenti preventivi non renderebbero la resa corretta, poiché difficilmente realizzerebbero la cementazione dei blocchi attraverso i giunti riempiti di livelli sabbiosi e limosi se non localmente attorno al foro. Risulta quindi necessario rimuovere il materiale non iniettabile (limi o comunque materiale fino poco permeabile all'iniezione binaria). E' stata pertanto previsto di realizzare una efficace cementazione mediante iniezione preventiva d'acqua di pulizia. Le fasi sono le seguenti: perforazione con camicia diam. 160 mm a vuoto per i primi tre metri o fino a superamento del materiale di rilevato, quindi ogni tre m successivi in avanzamento verrà effettuato il lavaggio con acqua in pressione fino a pulizia degli eventuali giunti tra i blocchi ed eliminazione dei livelli sabbiosi e limosi. Raggiunta la profondità massima verranno eseguite le iniezioni cementizie dal basso in pressione con sollevamento camicia tre metri alla volta. Gli ultimi tre metri verranno riempiti senza pressione.

Durante le lavorazioni per l'intervento del consolidamento sub-verticale sarà necessario interrompere temporaneamente la strada di servizio che corre al piede del rilevato autostradale e deviare il percorso più a valle, raccordandola con la strada che passa dietro la stazione e ricollegandola più a nord al vecchio tracciato.

I parametri di iniezione (volume iniettato e pressione) dovranno essere confermati e tarati mediante un campo prove da realizzarsi prima dell'inizio dei lavori, suffragati da prove di permeabilità per accertarsi della iniettabilità dei terreni.

La sequenza delle lavorazioni prevede l'esecuzione prima dei consolidamenti sub-orizzontali e poi quelli sub-verticali.



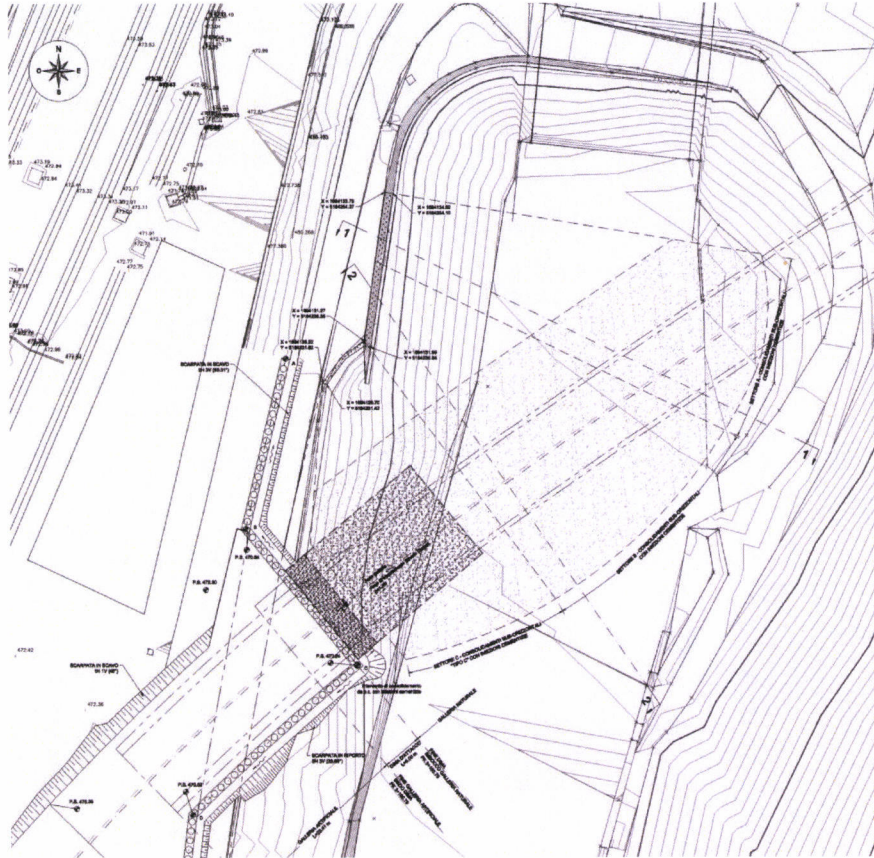


Figura 16 – Planimetria degli interventi di consolidamento sotto il rilevato autostradale

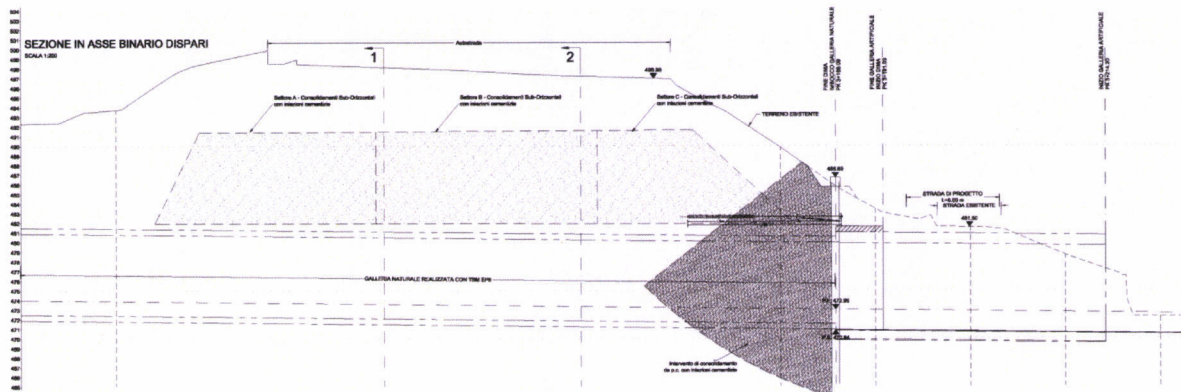


Figura 17 – Sezione longitudinale interventi sotto il rilevato autostradale e nella zona dell'imbocco della galleria

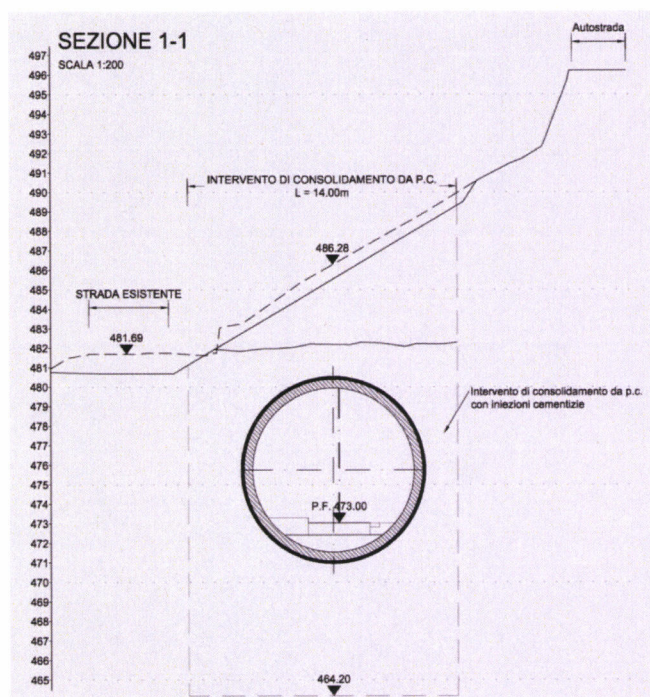


Figura 18 – Intervento in prossimità dell’imbocco della galleria (consolidamenti sub-verticali).

## 6.5 Monitoraggio

In fase realizzativa sarà messo in opera un sistema di monitoraggio topografico, geotecnico e strutturale riferito alle gallerie e alle opere interferite; sarà inoltre previsto anche il controllo dei parametri della macchina scudata correlato con i parametri di monitoraggio dei dati esterni. Tale sistema verrà implementato con le tecniche più all’avanguardia, per l’acquisizione automatica dei dati e restituzione su piattaforma informatica tipo GIS. L’analisi dei dati di monitoraggio in maniera integrata ed in tempo reale consentirà di adeguare le attività di scavo e consolidamento alla risposta del terreno, sulla base di valori soglia dei parametri di spostamento al contorno ed in superficie, prevenendo eventuali criticità.