

Variante alla S.S. 45 "Val di Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal Km 31+500 (Costafontana) al Km 35+600 (Montebruno)
2° stralcio funzionale

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

I PROGETTISTI:

Ing. Vincenzo Marzi
Ordine Ing. di Bari n. 3594

Ing. Giuseppe Danilo Malgeri
Ordine Ing. di Roma n. A34610

Geol. Serena Majetta
Ordine Geologi del Lazio n. 928

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. Fabio Quondam

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO :

Ing. Giancarlo Luongo

PROTOCOLLO

DATA

GEOLOGIA E GESTIONE MATERIE

Relazione geologica

CODICE PROGETTO			NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00GE00GEORE01_A.dwg			
DPGE03	D	1701	CODICE ELAB.	T00GE00GEORE01	A	-
D						
C						
B						
A	Emissione		OTTOBRE 2018	Geol. S. Rottaris	Geol. S. Serangeli	Geol. S. Majetta
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1	<i>PREMESSE</i>	4
2	<i>RIFERIMENTI NORMATIVI</i>	8
3	<i>CARATTERISTICHE PROGETTUALI</i>	9
4	<i>INQUADRAMENTO GENERALE</i>	13
4.1	<i>Inquadramento geografico</i>	13
4.2	<i>Inquadramento geologico</i>	14
4.3	<i>Inquadramento strutturale</i>	21
4.4	<i>Inquadramento geomorfologico</i>	25
4.5	<i>Inquadramento idrogeologico</i>	27
5	<i>SCHEMA GEOLOGICO-STRUTTURALE</i>	28
5.1	<i>Successione stratigrafica locale e caratteri delle unità geologiche</i>	28
5.1.1	Formazione di Ronco (ROC)	28
5.1.2	Depositi alluvionali (s.l.)	31
5.1.3	Coltri eluvio-colluviali (e-c)	36
5.1.4	Depositi antropici (h)	38
5.2	<i>Assetto tettonico-strutturale</i>	41
5.2.1	Deformazione plicativa	41
5.2.2	Deformazione disgiuntiva	51
6	<i>SCHEMA GEOMORFOLOGICO</i>	54
6.1	<i>Processi fluviali</i>	54
6.2	<i>Processi gravitativi</i>	59
6.2.1	Frane di crollo	60

6.2.2	Frane di scivolamento planare _____	61
6.2.3	Frane di scivolamento/colamento superficiale _____	63
6.2.4	Aree soggette ad erosione diffusa _____	65
6.2.5	Aree soggette allo sviluppo di fenomeni di dissesto superficiale (soliflusso, creep) 67	
6.2.6	Frane puntuali. _____	68
6.3	Attività antropica _____	69
7	SCHEMA IDROGEOLOGICO _____	71
8	SISMICITA' _____	74
8.1	Inquadramento sismotettonico _____	74
8.1.1	Inventario delle sorgenti sismogenetiche (DISS) _____	74
8.1.2	Database delle faglie capaci (ITHACA) _____	79
8.2	Sismicità storica e recente _____	81
8.3	Pericolosità sismica _____	86
8.3.1	Analisi di disaggregazione _____	90
8.3.2	Pericolosità sismica di base e classificazione sismica del territorio _____	95
9	INDAGINI GEOGNOSTICHE _____	97
9.1	Indagini dirette - Sondaggi _____	99
9.2	Indagini indirette - Sismica _____	103
10	MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DEL TRACCIATO _____	107
10.1	Tratta estesa dal km 32+445 al km 32+618,94 _____	108
10.2	Tratta estesa dal km 33+090,5 al km 34+819,41 _____	109
10.3	Viadotti _____	112
10.3.1	Viadotto n°1 – Tratto 1 _____	112
10.3.2	Viadotto n°1 – Tratto 2 _____	114

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

10.3.3 Viadotto n°2 – Tratto 2	116
10.3.4 Viadotto n°3 – Tratto 2	117
10.3.5 Viadotto n°4 – Tratto 2	119
10.4 Galleria artificiale	120
10.5 Opere minori	122
10.6 Valutazione dello spessore di bonifica e del riutilizzo dei materiali scavati	125
11 BIBLIOGRAFIA	128

1 PREMESSE

La presente relazione geologica è stata redatta nell'ambito delle attività di progettazione definitiva condotte dalla Direzione Progettazione e Realizzazione Lavori di ANAS S.p.A., per la realizzazione della variante alla S.S. 45 "Val di Trebbia" estesa dal km 31+500 (in loc. Costafontana) al km 35+600 (in loc. Montebruno), situati presso i comuni di Torriglia e Montebruno (vedi **Figura 1**).

In particolare l'elaborato in esame descrive l'assetto geologico-strutturale, geomorfologico ed idrogeologico del 2° stralcio funzionale composto di due tratte, la prima estesa tra i km 32+445 ÷ 32+618,94 e la seconda tra i km 33+090,5 ÷ 34+819,41. Esso richiama inoltre i risultati dei rilievi geomeccanici eseguiti nell'area studiata e riassunti nella Relazione sui rilievi geomeccanici (cod. el. T00GE00GEORE02A).

La realizzazione del presente elaborato conclude quindi un processo di studio articolato secondo le seguenti fasi di lavoro:

- acquisizione ed analisi degli studi geologici esistenti riguardanti l'area di interesse;
- analisi dello studio geologico a corredo del Progetto Preliminare;
- analisi delle indagini geognostiche sviluppate durante la realizzazione del Progetto Definitivo;
- esecuzione di un rilievo diretto sul terreno mirato alla definizione delle caratteristiche geologico-strutturali, geomorfologiche, idrogeologiche e geomeccaniche dell'area in esame;
- analisi dei dati acquisiti, redazione del presente report e degli elaborati cartografici a corredo.

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

Le indagini geognostiche dirette ed indirette eseguite sono state raccolte in specifici elaborati allegati al presente Progetto (vedi **Tabella 1**), comprendenti la planimetria di ubicazione (cod. el. T00GE00GEOPU01A/02A) e le relazioni illustrative di tutte le indagini eseguite, nonché i certificati delle prove di laboratorio dei campioni prelevati e delle prove in situ eseguite.

La presente relazione e gli elaborati cartografici ad essa allegati, definiscono quindi la caratterizzazione e modellazione geologica del sito attraverso la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e più in generale di pericolosità geologica del territorio.

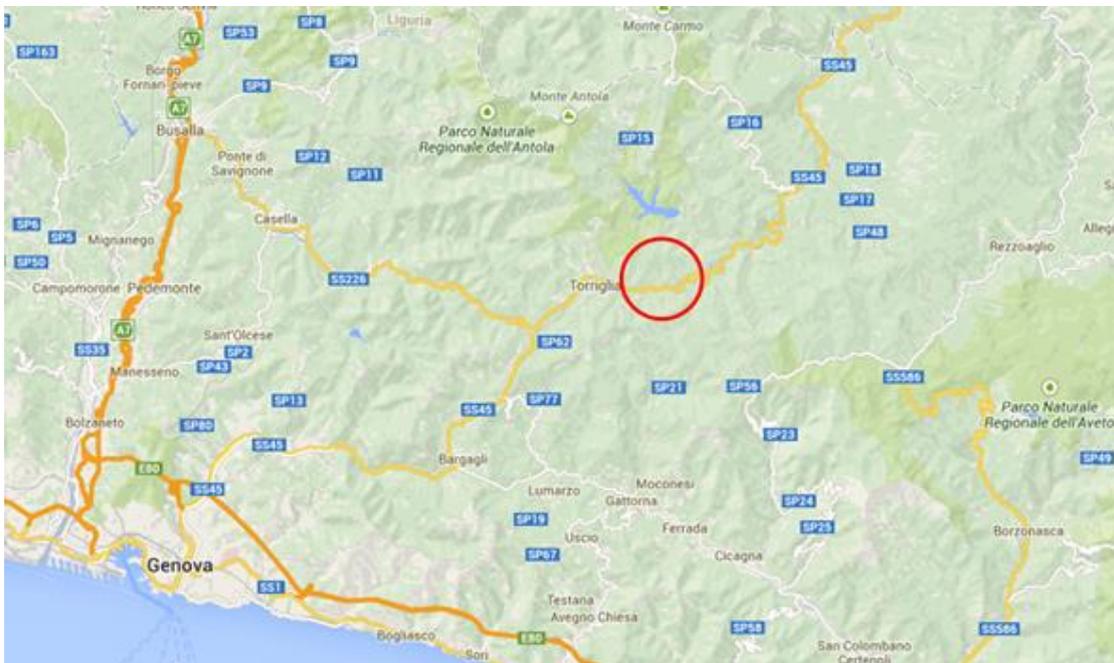


Figura 1. Ubicazione del sito oggetto dell'intervento. L'area in esame è indicata dal cerchio di colore rosso. Immagine non in scala.

S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Comuni di Torriglia e Montebruno
 dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
 2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

Oltre al presente testo, sono stati quindi prodotti gli elaborati riportati nella tabella seguente.

Tabella 1. Stralcio dell'elenco elaborati del Progetto Definitivo relativo ai soli studi geologici.

CODICE ELABORATO											TITOLO ELABORATO	SCALA
T	0	0	GE	0	0	GEO	RE	0	1	A	Relazione geologica	-
T	0	0	GE	0	0	GEO	RE	0	2	A	Relazione sui rilievi geomeccanici	-
T	0	0	GE	0	0	GEO	RE	0	3	A	Relazione piano gestione materie	-
T	0	0	GE	0	0	GEO	RE	0	4	A	Documentazione indagini geognostiche	-
T	0	0	GE	0	0	GEO	RE	0	5	A	Documentazione prove di laboratorio	-
T	0	0	GE	0	0	GEO	RE	0	6	A	Documentazione indagini geofisiche	-
T	0	0	GE	0	0	GEO	PU	0	1	A	Planimetria ubicazione indagini - tav 1 di 2	1:2.000
T	0	0	GE	0	0	GEO	PU	0	2	A	Planimetria ubicazione indagini - tav 2 di 2	1:2.000
T	0	0	GE	0	0	GEO	CG	0	1	A	Carta geologica - tav 1 di 5	1:1.000
T	0	0	GE	0	0	GEO	CG	0	2	A	Carta geologica - tav 2 di 5	1:1.000
T	0	0	GE	0	0	GEO	CG	0	3	A	Carta geologica - tav 3 di 5	1:1.000
T	0	0	GE	0	0	GEO	CG	0	4	A	Carta geologica - tav 4 di 5	1:1.000
T	0	0	GE	0	0	GEO	CG	0	5	A	Carta geologica - tav 5 di 5	1:1.000
T	0	0	GE	0	0	GEO	CG	0	6	A	Carta geomorfologica - tav 1 di 5	1:1.000
T	0	0	GE	0	0	GEO	CG	0	7	A	Carta geomorfologica - tav 2 di 5	1:1.000
T	0	0	GE	0	0	GEO	CG	0	8	A	Carta geomorfologica - tav 3 di 5	1:1.000
T	0	0	GE	0	0	GEO	CG	0	9	A	Carta geomorfologica - tav 4 di 5	1:1.000
T	0	0	GE	0	0	GEO	CG	1	0	A	Carta geomorfologica - tav 5 di 5	1:1.000
T	0	0	GE	0	0	GEO	CI	0	1	A	Carta idrogeologica - tav 1 di 5	1:1.000
T	0	0	GE	0	0	GEO	CI	0	2	A	Carta idrogeologica - tav 2 di 5	1:1.000
T	0	0	GE	0	0	GEO	CI	0	3	A	Carta idrogeologica - tav 3 di 5	1:1.000
T	0	0	GE	0	0	GEO	CI	0	4	A	Carta idrogeologica - tav 4 di 5	1:1.000
T	0	0	GE	0	0	GEO	CI	0	5	A	Carta idrogeologica - tav 5 di 5	1:1.000
T	0	0	GE	0	0	GEO	CD	0	1	A	Carta ubicazione cave e discariche	1:100.000
T	0	0	GE	0	0	GEO	FG	0	1	A	Profilo geologico - tav 1 di 3	1:1.000
T	0	0	GE	0	0	GEO	FG	0	2	A	Profilo geologico - tav 2 di 3	1:1.000

S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Comuni di Torriglia e Montebruno
 dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
 2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

CODICE ELABORATO											TITOLO ELABORATO	SCALA
T	0	0	GE	0	0	GEO	FG	0	3	A	Profilo geologico - tav 3 di 3	1:1.000
T	0	0	GE	0	0	GEO	SG	0	1	A	Sezioni geologiche trasversali - Tratta km 32+445 ÷ 32+618,94 - tav 1 di 1	1:500
T	0	0	GE	0	0	GEO	SG	0	2	A	Sezioni geologiche trasversali - Tratta km 33+090,5 ÷ 34+819,41 - tav 1 di 3	1:500
T	0	0	GE	0	0	GEO	SG	0	3	A	Sezioni geologiche trasversali - Tratta km 33+090,5 ÷ 34+819,41 - tav 2 di 3	1:500
T	0	0	GE	0	0	GEO	SG	0	4	A	Sezioni geologiche trasversali - Tratta km 33+090,5 ÷ 34+819,41 - tav 3 di 3	1:500

Il presente studio definisce quindi il modello geologico di riferimento per il sito oggetto degli interventi, che costituisce il necessario modello concettuale di base per la successiva definizione del modello geotecnico/geomeccanico e per la corretta definizione degli interventi in progetto.

Gli elementi necessari a tale scopo sono stati ricavati a seguito dell'esame della documentazione bibliografica disponibile per l'area in oggetto, dell'analisi diretta delle condizioni geologiche, geomorfologiche delle aree all'interno delle quali ricade l'intervento in progetto, del rilevamento geologico-tecnico e geomeccanico dell'area e dall'interpretazione dei dati geognostici appositamente acquisiti.

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

- D. Lgs. n.50 del 18 aprile 2016: "Codice dei contratti pubblici";
- D.P.R. 5 ottobre 2010, n. 207 "Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE»";
- D.M. 17/01/2018 - "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare Ministero dei LL.PP. 02/02/09 n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme tecniche per le costruzioni";
- D.M. 14/01/2008 - "Nuove Norme tecniche per le costruzioni";
- D.M. 11/03/88 - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- Circolare ministeriale LL.PP. 24/09/88 n. 30483 - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- Eurocodice 7.1 (1997): Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali. UNI;
- Eurocodice 7.2 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI;
- Eurocodice 7.3 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI;
- Eurocodice 8 (1998).

3 CARATTERISTICHE PROGETTUALI

La Strada Statale n° 45 "Val di Trebbia" rappresenta uno dei principali assi viari di collegamento tra la regione Liguria e la regione Emilia Romagna. Le funzioni peculiari della predetta rotabile sono rappresentate dalle connessioni di importanti centri abitati con il capoluogo provinciale e dall'individuazione di una viabilità interregionale che risulta, tra l'altro, integrata con il sistema autostradale attraverso il collegamento con le Statali n° 225 e n° 226.

Vista l'importanza dell'opera viaria in esame sono stati previsti da ANAS S.p.A. lavori di adeguamento ed ammodernamento alla sezione stradale tipo C2 delle tratte dell'infrastruttura maggiormente difformi rispetto a tale standard.

Come anticipato nel Capitolo 1 il presente elaborato è quindi propedeutico alla fase di progettazione definitiva dei lavori di sistemazione ed ammodernamento previsti per il tratto della S.S. 45 compreso tra il km 31+500 (in loc. Costafontana) ed il km 35+600 (in loc. Montebruno).

Il Progetto Preliminare di tali lavori, approvato dall'Amministratore Unico di Anas S.p.A. il 2 agosto 2013, aveva una lunghezza complessiva di circa 2900,11 metri, con un primo lotto di circa 1169 metri sviluppato tra il km 31+500 ed il km 32+629 dell'attuale S.S.45, ed un secondo lotto di circa 1730 metri, esteso tra il km 33+081 ed il km 35+600 dell'attuale S.S.45, comprendente tra di essi anche tratti già adeguati per una lunghezza pari a 655 m.

Successivamente entro il primo lotto è stata preferenzialmente sviluppata la progettazione definitiva ed esecutiva della tratta compresa tra il km 31+500 ed il km 32+445,

denominata 1° Stralcio funzionale e per la quale sono attualmente in fase di esecuzione i lavori di adeguamento.

La fase di progettazione definitiva delle restanti parti è stata quindi inglobata nel 2° stralcio funzionale interessando quindi:

- la tratta estesa tra il km 32+445 ed il km 32+618,94 (vedi **Figura 2**), caratterizzata da una lunghezza di circa 174m;
- la tratta estesa tra il km 33+090,5 ed il km 34+819,41 (vedi **Figura 3**), caratterizzata da una lunghezza di circa 1730m.

Entrambi gli stralci si collocano in un settore collinare/montuoso e prevedono quindi due tipologie principali di interventi:

- allargamento della sede stradale attualmente presente mediante l'esecuzione di scavi di sbancamento verso monte e/o la realizzazione di opere di sostegno verso valle;
- rettificazione del tracciato plano-altimetrico al fine di aumentare la velocità di progetto, mediante la realizzazione di viadotti e gallerie artificiali.

Per quanto concerne la realizzazione di nuove opere, nella prima tratta è prevista la realizzazione di un viadotto di lunghezza pari a 70m, mentre per la seconda parte è prevista la realizzazione di n°4 viadotti di lunghezza rispettivamente pari a 90m, 120,5m, 112m e 95m oltre ad una galleria artificiale di lunghezza pari a 25m.

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41
Progetto Definitivo

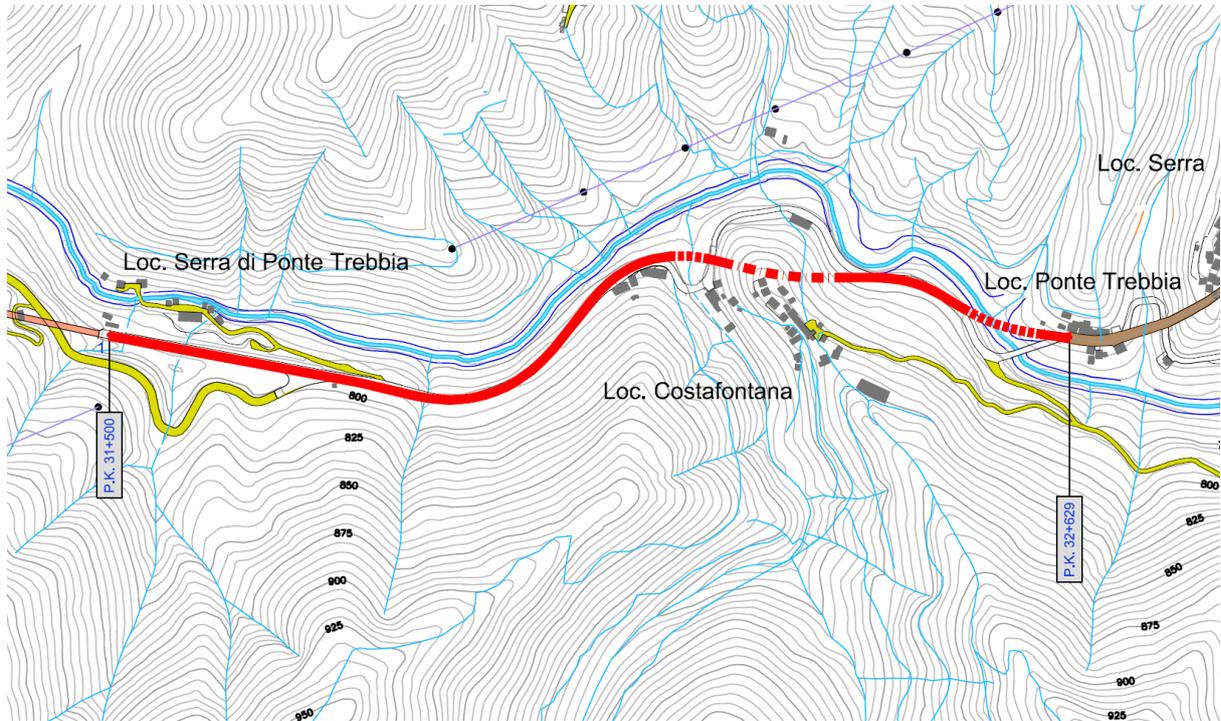


Figura 2. Planimetria del 1° Stralcio funzionale originariamente esteso tra il km 31+500 ed il km 32+629. La parte compresa tra le km 32+445 ÷ 32+618,94 è stata compresa nel 2° Stralcio funzionale oggetto della presente fase progettuale. Immagine non in scala.

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41
Progetto Definitivo

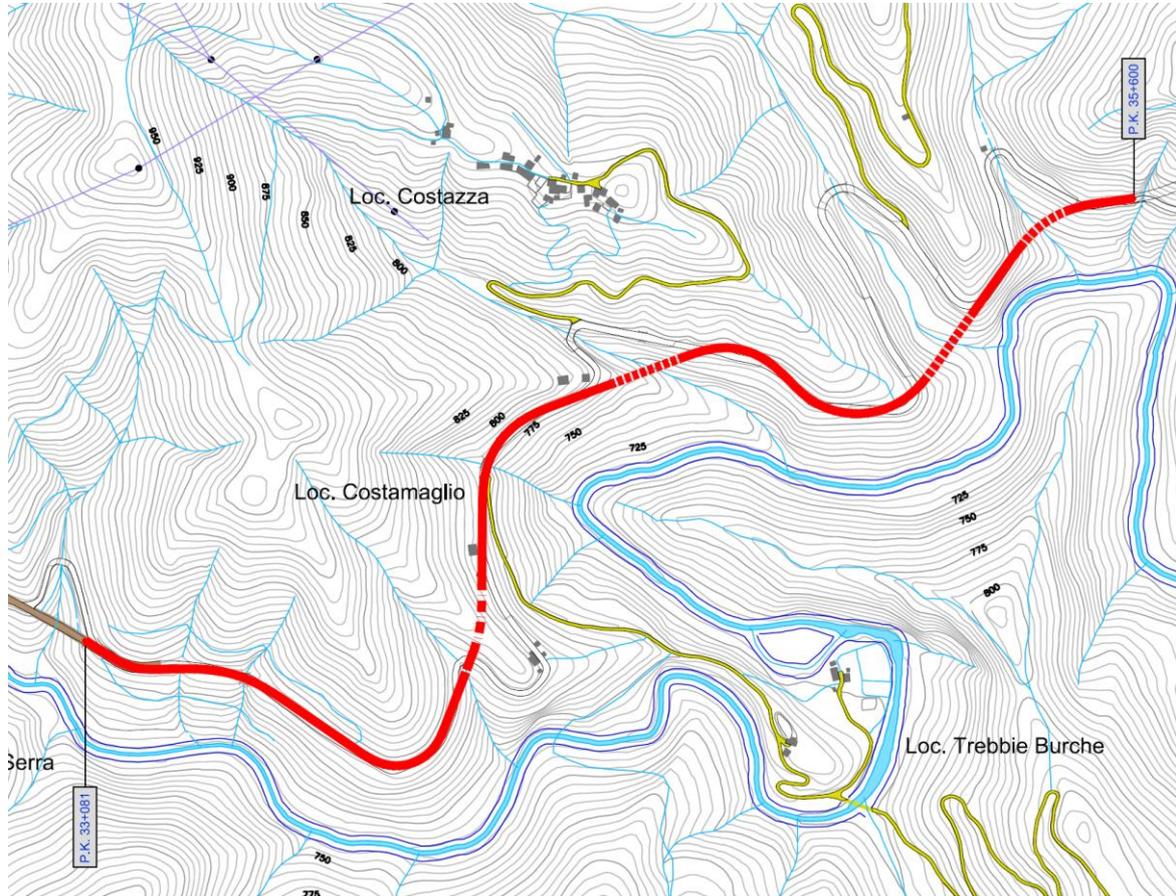


Figura 3. Planimetria del 2° stralcio funzionale esteso tra il km 33+090,5 ed il km 34+819,41 dell'attuale tracciato. Immagine non in scala.

4 INQUADRAMENTO GENERALE

Il presente Capitolo descrive le principali caratteristiche geologico-strutturali, geomorfologiche ed idrogeologiche reperibili in letteratura per l'area in esame.

4.1 *Inquadramento geografico*

L'area in esame si colloca in Liguria, più precisamente nella Città metropolitana di Genova ed interessa prevalentemente il territorio comunale di Torriglia e marginalmente quello di Montebruno. In dettaglio essa si sviluppa quindi in un settore collocato ad Est dell'abitato di Torriglia, interessando il tratto di S.S. 45 esistente lungo un settore distribuito a partire dalla località Costafontana per circa 2km in direzione del Comune di Montebruno.



Figura 4. Planimetria del 2° stralcio funzionale esteso tra i km 32+445 ÷ 32+618,94 e i km 33+090,5 ÷ 34+819,41 dell'attuale tracciato. Le aree in esame sono indicate in rosso. Immagine non in scala.

4.2 ***Inquadramento geologico***

L'inquadramento geologico riportato nel presente paragrafo è stato tratto dalle Note Illustrative del Foglio n°214 "Bargagli" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50000 realizzato nell'ambito del Progetto CARG.

L'area in esame ricade completamente entro la catena orogenica Appenninica, più precisamente essa è inclusa entro gli Appennini Settentrionali, collocati in adiacenza alle Alpi Marittime e separati da esse dalla linea tettonica Sestri-Voltaggio.

L'Appennino Settentrionale è costituito da un complesso impilamento di unità tettoniche le cui caratteristiche litostratigrafiche e strutturali riflettono una complessa evoluzione geodinamica iniziata a partire dalle fasi di rifting e di spreading triassico-giurassica durante la quale si è formato il Dominio oceanico Ligure-Piemontese situato tra i margini continentali delle placche europea ed apula. Le successive fasi convergenti, attive fin dal Cretacico Superiore, hanno determinato la chiusura del Dominio Ligure-Piemontese, tramite la subduzione di litosfera oceanica ed, a partire dall'Eocene medio, la collisione continentale.

A partire dall'Oligo-Miocene la deformazione è stata esclusivamente intracontinentale ed ha interessato il margine della placca Adria con una progressiva migrazione del fronte compressivo verso Est.

L'Appennino settentrionale è quindi caratterizzato dalla sovrapposizione tettonica dell'insieme alloctono delle Unità Liguri, di origine oceanica, sull'insieme Umbro-Toscano, che rappresenta la copertura deformata e scollata dell'avampaese continentale apulo. Queste

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41
Progetto Definitivo

ultime affiorano prevalentemente nella parte meridionale dell'Appennino Settentrionale (Toscana ed Umbria) mentre le Unità Liguri sono ben rappresentate soprattutto nell'Appennino Ligure-emiliano, costituendo una coltre continua dal Mar Ligure fino alla Pianura Padana (vedi **Figura 5**).

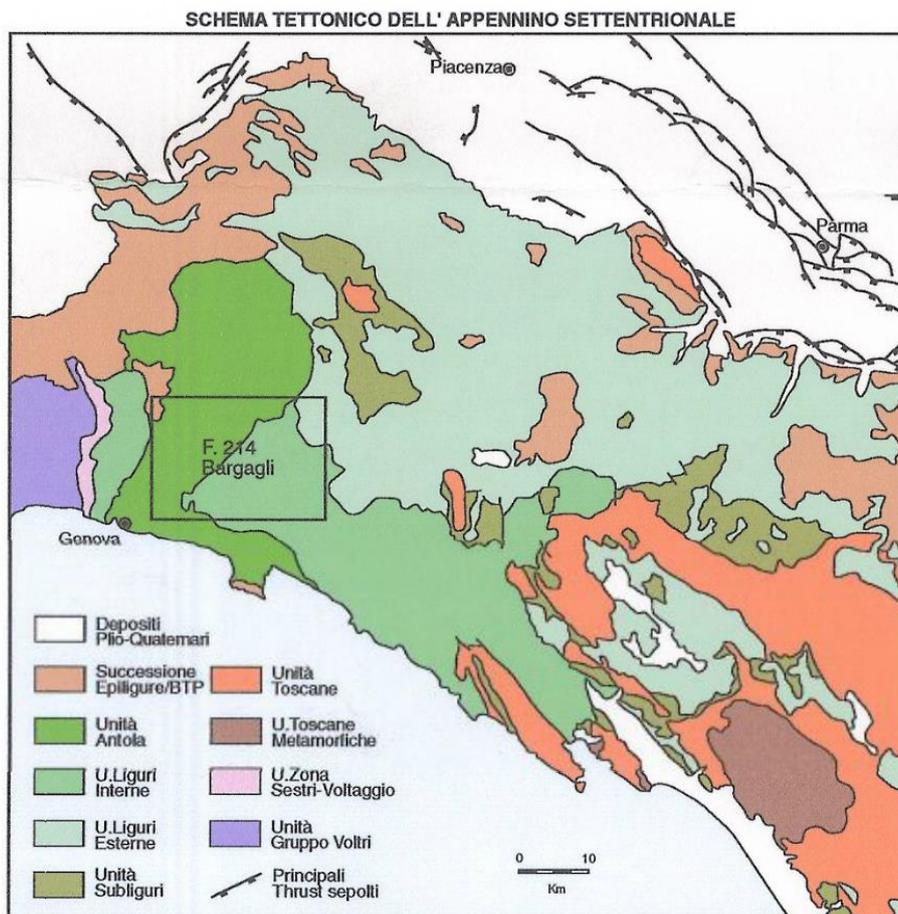


Figura 5. Schema tettonico dell'Appennino Settentrionale con indicata l'area mappata dal Foglio n°214 "Bargagli". Immagine non in scala.

L'area in esame è quindi completamente inclusa entro le Unità Liguri, costituenti i livelli strutturali più elevati della catena appenninica ed ulteriormente suddivise in unità Interne ed Esterne; a tale macro-distinzione si affianca inoltre l'unità dell'Antola di incerta attribuzione ma sicuramente appartenente ad esse (vedi **Figura 6**).

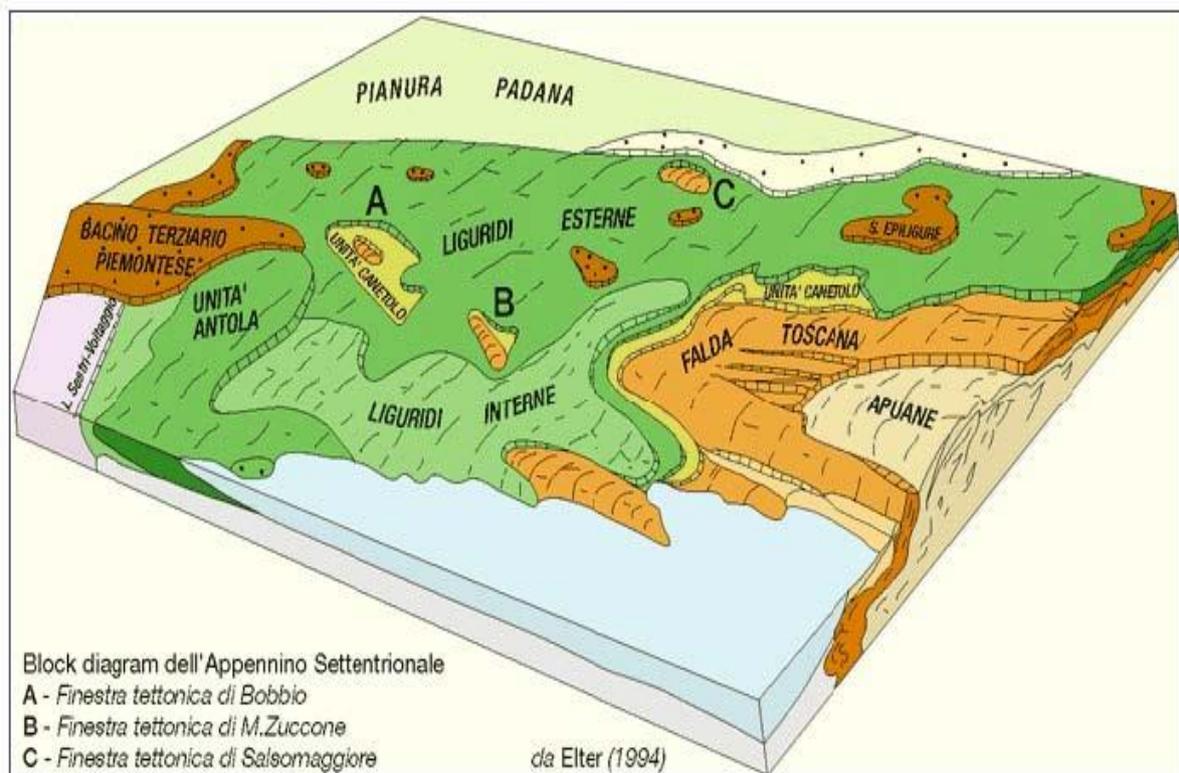


Figura 6. Block-diagram dell'Appennino Settentrionale tratto da Elter (1994) con modifiche. Immagine non in scala.

Considerando quindi la sola porzione di Unità Liguri (Interne ed Esterne) rappresentate e descritte nel Foglio "Bargagli", entro il quale l'area in studio è totalmente ricompresa, è

possibile introdurre e descrivere ulteriori unità tettoniche afferenti ad esse e suddivise come segue:

- Unità Liguri Interne – Rappresentate dalle unità Gottero, Due Ponti, Vermallo e Portello;
- Unità Liguri Esterne – Rappresentate dall'unità Ottone

Rispetto alle unità precedentemente elencate l'area in esame ricade esclusivamente entro l'Unità tettonica del Portello, più precisamente essa è totalmente ricompresa entro la sola Formazione di Ronco, come visibile nelle figure seguenti (**Figura 7, Figura 8, Figura 9 e Figura 10**).

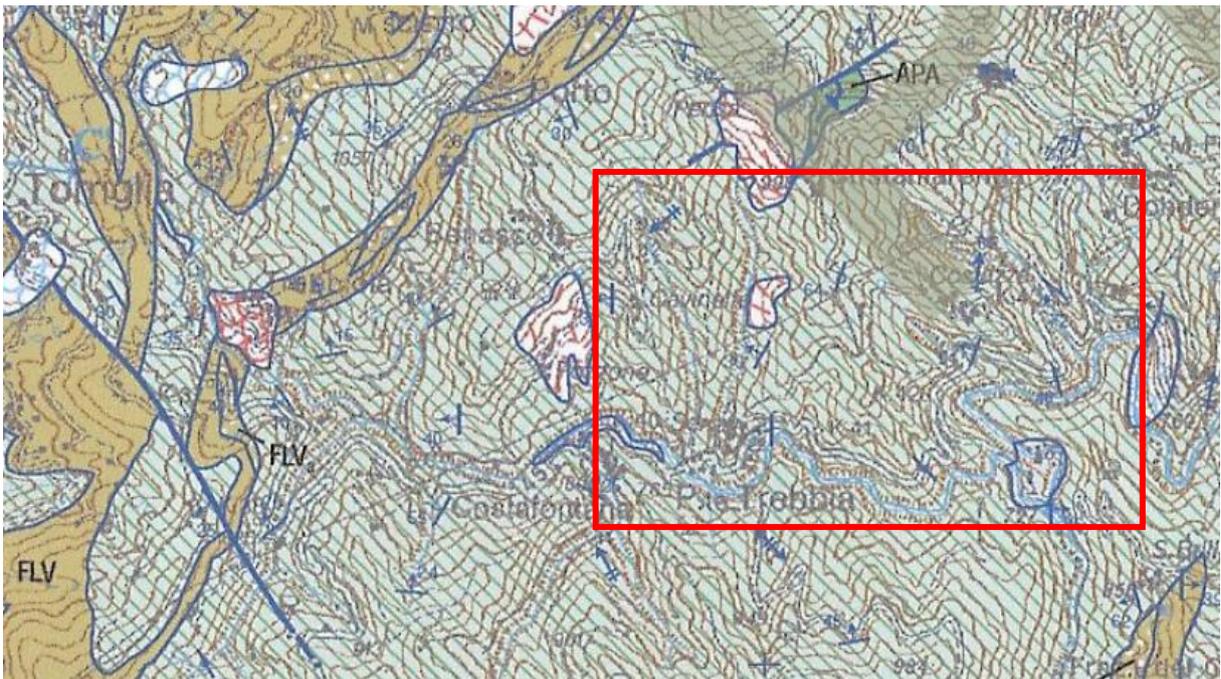


Figura 7. Stralcio della Carta Geologica in scala 1:50000 prodotta dal Progetto CARG, Foglio n°214 "Bargagli". L'area in esame è indicata con il riquadro di colore rosso. Immagine non in scala.

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41
Progetto Definitivo

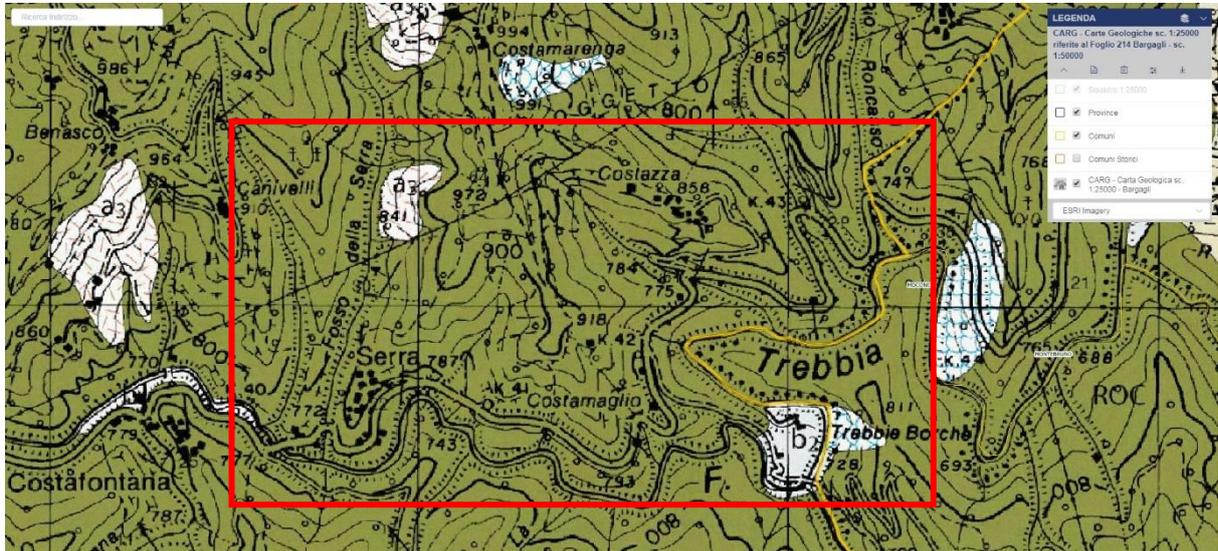


Figura 8. Stralcio della Carta Geologica in scala 1:50000 prodotta dal Progetto CARG, Foglio n°214 "Bargagli" tratta dal Geoportale della Regione Liguria. L'area in esame è indicata con il riquadro di colore rosso. Immagine non in scala.

La Formazione di Ronco, inserita insieme alla sovrastante Formazione di Monte Lavagnola ed alle sottostanti Argille a Palombini entro l'Unità Tettonica Portello, è costituita da torbiditi calcareo-pelitiche di potenza massima stimata in circa 500m.

Secondo quanto riportato nelle Note Illustrative del Foglio n°214 "Bargagli" la formazione di Ronco (abbreviata in ROC) è costituita da strati torbiditici sottili e medi, caratterizzati da alternanze di areniti fini, siltiti marnose ed argilliti generalmente in facies D secondo il lavoro di Mutti & Ricci Lucchi (1975). Il rapporto arenaria/pelite dei depositi della Formazione di Ronco è mediamente uguale a 1.

La continuità laterale della Formazione di Ronco appare abbastanza buona se analizzata alla macroscala, sebbene alla mesoscala sia estremamente difficile seguire gli strati per distanze superiori ad alcune decine di metri.

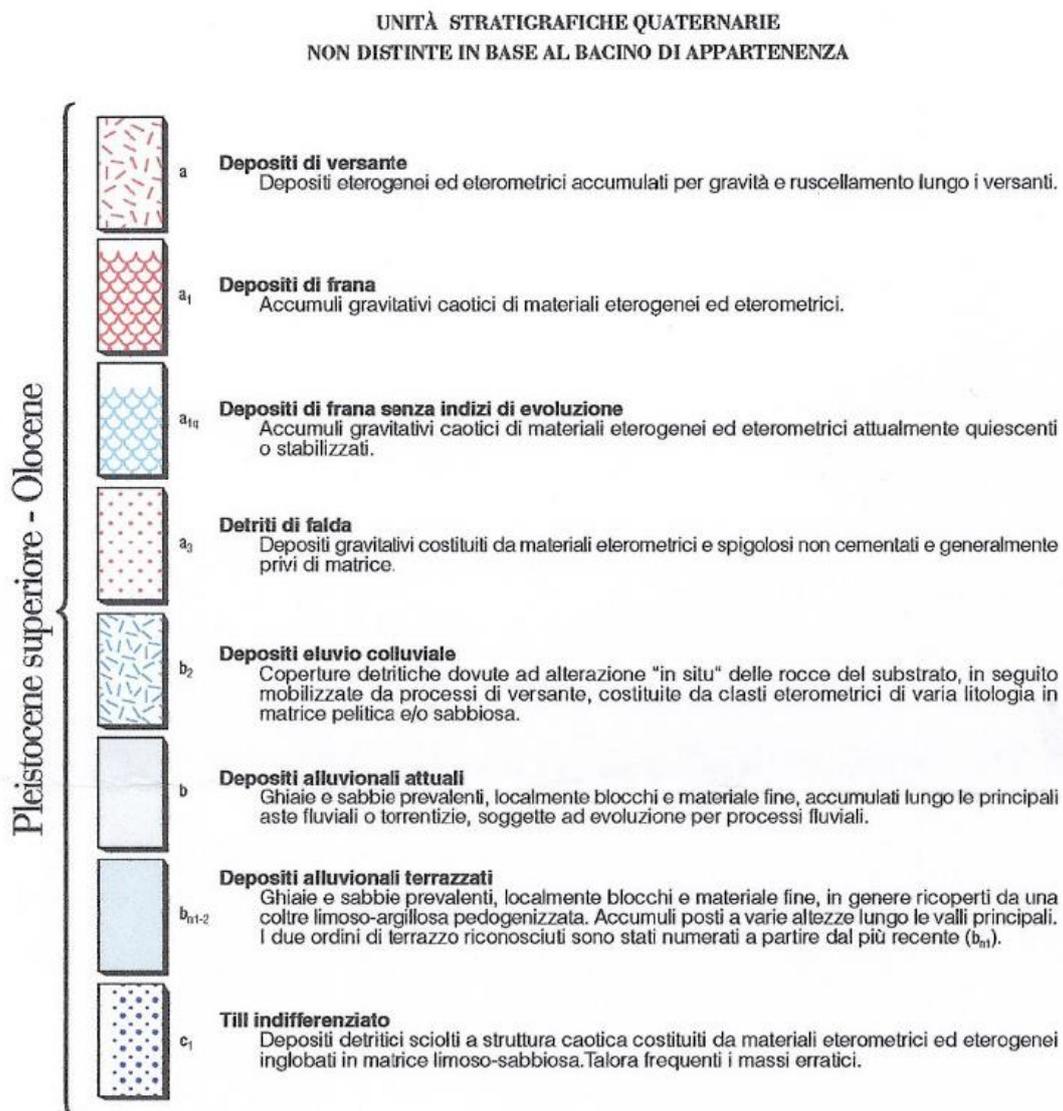


Figura 9. Legenda dello stralcio di Figura 7. Parte A, depositi quaternari.

UNITÀ TETTONICA PORTELLO

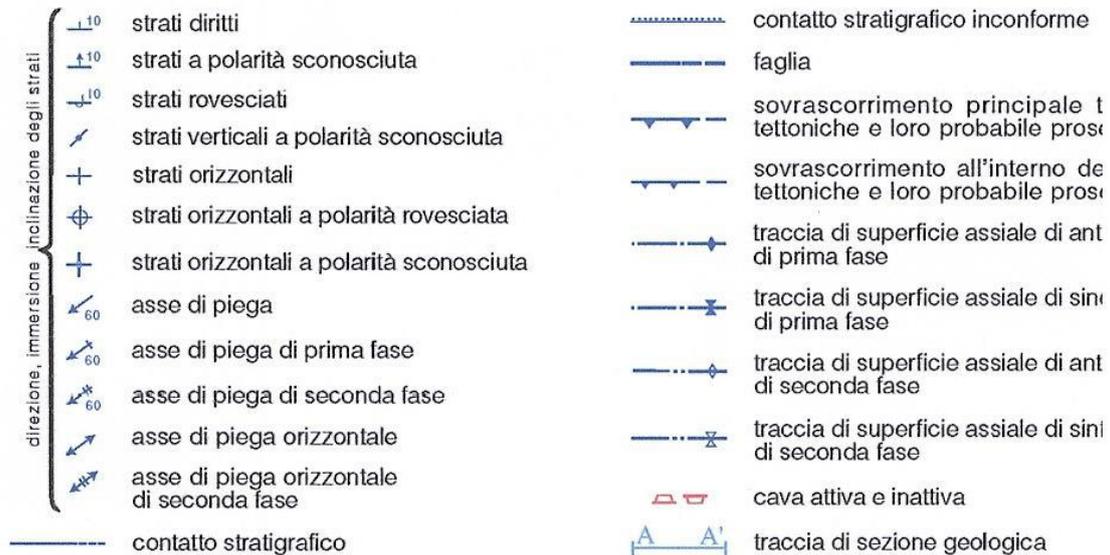
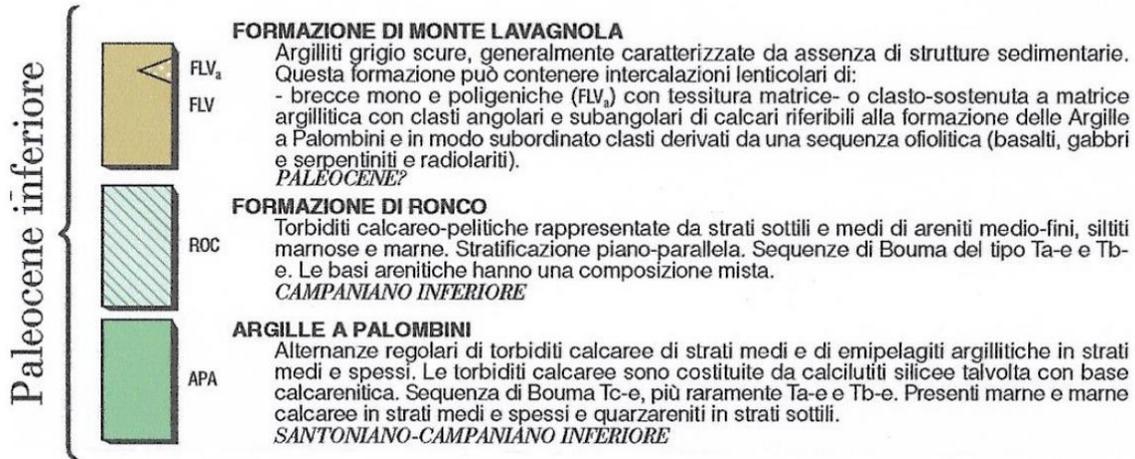


Figura 10. Legenda dello stralcio di Figura 7. Parte B, Unità tettoniche liguri ed elementi strutturali

In seguito ad un'analisi petrografica dei livelli arenitici è stata identificata un'importante presenza di frammenti di rocce carbonatiche micritiche, tale da permettere una classificazione come areniti a composizione mista.

In generale gli studi del Foglio "Bargagli" hanno permesso di attribuire alla Formazione di Ronco un ambiente deposizionale di piana bacinale e/o frangia di conoide in ragione dell'assenza di torbiditi grossolane e la presenza di grandi volumi deposizionali coinvolti. Sulla base delle analisi micropaleontologiche condotte è stato possibile attribuire alla Formazione di Ronco un'età non più vecchia del Campaniano Inferiore.

4.3 ***Inquadramento strutturale***

Per quanto concerne l'assetto geologico strutturale dell'area in esame, il principale riferimento bibliografico è rappresentato dalle Note Illustrative del Foglio n°214 "Bargagli" e dalla relativa Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, realizzato nell'ambito del Progetto CARG.

Come si può osservare dalle **Figura 7** e **Figura 8**, presso l'area in esame non è stata rilevata la presenza di alcuna struttura di faglia significativa, né di superfici di sovrascorrimento. Tale aspetto risulta ulteriormente enfatizzato dall'analisi dello schema tettonico riportato in **Figura 11**. Per quanto concerne la giacitura media delle superfici di stratificazione osservate entro l'area in esame, si segnala generalmente la presenza di superfici immergenti verso Ovest (immersione circa 260-280°) a medio/basso angolo di inclinazione (generalmente inferiore a 35°-40°).

S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Comuni di Torriglia e Montebruno
 dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
 2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41
 Progetto Definitivo

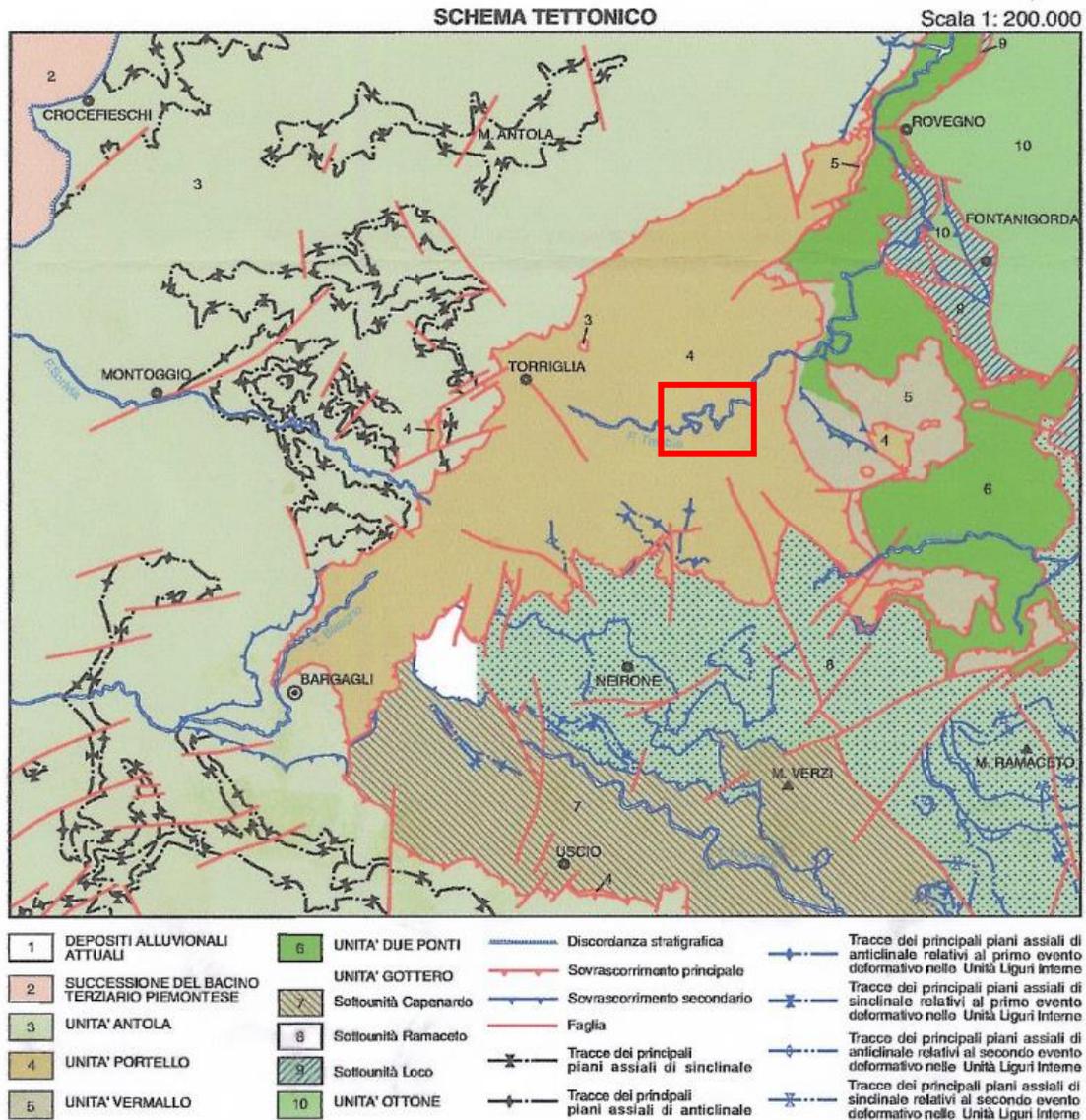


Figura 11. Schema tettonico tratto dalla Carta Geologica in scala 1:50000 prodotta dal Progetto CARG, Foglio n°214 "Bargagli". L'area in esame è indicata con il riquadro di colore rosso. Immagine non in scala.

Analizzando in maggiore dettaglio la deformazione rilevata entro l'Unità tettonica Portello si rileva la presenza di almeno tre fasi deformative principali (vedi **Figura 12**).

La fase deformativa più antica (D1) è caratterizzata dalla presenza di pieghe F1 sub-isoclinali caratterizzate da geometria simile. Tali pieghe sono generalmente cilindriche, presentano cerniere arrotondate e leggermente ispessite con fianchi raramente boudinati. Gli assi di piega A1 presentano un'accentuata dispersione prodotta per effetto della seguente fase deformativa D2; nonostante tale dispersione si può comunque determinare una direzione principale N120E-N140E con debole immersione verso NW. La fase di deformazione D1 ha prodotto una foliazione di piano assiale S1, non traspositiva nemmeno nelle zone di cerniera.

La fase deformativa successiva (D2) è caratterizzata dalla presenza di pieghe F2 da chiuse ad aperte (40°-150°) e dimensioni variabili da metriche ad ettometriche. Le pieghe F2 sono state rilevate diffusamente sia alla scala dell'affioramento, che alla scala cartografica; esse presentano una geometria parallela ed una serie di elementi (tipo *shear veins* ed *internal duplex*) tali da permettere di ipotizzare un meccanismo di piegamento tipo "flexural slip". Gli assi di piega A2 presentano direzione compresa tra N120E-N140E con debole immersione degli assi verso NW; essi sono quindi circa coincidenti con gli assi A1 (deformazione coassiale) e si presentano blandamente dispersi dalla successiva fase deformativa D3. Le pieghe F2 presentano in genere asimmetria caratterizzata da senso di rovesciamento e quindi trasposto tettonico verso NE. La foliazione associata alle pieghe F2 forma generalmente un ventaglio divergente rispetto al piano assiale, che risulta quasi sempre sub-orizzontale. Nei livelli argillitici

e siltitici, nei litotipi a granulometria arenitica e nei livelli calcarei la S2 è classificabile come "fracture cleavage".

L'ultima fase deformativa descritta (D3) è caratterizzata da pieghe F3 concentriche, aperte (angolo tra i fianchi compreso tra 60°-150°) di dimensione da metrica ad ettometrica, caratterizzate da cerniere arrotondate. Il piano assiale di tali pieghe è in genere sub-verticale ed è associato ad assi di piega sub-orizzontale con direzioni comprese tra circa N180E-N005E.

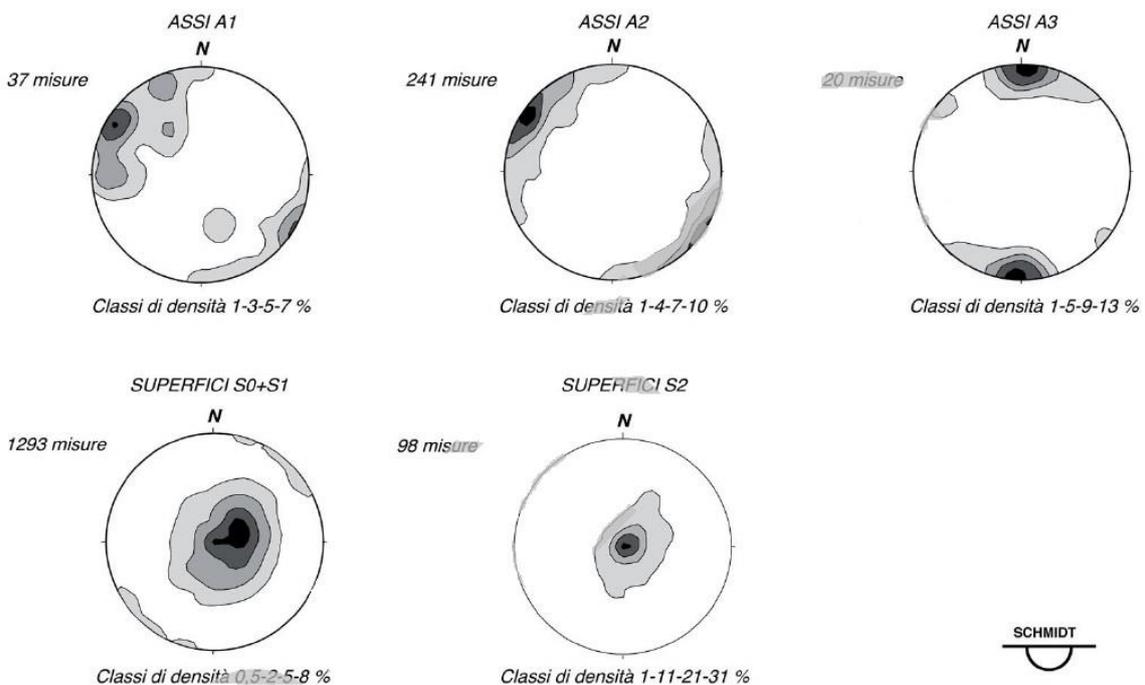


Figura 12. Diagrammi degli elementi strutturali relativi all'Unità tettonica Portello. Immagine tratta dalle Note Illustrative del CARG, Foglio n°214 "Bargagli" con modifiche.

4.4 ***Inquadramento geomorfologico***

L'area in esame è caratterizzata dalla presenza di un'aspra orografia, caratterizzata da rilievi montuosi di altezza massima compresa tra 900-1000 m s.l.m., profondamenti incisi dal Fiume Trebbia e dai suoi affluenti entrambi inseriti nel bacino idrografico del Fiume Po' e quindi in ultima istanza suoi affluenti.

L'assetto morfologico dell'area è quindi fortemente influenzato dall'erosione fluviale operata dai corsi d'acqua presenti; tali corsi d'acqua presentano infatti una tipica sezione valliva a "V", caratterizzata dalla presenza di versanti molto acclivi nella parte prossima all'alveo, ed una graduale riduzione di pendenza associata ad una morfologia dolce ed ondulata spostandosi verso le quote maggiori.

La sezione appena descritta presenta inoltre una sostanziale simmetria tra i due versanti, in quanto le litologie attraversate dal Fiume Trebbia (torbiditi calcareo-pelitiche) sono caratterizzate da elevata resistenza ai processi di degradazione dei versanti che permettono di mantenere profili aspri e dirupati e nelle quali i processi di sovrapposizione hanno generato anche dei meandri incassati.

In relazione al maggior processo morfogenetico attivo nell'area in esame, rappresentato dai **processi di erosione fluviale**, le Note Illustrative del Foglio n°214 "Bargagli", evidenziano la presenza di un solo ordine di terrazzi fluviali.

Per quanto concerne invece la **presenza di processi gravitativi** nell'area in esame, gli Autori delle Note Illustrative segnalano una minor presenza di fenomeni franosi rispetto ad

altri settori di Appennino. A livello generale è stata segnalata una maggiore densità di fenomeni franosi entro le formazioni pelitiche, mentre risulta sensibilmente minore entro le formazioni flyschoidi ed arenacee. Le frane di maggior dimensione sono tuttavia segnalate entro le rocce costituite da alternanze litoidi, quali i flysch.

A livello locale l'analisi della banca dati del **Progetto IFFI** (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) aggiornata al 2016, ha evidenziato che nell'area oggetto del presente studio non sono presenti fenomeni franosi di dimensione significativa.

In aggiunta a tale banca dati è stato inoltre consultato il **Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)** del Bacino del Fiume Po', nel quale è presente il censimento dei fenomeni franosi situati nel relativo bacino (del quale il Fiume Trebbia ne è interamente parte). Secondo quanto riportato nel PAI è stata quindi rilevata la presenza di n°2 frane attive non perimetrate; tali dissesti sono stati riportati in Carta Geomorfologica (cod. el. T00GE00GEOCG06A-10A) e sono ubicati presso dorsali di versante situate in corrispondenza delle Pr. 0+850 e poco oltre la Pr. 1+728 entrambe riferite alla seconda tratta del 2° Stralcio. Analizzando in dettaglio l'ubicazione dei due dissesti si può notare che il primo (Pr. 0+850) non interessa il versante sede della S.S.45, mentre il secondo (ubicato oltre il Pr. 1+728) non interessa il tratto di S.S. 45 incluso nel 2° Stralcio in quanto l'eventuale corpo di frana o blocco litoide mobilizzato verrebbe raccolto nell'impiuvio che attraversa la sede stradale delle S.S.45 circa 15m oltre l'area in esame. In aggiunta a tali considerazioni si segnala inoltre che sebbene di tali dissesti il PAI non riporti alcuna descrizione, la dicitura "puntuale" indicativa di dimensioni non cartografabili e l'assenza di evidenze nelle altre fonti bibliografiche consultate (banca dati

IFFI, Foglio CARG n° 214 "Bargagli" e relative Note Illustrative) indicano una situazione di dissesto molto localizzata e di difficile individuazione, in quanto caratterizzata probabilmente da volumi estremamente ridotti.

4.5 ***Inquadramento idrogeologico***

Per quanto concerne l'inquadramento idrogeologico dell'area in esame, gli Autori segnalano la presenza di litotipi caratterizzati da scarsa permeabilità; in particolare la Formazione di Ronco (ROC), diffusa in tutta l'area in esame, è caratterizzata da una scarsa permeabilità in relazione alla presenza di un'importante frazione pelitica.

La scarsa permeabilità dei litotipi influenza quindi la scarsa presenza di sorgenti rilevate nel foglio n°214 "Bargagli" (caratterizzate peraltro da limitata portata) e della scarsa estensione degli acquiferi.

Analizzando in dettaglio l'area in esame (vedi **Figura 7** e **Figura 8**), non si rileva la presenza di alcuna emergenza idrica significativa.

5 SCHEMA GEOLOGICO-STRUTTURALE

Il presente Capitolo descrive l'assetto geologico-strutturale locale così come evidenziato dai rilievi geologici eseguiti in sito; in particolare verranno descritti i litotipi e gli elementi tettonici individuati presso l'area in esame.

5.1 *Successione stratigrafica locale e caratteri delle unità geologiche*

La successione stratigrafica rilevata in sito evidenzia una sostanziale corrispondenza con quanto riportato dalla Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 del Progetto CARG.

In particolare il substrato roccioso è costituito esclusivamente dalla Formazione di Ronco (ROC), sulla quale è stata osservata la presenza di depositi alluvionali (s.l.), coltri eluvio-colluviali (e-c) ed antropici (h). Nei paragrafi seguenti verrà fornita una descrizione dei diversi litotipi individuati.

5.1.1 *Formazione di Ronco (ROC)*

Tutti gli affioramenti presso i quali è stato possibile osservare il substrato litoide sono costituiti esclusivamente della Formazione di Ronco, costituita da torbiditi calcareo-pelitiche.

In dettaglio gli affioramenti analizzati hanno infatti evidenziato la presenza di alternanze regolari di strati prevalentemente arenitico-siltosi e di strati fini a componente generalmente pelitico-argillitica. Il rapporto arenaria/pelite è generalmente pari all'unità. La presenza di tali alternanze conferisce all'ammasso roccioso una struttura fortemente stratificata e quindi anisotropa, particolarmente accentuata dal netto contrasto compositivo presente.

I livelli grossolani sono mediamente caratterizzati da areniti fini/siltiti di colore grigio chiaro (i cui granuli sono difficilmente visibili ad occhio nudo), organizzate in strati di potenza variabile tra 2-3cm e circa 50-60cm, composizione mista calcareo-silicea, elevata competenza e resistenza all'erosione se comparati con i livelli fini alternati ad essi (vedi **Figura 13**).

I livelli fini sono invece caratterizzati da potenza centimetrica (mediamente compresa tra 0,3 – 5 cm) e sono costituiti da peliti ed argilliti di colore nerastro fortemente laminate e scarsamente competenti in quanto facilmente sfaldabili. In presenza di umidità, oppure di modesti stillicidi, è stato inoltre possibile osservare una sensibile perdita di coesione e generalmente di resistenza meccanica.

In generale la stratificazione è generalmente caratterizzata da strati piano paralleli con buona continuità laterale alla scala dell'affioramento, sebbene in alcuni casi sia stata osservata la presenza di superfici di stratificazione ondulate e non parallele, particolarmente sviluppate entro le frazioni arenaceo/siltitiche (vedi **Figura 14**, punto di rilievo n°41).

Sulla base delle fonti bibliografiche consultate (vedi paragrafo 4.2) è stato possibile attribuire alla Formazione di Ronco un'età non più vecchia del **Campaniano Inferiore**.

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo



Figura 13. Alternanze di livelli arenitico/siltitici di colore grigio chiaro e livelli pelitico/argillitici di colore nerastro.



Figura 14. Affioramento costituito prevalentemente da areniti/siltiti fini con subordinati livelli pelitico/argillitici, caratterizzato dalla presenza di una stratificazione ondulata e non parallela.

5.1.2 Depositi alluvionali (s.l.)

I depositi alluvionali osservati possono essere distinti in tre diverse tipologie in funzione dell'età deposizionale e della tipologia di ambiente sedimentario coinvolto; in particolare partendo dal più antico e proseguendo verso il più recente si possono elencare:

- Alluvionali recenti (Ar);
- Depositi di conoide antica (Ca);
- Alluvioni attuali (Aa).

I **depositi alluvionali recenti** (Ar) sono stati osservati presso la sponda destra del Fiume Trebbia, in corrispondenza del Viadotto n°1 da realizzare presso la prima tratta del 2° Stralcio (punto di rilievo n°3) e sono distribuiti tra la quota di 763 m s.l.m. ed i depositi di origine antropica prodotti dall'attuale sede della S.S.45. Tali depositi sono delimitati verso l'alveo da un orlo di terrazzo alluvionale di origine erosionale e costituiscono quindi un lembo di terrazzo alluvionale deposto ad una quota superiore all'attuale fascia di pertinenza ed area di sedimentazione del corso d'acqua (vedi **Figura 15**).

Tale deposito è costituito generalmente da ciottoli, ghiaie e sabbie con frazione fine siltosa in proporzione variabile, colore giallastro talvolta rossastro e buon grado di addensamento. I ciottoli si presentano ben arrotondati e sfericizzati, eterometrici e principalmente monogenici in quanto largamente formati dalle areniti a componente calcarea della Formazione di Ronco (ROC), mentre nel complesso il deposito presenta una struttura non stratificata o debolmente stratificata ed una tessitura generalmente "*clast supported*".

I **depositi di conoide antica** (Ca) sono stati individuati grazie alle evidenze morfologiche riscontrate presso un affluente del Fiume Trebbia sito in corrispondenza del versante destro lungo una tratta di circa 60m precedente la Pr. 0+000 del primo tratto del 2° Stralcio. In tale settore infatti è visibile una forma di accumulo debolmente convessa, centrata su di un'incisione prodotta dall'affluente, presso la quale affiorano sporadicamente dei depositi alluvionali costituiti generalmente da ciottoli, ghiaie e sabbie con limitata frazione fine siltosa, colore giallastro e buon grado di addensamento (vedi **Figura 16**).

Anche in questo caso tali depositi sono caratterizzati da clasti ben arrotondati, blandamente sfericizzati e sono principalmente formati dalle areniti a componente calcarea della Formazione di Ronco (ROC). La stratificazione non si presenta particolarmente evidente, sebbene possa essere debolmente inclinata verso il fondovalle, mentre la tessitura si presenta generalmente "*clast supported*".

Analizzando la morfologia del versante presso il quale sono presenti sia i depositi di conoide antica (Ca), sia i depositi alluvionali recenti (Ar), è possibile ipotizzare che la porzione orientale del conoide sia parzialmente sovrapposta ai depositi alluvionali (Ar) terrazzati.



Figura 15. Depositi alluvionali recenti (Ar) individuati presso la sponda destra del Fiume Trebbia e interessati da un dissesto di scivolamento/colamento attivo (punto di rilievo n°3).

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo



Figura 16. Depositi di conoide antica (Ca) individuati presso il versante destro del Fiume Trebbia. Tra la vegetazione si può notare l'incisione prodotta dal corso d'acqua, presso la quale è stata osservata la presenza di sporadici affioramenti.

I **depositi alluvionali attuali** (Aa) sono stati osservati diffusamente presso tutta l'area in esame in corrispondenza dei fondovalle dei corsi d'acqua sia principali, come il Fiume Trebbia, sia dei suoi affluenti laterali.

Tali depositi si presentano mediamente addensati, di colore grigio in relazione al basso livello di alterazione presente e sono prevalentemente costituiti da ciottoli e ghiaie grossolane, nelle quali sono sporadicamente presenti delle lenti maggiormente arricchite in sabbie quale matrice fine. I ciottoli si presentano ben arrotondati e sfericizzati, eterometrici e principalmente monogenici in quanto largamente formati dalle areniti e siltiti a componente calcarea della Formazione di Ronco (ROC), mentre nel complesso il deposito presenta una struttura non stratificata o debolmente stratificata ed una tessitura "*clast supported*" (vedi Figura 17).



Figura 17. Depositi alluvionali attuali (Aa) affioranti lungo il corso d'acqua del Fiume Trebbia. Si noti la preponderante presenza di ciottoli calcarei eterometrici ma monogenici e fortemente arrotondati (punto di rilievo n°68).

5.1.3 Coltri eluvio-colluviali (e-c)

Le coltri eluvio-colluviali rappresentano il deposito maggiormente esteso nell'area rilevata in quanto costituiscono il principale prodotto di alterazione ed erosione del substrato roccioso, sottoposto a breve (colluvium) o nullo (eluvium) trasporto. Vista la peculiare genesi tali coltri affiorano con continuità presso tutti i versanti analizzati, mancando esclusivamente in corrispondenza delle incisioni fluviali prodotte dal Fiume Trebbia e dai suoi affluenti, nonché nelle aree soggette a sedimentazione alluvionale.

In dettaglio tali depositi sono caratterizzati da scarso addensamento, colore rossastro o giallo ocra e granulometria fine; essi sono prevalentemente composti da limi sabbiosi con ghiaie e clasti litoidi costituiti esclusivamente da areniti e siltiti appartenenti alla Formazione di Ronco (ROC), mentre la frazione argillosa è generalmente inferiore al 10%, così come rilevato dalle granulometrie disponibili presso i sondaggi S5 ed S7 (rappresentativi di tali depositi) (vedi **Figura 18**).

I clasti presenti entro tali depositi presentano una sfericità nulla, un basso grado di arrotondamento ed una forma generalmente appiattita. La tessitura del deposito è "*matrix supported*", mentre la struttura presenta generalmente una stratificazione parallela alla superficie del singolo versante presso il quale il deposito si accumula. E' stato osservato che i depositi in corso di formazione alla base di affioramenti di torbiditi della Formazione di Ronco (ROC) si presentano maggiormente arricchiti di clasti a scapito della frazione fine limoso-sabbiosa (vedi **Figura 19**). Tale aspetto è correlato alla scarsa maturazione del deposito ed al nullo trasporto che esso ha subito.



Figura 18. Coltri eluvio-colluviali (nel caso rappresentato prevalentemente eluviali) di colore rosso bruno sovrapposte al sottostante substrato litoide costituito dalle torbiditi della Formazione di Ronco (ROC), presso il punto di rilievo n°6.



Figura 19. Coltri eluvio-colluviali (nel caso rappresentato prevalentemente eluviali) di colore giallo ocra accumulate alla base di un affioramento di substrato litoide costituito dalle torbiditi della Formazione di Ronco (ROC). I depositi in esame sono costituiti prevalentemente da clasti appiattiti di areniti, siltiti e peliti.

5.1.4 Depositi antropici (h)

I depositi di origine antropica sono stati rilevati principalmente lungo l'attuale tracciato della S.S.45, costituendone spesso il corpo stradale, oppure in alcuni settori situati a valle dello stesso, ove sono stati accumulati i materiali scavati durante la realizzazione dell'infrastruttura stessa.

La particolare genesi del deposito si riflette sensibilmente sulle caratteristiche granulometriche, tessiturali e strutturali osservabili; esso presenta infatti caratteristiche molto eterogenee in quanto influenzate dalle attività antropiche che lo hanno prodotto (ad esempio scavi di sbancamento/bonifica impostati entro il substrato roccioso/coltri di depositi eluvio-colluviali/alluvionali (s.l.), demolizione di manufatti antropici, rimozione del solo terreno vegetale, etc...).

Considerando la genesi dei depositi antropici osservati entro l'area in esame (associata prevalentemente alla realizzazione di scavi di sbancamento connessi alla realizzazione della S.S. 45) e vista la natura del substrato roccioso e dei sovrastanti depositi sui quali tali scavi sono stati impostati, è possibile descrivere le caratteristiche medie di tali depositi.

Essi sono costituiti da ghiaie e sabbie con abbondante matrice fine limosa e da clasti di forma appiattita, spigolosi e non sferici costituiti da areniti e siltiti provenienti dalla Formazione di Ronco (ROC). Il deposito si presenterà mediamente mal classato, non stratificato, a tessitura "*matrix supported*" e variamente addensato (da molto addensato in corrispondenza del corpo stradale a non addensato in presenza di accumuli di materiali di scavo collocati a valle della S.S. 45).

In presenza di accumuli detritici derivanti da operazioni di scavo è stata inoltre osservata la possibile insorgenza di processi erosionali prodotti dal ruscellamento di acque superficiali; tali materiali si presentano infatti scarsamente addensati e privi di protezione contro l'erosione garantita dagli apparati radicali della vegetazione arbustiva e di alto fusto. In

tali contesti si formano quindi delle morfologie erosive ben evidenti costituite da solchi lineari ed avvallamenti (vedi **Figura 20**).



Figura 20. Depositi antropici prodotti probabilmente da scavi di sbancamento per la realizzazione della S.S.45 ed accumulati a valle dell'infrastruttura (vicinanze del punto di rilievo n°16). Si notino i solchi lineari e gli avvallamenti prodotti dall'erosione operata dalle acque ruscellanti.

5.2 **Assetto tettonico-strutturale**

L'analisi degli elementi strutturali rilevati ha permesso di descrivere l'assetto tettonico-strutturale dell'area studiata, evidenziando la presenza di deformazioni plicative e disgiuntive.

5.2.1 *Deformazione plicativa*

In generale nel settore in esame è stata prevalentemente rilevata la presenza di elementi strutturali associati ad una deformazione plicativa formata dalla sovrapposizione di almeno due (fasi D2 e D3) delle tre fasi deformative (D1, D2 e D3) descritte nel paragrafo 4.3.

I principali elementi strutturali raccolti per descrivere tale deformazione sono quindi rappresentati da giaciture delle superfici di: stratificazione/foliazione; superfici di clivaggio prodotte dalle pieghe analizzate; superfici di piano assiale; lineazioni di intersezione (pencil structures) ed ovviamente assi di piega.

A grande scala l'area analizzata presenta una struttura associabile ad una monoclinale, in quanto analizzando il diagramma strutturale riportato in **Figura 21** si può osservare che i poli di piano delle superfici di stratificazione o di foliazione S1 (prodotta dalla fase D1 e parallelizzata alla stratificazione) seppur dispersi presentano generalmente immersione media verso NW (316°) ed angolo di inclinazione di circa 24°. La dispersione dei dati è imputabile agli effetti delle successive fasi deformative D2 e D3 che hanno piegato sia le superfici primarie (stratificazione) che la foliazione S1.

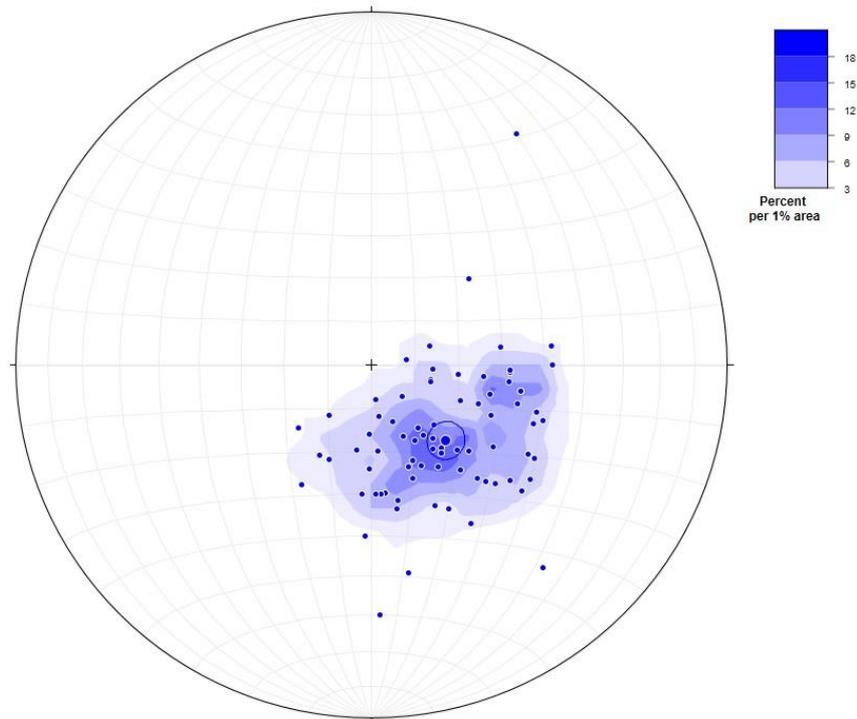


Figura 21. Diagramma strutturale riportante n°77 poli di piano delle superfici di stratificazione o di foliazione S1 misurati nell'area in esame ed il relativo diagramma di densità. Nord riportato in alto nel diagramma, proiezione equiareale di Schmidt, emisfero inferiore. La giacitura del piano associato al polo medio calcolato (e riportato nel diagramma con il cerchio di colore blu) è pari a 316°/24°.

In particolare è stata rilevata la presenza di strutture plicative caratterizzate da diverso stile deformativo e diversa orientazione degli elementi strutturali nello spazio.

La prima tipologia di pieghe riconosciuta con maggior frequenza nell'area è caratterizzata da deformazione cilindrica, profilo parallelo, cerniere arrotondate ed angolo tra i fianchi aperto (angolo compreso tra 70-120°). Tali strutture presentano assi di piega

generalmente immergenti verso NW oppure verso SE a basso angolo di inclinazione (inferiore a 30°), mentre i piani assiali associati sono spesso caratterizzati da analogo basso valore di inclinazione (inferiore a 40-45°) e direzione circa NW-SE, così come riportato in **Figura 26**. Tali strutture si presentano spesso asimmetriche e coricate, mentre il senso di trasporto tettonico rilevato è generalmente orientato verso NE. Le dimensioni osservate con maggior frequenza spaziano da alcuni decimetri a pochi metri (vedi **Figura 22** e **Figura 23**).

In ragione delle caratteristiche sopraesposte è possibile associare tale tipologia di pieghe alla deformazione D2 descritta nel paragrafo 4.3.

A causa delle limitate condizioni di affioramento non è stato possibile determinare con certezza lo sviluppo di superfici di foliazione di piano assiale (vedi **Figura 22**). L'osservazione di diverse lineazioni di intersezione tipo "*pencil structures*", prodotte dall'intersezione tra un clivaggio di frattura e le superfici di stratificazione, caratterizzate da analogo orientazione rispetto agli assi di piega misurati (assi A2 in quanto associati alla fase D2), permette tuttavia di ritenere che esse siano quindi associate allo sviluppo di un clivaggio di frattura tipo "*fracture cleavage*" di fase D2 e quindi denominato S2.

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

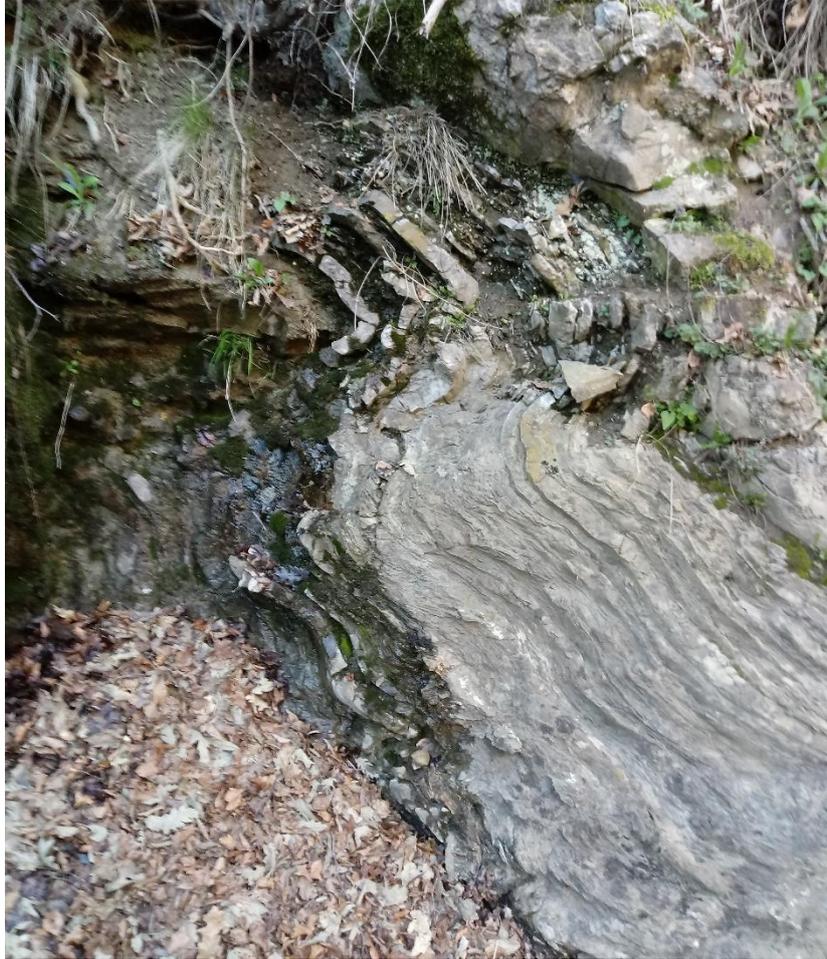


Figura 22. Vista delle pieghe di fase D2 osservate alla scala decimetrica. Si noti l'assenza di superfici di clivaggio di piano assiale.



Figura 23. Vista delle pieghe di fase D2 osservate alla scala metrica. Si noti l'assenza di superfici di clivaggio di piano assiale, la marcata asimmetria della struttura, associata ad una direzione di trasporto tettonico verso NE (verso la parte destra della foto), associata ad un profilo tipo "Z" della struttura. (Punto di rilievo n°68).

La seconda tipologia di pieghe osservate presenta caratteristiche deformative diverse, essendo costituita da pieghe parallele, cilindriche, simmetriche, aperte o deboli (angolo tra i fianchi compreso tra 70°-180°), cerniera arrotondata o appuntita tipo "chevron" e dimensioni da metriche a plurimetriche (vedi **Figura 24** e **Figura 25**).

Tali pieghe presentano assi di piega caratterizzati da immersione variabile da NW a NE associata a basso angolo di inclinazione (generalmente inferiore a 30°), mentre le superfici

assiali si presentano da molto inclinate a sub-verticali (inclinazione generalmente superiore a 60°) ed orientate in direzione circa Nord-Sud così come riportato in **Figura 27**.

In ragione delle caratteristiche sopraesposte è possibile associare tale tipologia di pieghe alla deformazione D3 descritta nel paragrafo 4.3.



Figura 24. Vista di pieghe di fase D3 aperte, parallele, con cerniere arrotondate, asse di piega sub-orizzontale e superficie di piano assiale caratterizzata da inclinazione di 70°. (Punto di rilievo n°17).



Figura 25. Piega tipo chevron caratterizzata da superficie di piano assiale circa verticale ed asse sub-orizzontale. (Punto di rilievo n°59 esterno all'area rappresentata in Carta Geologica).

Analizzando ora gli elementi strutturali misurati è possibile osservare come la dispersione dei poli di piano delle superfici di stratificazione (o di scistosità S1) sia compatibile con una deformazione per piega caratterizzata da asse a giacitura $318^{\circ}/24^{\circ}$, quindi compatibile con le giaciture degli assi di piega (A2) e le lineazioni di intersezione di fase D2 misurati (vedi ***Figura 28***).

In seguito le strutture di piega di fase D3 hanno ulteriormente contribuito ad aumentare la dispersione dei poli di piano delle superfici di stratificazione (o scistosità S1), inducendo inoltre una inevitabile riorientazione degli elementi strutturali di fase D2 (assi di piega, piani assiali e clivaggio di frattura S2).

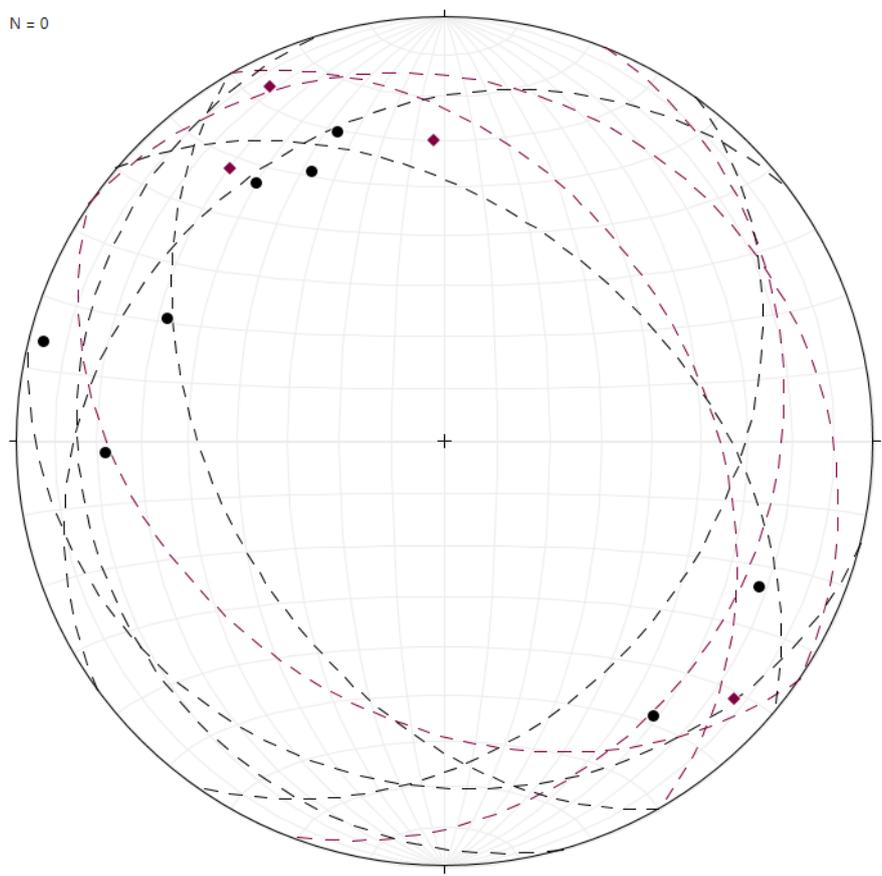


Figura 26. Diagramma strutturale riportante gli assi di piega A2 con i relativi piani assiali prodotti nella fase deformativa D2 (pallini e ciclografiche tratteggiate di colore nero) e le lineazioni di intersezione tipo "pencil structures" misurate con i relativi clivaggi di frattura (rombi e ciclografiche di colore amaranto). Nord riportato in alto nel diagramma, proiezione equiareale di Schmidt, emisfero inferiore.

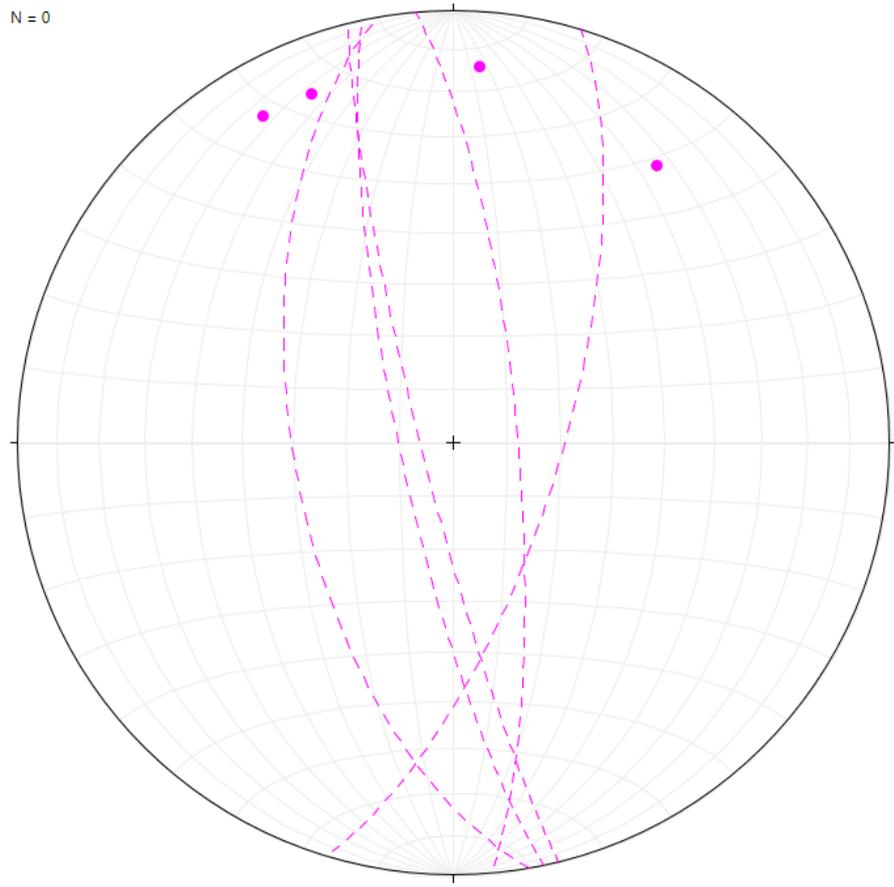


Figura 27. Diagramma strutturale riportante gli assi di piega A3 con i relativi piani assiali prodotti nella fase deformativa D3 (pallini e ciclografiche di colore magenta). Nord riportato in alto nel diagramma, proiezione equiareale di Schmidt, emisfero inferiore.

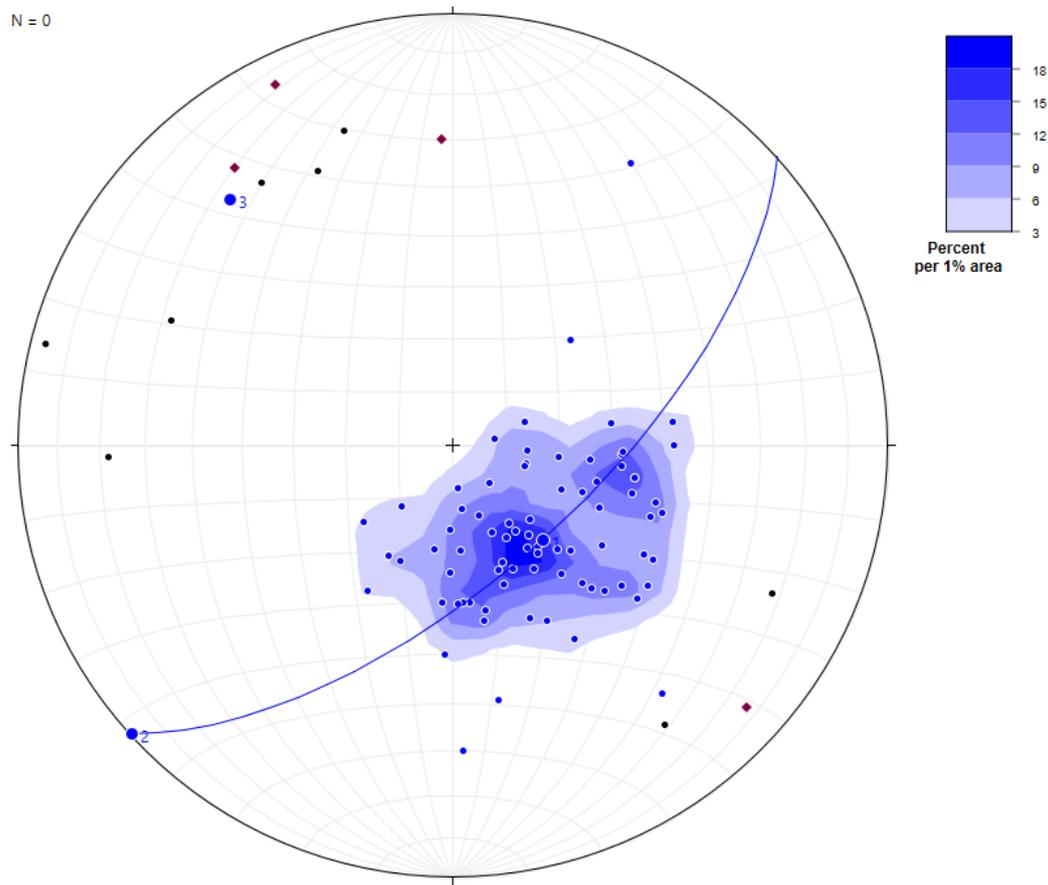


Figura 28. Diagramma strutturale riportante gli assi di piega A2 prodotti nella fase deformativa D2 (pallini di colore nero) e le lineazioni di intersezione tipo "pencil structures" misurate (rombi di colore amaranto). In aggiunta nel diagramma sono stati riportati i poli di piano di stratificazione (pallini di colore blu) ed è stata calcolata la possibile struttura di piega in grado di generare la dispersione osservata; tale struttura presenterebbe asse a giacitura 318°/24° (polo n°3 di colore blu). Nord riportato in alto nel diagramma, proiezione equiareale di Schmidt, emisfero inferiore.

5.2.2 Deformazione disgiuntiva

Per quanto concerne la deformazione disgiuntiva rilevata entro l'area studiata, rappresentata da superfici di faglia o da modeste zone di taglio, si può affermare che essa non ha prodotto strutture particolarmente significative. In particolare è stata rilevata con certezza una sola struttura di faglia materializzata da una cataclasite cementata di potenza pari a circa 1m e caratterizzata da giacitura $330^{\circ}/80^{\circ}$ (vedi **Figura 29**). Tale cataclasite è stata osservata presso il punto di rilievo n°40 e rappresenta una struttura minore associata probabilmente ad una zona di deformazione caratterizzata da potenza metrica e giacitura $350^{\circ}/36^{\circ}$.

Tale zona di deformazione (riportata in Carta Geologica cod. el. T00GE00GEOCG01A-05A, Profilo Geologico cod. el. T00GE00GEOFG01A-03A e Sezioni geologiche cod. el. T00GE00GEOSG02A-04A) ha prodotto modesti effetti nelle torbiditi arenaceo-pelitiche, sviluppando prevalentemente una zona di danneggiamento costituita da pervasive superfici di taglio ondulate (sovente anastomosate) e caratterizzate da spaziatura centimetrica. In questo caso i processi di cataclasi si sono limitati allo sviluppo di sottili livelli di potenza centimetrica entro i quali è stata accomodata la maggior quantità di deformazione di taglio.

In corrispondenza del punto di rilievo n°65 è stata invece osservata una probabile struttura di taglio minore tipo "*Extension Crenulation Cleavage*" associata alle fasi deformative D2 o D3 e caratterizzata da cinematismo normale (vedi **Figura 30**). La presenza di tale struttura, associata alla porzione a minor competenza delle torbiditi della Formazione di Ronco (ROC) è riconducibile al meccanismo di piega tipo "*flexural slip*" descritto al paragrafo 4.3 e rappresenta

un esempio delle strutture deformative proprie di un contesto deformativo di transizione fragile/duttile visibili alla mesoscala e ben diffuse presso l'area studiata.



Figura 29. Zona di faglia caratterizzata dallo sviluppo di una cataclasite cementata di potenza pari a circa 1m. Punto di rilievo n°40.



Figura 30. Probabile struttura distensiva tipo "Extension Crenulation Cleavage" sviluppata nella porzione pelitico-argillitica delle torbiditi della formazione di Ronco (ROC) durante la fase deformativa D2 o D3. Punto di rilievo n°65.

6 SCHEMA GEOMORFOLOGICO

Il presente Capitolo descrive l'assetto geomorfologico locale così come evidenziato dai rilievi geomorfologici eseguiti in sito; in particolare verranno descritte le forme di accumulo e di erosione individuate, inquadrare sulla base dei processi geomorfologici che le hanno prodotte.

In generale la morfologia dell'area in esame è condizionata dall'azione di processi fluviali e gravitativi che hanno prodotto sia forme di erosione, sia di accumulo. In aggiunta a tali processi è opportuno considerare anche l'attività antropica, in quanto pienamente capace di modellare significativamente le forme del paesaggio.

Nei paragrafi seguenti sono stati descritti i diversi processi riconosciuti, ordinando le descrizioni sulla base del peso (decrescente) che tali processi hanno evidenziato nell'area in esame.

6.1 *Processi fluviali*

L'azione morfogenetica del Fiume Trebbia e dei suoi affluenti minori ha profondamente modellato l'area risultando quindi il principale agente responsabile dell'assetto geomorfologico rilevato.

L'azione erosionale operata da tali corsi d'acqua ha infatti prodotto delle incisioni con sezione tipicamente a "V", orlate da versanti mediamente acclivi. Nel settore studiato infatti i processi erosionali sono nettamente prevalenti rispetto ai processi deposizionali operati dai corsi d'acqua; tale prevalenza si manifesta infatti con la presenza di diverse tratte di alveo

impostate direttamente entro il substrato roccioso (vedi **Figura 31**) e con la presenza di limitati depositi alluvionali (prevalentemente attribuibili all'Unità litostratigrafica Alluvioni Attuali) lungo il letto del Fiume Trebbia.



Figura 31. Vista di un tratto di alveo di un rio minore affluente del Trebbia caratterizzato dall'assenza di depositi alluvionali e dalla presenza di affioramenti di substrato litoide torbido. Alveo compreso tra i punti di rilievo n°1 e n°2.

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

In generale nell'area in esame l'andamento del Fiume Trebbia è caratterizzato da direzione circa Est-Ovest nella metà occidentale dell'area (limite posto presso il Pr. 0+500 del secondo tratto del 2° Stralcio) e da direzione NE-SW nella restante semiporzione orientale. In dettaglio l'alveo presenta andamento meandrizzato, fortemente incassato e compreso tra una quota massima di 770 m s.l.m. in corrispondenza del primo tratto del 2° Stralcio ed una quota minima di circa 700 m s.l.m. presso la fine del secondo tratto del 2° Stralcio. I corsi d'acqua minori che compongono il reticolato idrografico locale sono invece caratterizzati da bacini idrografici ridotti, andamento da rettilineo a blandamente meandrizzato e direzione di deflusso variabile (vedi **Figura 32** e **Figura 33**).

I rilievi montuosi isolati e modellati dall'azione erosiva del reticolato idrografico locale presentano elevazione massima superiore a 1000 m s.l.m.

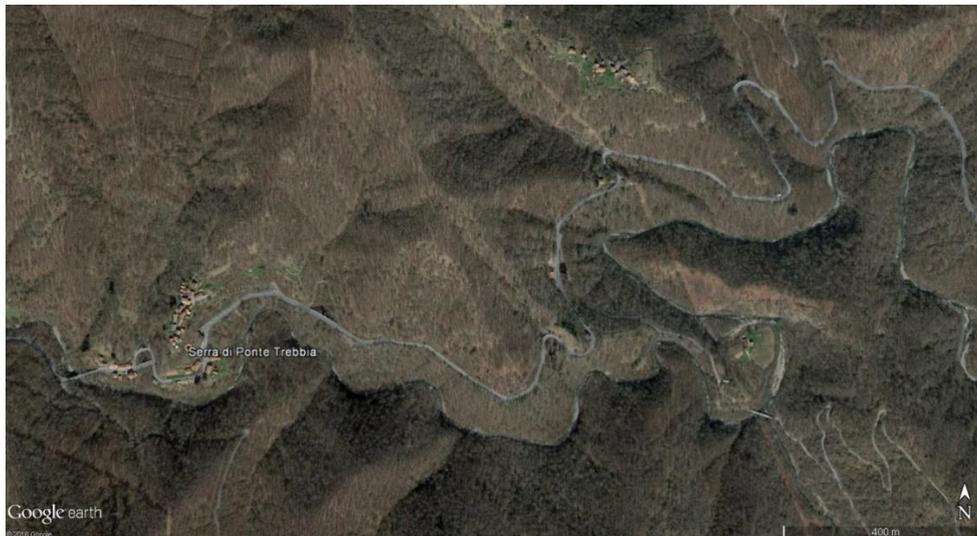


Figura 32. Vista aerea dell'area in esame posta al centro dell'immagine. Immagine non in scala tratta da Google Earth.

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo



Figura 33. Vista 3D dell'area in esame posta al centro dell'immagine. Immagine non in scala tratta da Google Earth.

Come anticipato l'azione deposizionale operata dai corsi d'acqua, limitata rispetto all'azione erosiva prodotta dagli stessi, ha prodotto due forme di accumulo evidenti costituite dal terrazzo alluvionale e dal cono di deiezione torrentizia posti sulla sponda destra del Trebbia a monte della frazione di Serra di Ponte Trebbia.

Come anticipato nel paragrafo 5.1.2 il terrazzo alluvionale è composto da depositi alluvionali recenti (Ar) osservati presso la sponda destra del Fiume Trebbia, in corrispondenza del viadotto da realizzare presso la prima tratta del 2° Stralcio (punto di rilievo n°3). Tale

forma di accumulo ed erosione è distribuita tra la quota di 763 m s.l.m. ed i depositi di origine antropica prodotti dall'attuale sede della S.S.45 ed è delimitata verso l'alveo da un orlo di terrazzo alluvionale di origine erosionale; essa costituisce quindi un lembo di terrazzo alluvionale deposto ad una quota superiore all'attuale fascia di pertinenza ed area di sedimentazione del corso d'acqua (vedi **Figura 15** e Carta Geomorfologica cod. el. T00GE00GEOCG06A).

Il cono di deiezione torrentizia è invece costituito da depositi di conoide antica (Ca) ed è stato individuato grazie alle evidenze morfologiche riscontrate presso un affluente del Fiume Trebbia sito in corrispondenza del versante destro per circa 60 prima della Pr. 0+000 della prima tratta del 2° Stralcio. In tale settore infatti è visibile una forma di accumulo debolmente convessa, centrata su di un'incisione prodotta dall'affluente, presso la quale affiorano sporadicamente dei depositi alluvionali (vedi **Figura 16** e Carta Geomorfologica cod. el. T00GE00GEOCG06A).

In aggiunta a tali forme di accumulo sono stati osservati locali coni di deiezione torrentizia di piccole dimensioni, localizzati lungo i corsi d'acqua minori affluenti del Trebbia. Tali forme di accumulo sono impostate in corrispondenza dei cambi di pendenza presenti lungo i relativi corsi d'acqua, individuate generalmente in corrispondenza della S.S. 45 e del fondovalle del Trebbia. Data l'esigua estensione di tali forme, caratterizzate da dimensioni metriche, nella cartografia tematica prodotta nel presente studio essi sono stati accorpati ai depositi alluvionali attuali (Aa).

6.2 ***Processi gravitativi***

I processi gravitativi rappresentano il secondo agente morfogenetico operante nell'area per quanto concernere la capacità di modellazione del paesaggio, sebbene essi rivestano notevole importanza per le attività antropiche presenti nel territorio in esame.

In generale sono stati osservati diversi fenomeni di dissesto gravitativo caratterizzati da differente stato di attività; essi possono essere classificati secondo i seguenti cinematismi:

- Frane di crollo;
- Frane di scivolamento planare;
- Frane di scivolamento/colamento superficiale;
- Aree soggette ad erosione diffusa;
- Aree soggette allo sviluppo di fenomeni di dissesto superficiale (soliflusso, creep);
- Frane puntuali.

L'elenco riportato individua prevalentemente le forme morfologiche "negative" (quindi forme di erosione) riportate in Carta Geomorfologica (cod. el. T00GE00GEOCG06A-10A); esse sono state infatti prodotte in seguito al distacco ed asportazione di volumi rocciosi o di depositi detritici per effetto della gravità. Nell'area è stata osservata una sola forma di accumulo riconducibile al corpo di frana di un fenomeno di scivolamento.

In seguito è stata articolata una descrizione dei diversi fenomeni franosi distinti sulla base del cinematismo riconosciuto; in tale contesto è stato inoltre specificato lo stato di attività di tali dissesti.

6.2.1 Frane di crollo

Le frane di crollo osservate nell'area in esame sono impostate esclusivamente in corrispondenza di substrato roccioso fratturato ed alterato e sono caratterizzate da coronamenti di forma arcuata semicircolare, cui seguono generalmente delle superfici di distacco concave. Il materiale mobilizzato tende a disgregarsi completamente durante il moto, producendo un accumulo a granulometria ridotta, costituito da ciottoli e ghiaie facilmente erodibili dall'azione dei corsi d'acqua e delle acque ruscellanti (vedi **Figura 34**).

L'estensione dei fenomeni osservati (punti di rilievo n°1, n°33 e n°69) è modesta, in quanto essi non superano i 50m di larghezza del coronamento, mentre la profondità delle nicchie di distacco è limitata ad alcuni metri (in genere non eccedenti i 4/5m). Lo stato di attività osservato è quiescente o stabilizzato.

Sulla base delle condizioni osservate si ritiene probabile che tali fenomeni posseggano un cinematismo misto crollo/scivolamento rotazionale, in quanto il dissesto sembra prevalentemente correlato a processi di instabilità globale dell'ammasso a causa delle scadenti proprietà geomeccaniche invece che al distacco di materiale litoide lungo superfici di discontinuità in un contesto di ammasso roccioso di buona resistenza.

In corrispondenza dei fenomeni censiti le superfici di stratificazione sono disposte a reggipoggio oppure a traversopoggio, mentre non è stata rilevata la presenza di superfici disposte a franapoggio. La giacitura di tale pervasiva famiglia di discontinuità non ha pertanto influito nello sviluppo del dissesto, confermando le ipotesi legate alla scadente qualità

geomeccanica della porzioni più superficiali del substrato roccioso quale causa predisponente il dissesto.



Figura 34. Nicchia di distacco di una frana di crollo osservata a ridosso del letto del Trebbia. Punto di rilievo n°69.

6.2.2 Frane di scivolamento planare

Le frane di scivolamento planare osservate nell'area in esame (punti di rilievo n°16, n°17, n°18 e 18b) sono impostate esclusivamente in corrispondenza di substrato roccioso e sono caratterizzate da coronamenti di forma arcuata sebbene appuntita, cui seguono generalmente delle superfici di distacco planari disposte con la medesima giacitura delle

superfici di stratificazione. Presso tali dissesti non è stato possibile osservare le caratteristiche del materiale mobilizzato in quanto tali dissesti, chiaramente stabilizzati, sono stati oggetto di rimodellamento ed erosione da parte delle acque di ruscellamento di versante (vedi **Figura 35**).

L'estensione dei fenomeni osservati è modesta, in quanto essi non superano i 60m di larghezza del coronamento, mentre la profondità delle nicchie di distacco è limitata ad alcuni metri (in genere non eccedenti i 1/3m). Come anticipato lo stato di attività osservato è stabilizzato.

Sulla base delle condizioni osservate si ritiene probabile che tali fenomeni posseggano un cinematismo di scivolamento planare, in quanto il dissesto sembra prevalentemente correlato a processi di scivolamento di intere porzioni di ammasso roccioso a causa delle scadenti proprietà geomeccaniche dei livelli pelitico-argillitici presenti entro le torbiditi della Formazione di Ronco (ROC). Per lo sviluppo di tali dissesti risulta inoltre fondamentale la presenza di superfici di stratificazione disposte a franapoggio meno inclinato del pendio, così come osservato in sito.



Figura 35. Vista delle superfici di stratificazione disposte a franapoggio meno inclinato del pendio presso il quale si sono sviluppate delle frane da scivolamento planare lungo le superfici di strato (Punto di rilievo n°17).

6.2.3 Frane di scivolamento/colamento superficiale

Le frane di scivolamento/colamento osservate nell'area in esame sono impostate esclusivamente in corrispondenza di depositi detritici, mentre il substrato roccioso non ne è stato coinvolto. In prevalenza i depositi maggiormente interessati sono rappresentati dalle

coltri eluvio-colluviali (in quanto maggiormente diffusi), seguiti dai depositi alluvionali recenti (Ar) terrazzati e dai depositi antropici (h).

I fenomeni di scivolamento/colamento presentano coronamenti di forma variabile da arcuata a lineare, mono o plurilobate, mentre le superfici di distacco presentano in genere forma concava ed allungata in direzione della massima pendenza del versante. In alcuni casi (punto di rilievo n°37) è stata osservata la presenza di due ordini di coronamenti e di nicchie di distacco sovrapposti a diverse quote sul versante (vedi *Figura 36*).

Anche in questo caso non è stato possibile osservare le caratteristiche del materiale mobilizzato, in quanto tali dissesti tendono a produrre accumuli di frana distribuiti su grandi areali che tendono rapidamente ad essere rimodellati dall'azione delle acque di ruscellamento di versante.

L'estensione dei fenomeni osservati è modesta, in quanto essi non superano i 60m di larghezza del coronamento, mentre la profondità delle nicchie di distacco è limitata a pochi metri (in genere non eccedenti i 1/3m) trattandosi di fenomeni di dissesto superficiali. Lo stato di attività osservato è variabile da stabilizzato, quiescente oppure attivo.

Sulla base delle condizioni osservate si ritiene probabile che anche tali fenomeni posseggano un cinematismo misto in quanto il movimento, causato dall'imbibizione della coltre detritica superficiale con conseguente riduzione della resistenza meccanica del materiale, si inneschi come un scivolamento per poi evolvere come un colamento in relazione all'elevata deformazione interna del corpo di frana.



Figura 36. Nicchia di distacco di una frana di scivolamento/colamento superficiale osservata a ridosso della strada S.S. 45. Punto di rilievo n°37.

6.2.4 Aree soggette ad erosione diffusa

Le aree soggette ad erosione diffusa si sono sviluppate esclusivamente in presenza di coltri eluvio-colluviali caratterizzate da marcata acclività e quindi vulnerabili ai processi di erosione prodotti principalmente dalle acque di ruscellamento di versante. Le evidenze morfologiche di tali processi sono costituite da scarpate di ridottissima altezza (inferiore ad

1m) che delimitano settori privi di vegetazione (aree attive) o scarsamente vegetati (aree quiescenti) in relazione alla frequenza di sviluppo di episodi di erosione (vedi **Figura 37**).

Lo stato di attività osservato di tali fenomeni superficiali è variabile da attivo a quiescente.



Figura 37. Area soggetta ad erosione diffusa attiva. Settore di versante ubicato a monte del punto di rilievo n°38.

6.2.5 Aree soggette allo sviluppo di fenomeni di dissesto superficiale (soliflusso, creep)

Analogamente a quanto descritto nel paragrafo precedente anche le aree soggette allo sviluppo di fenomeni di dissesto superficiale si sono sviluppate esclusivamente in presenza di coltri eluvio-colluviali caratterizzate da media acclività.

Le evidenze morfologiche di tali processi di lenta deformazione sono costituite principalmente dall'anomala inclinazione della vegetazione di alto fusto rivolta verso valle e dalla formazione di lobi e increspatura nel terreno (vedi **Figura 38**).

Sulla base delle evidenze di terreno tali fenomeni si presentano generalmente attivi.



Figura 38. Vista di un settore di versante soggetto allo sviluppo di fenomeni di dissesto superficiale. Strada secondaria sottostante il punto di rilievo n°38.

6.2.6 Frane puntuali.

La presenza di frane puntuali entro l'area in esame è stata appurata osservando la tratta di versante posta a valle del punto di rilievo n°38. In tale settore è stato infatti osservato un modestissimo fenomeno di erosione accelerata attiva a spese di una porzione di coltri eluvio-colluviali (vedi **Figura 39**). Le dimensioni estremamente ridotte di tale tipologia di fenomeni, gli esigui volumi in gioco ed i materiali coinvolti (coltre eluvio-colluviale) ne possono favorire la diffusione presso tutti i versanti dell'area studiata.



Figura 39. Frana puntuale osservata in corrispondenza della strada secondaria sottostante il punto di rilievo n°38.

6.3 **Attività antropica**

L'ultimo agente morfologico in grado di produrre significativi effetti nell'area rilevata è rappresentato dall'attività antropica.

In generale le attività antropiche hanno contribuito a modellare l'area in due distinte fasi:

- Durante la coltivazione dei versanti;
- Durante la costruzione delle abitazioni e delle infrastrutture viarie.

Nel primo caso è stata rilevata la presenza di una serie di terrazzamenti relitti (in quanto tali aree montuose non sono più adibite a coltivazioni) distribuiti a diverse quote e disposti diffusamente presso i versanti esposti prevalentemente a Sud. Tali terrazzi seguono planimetricamente l'andamento del versante e presentano superfici subpianeggianti delimitate da piccole scarpate modellate direttamente nelle coltri eluvio-colluviali, oppure mediante muretti in pietra locale di altezza generalmente non superiore a 1/2m.

Per quanto concerne gli effetti morfogenetici afferenti alla costruzione delle abitazioni e delle infrastrutture viarie (in primis la S.S. 45) essi sono riconducibili a forme "erosive" quali la creazione di scarpate di scavo ubicate soprattutto a monte delle sedi stradali (vedi **Figura 40**) e forme di accumulo rappresentate sia dalle discariche di materiale mobilizzato durante gli scavi, sia dal corpo stradale stesso (soprattutto nella parte protesa verso valle).

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo



Figura 40. Scavi di sbancamento realizzati durante la costruzione della S.S.45. Si noti la presenza continua di tali scarpate rocciose poste a monte dell'infrastruttura. Tratta compresa tra i punti di rilievo n°31, n°11 e n°10.

7 SCHEMA IDROGEOLOGICO

Il presente Capitolo descrive l'assetto idrogeologico locale così come evidenziato dai rilievi eseguiti in sito.

In particolare durante tale attività non è stata identificata la presenza di sorgenti, né di aree umide correlabili alla presenza di una falda prossima al livello del piano campagna. Le uniche manifestazioni idriche osservate sono limitate a modesti stillicidi osservati sporadicamente in corrispondenza del contatto stratigrafico tra il substrato roccioso litoide (scarsamente permeabile) e le sovrastanti coltri eluvio-colluviali (mediamente permeabili). Tali stillicidi, riferibili a fenomeni di percolazione delle acque entro le sole coltri eluvio-colluviali, presentano scarsa continuità laterale (generalmente 3/4m) e portate complessive trascurabili.

Come descritto nel successivo Capitolo 9 le indagini geognostiche realizzate non hanno evidenziato la presenza di alcuna falda entro l'ammasso roccioso, né entro i depositi detritici sovrastanti.

Al fine di fornire delle indicazioni circa la permeabilità dei terreni presenti nell'area studiata è stata operata una classificazione delle diverse unità litostratigrafiche individuate in n° 4 complessi idrogeologici. Tali suddivisioni sono funzione sia della tipologia di permeabilità attesa (primaria per porosità o secondaria per fratturazione o carsismo), sia del relativo intervallo di variazione del coefficiente di permeabilità K (espresso in m/s).

Al fine di attribuire con maggior precisione i valori del coefficiente di permeabilità K ai diversi complessi individuati, sono stati inoltre considerati i valori di permeabilità determinati mediante le seguenti prove Lugeon eseguite presso:

- sondaggio S2, prova eseguita nel substrato litoide tra 30÷34,8m - $K \sim 1 \cdot 10^{-7}$ m/s;
- sondaggio S4, prova eseguita nel substrato litoide tra 9÷12 - $K \sim 5 \cdot 10^{-7}$ m/s;
- sondaggio S7, prova eseguita nel substrato litoide tra 8,45÷11,45m - $K \sim 2 \cdot 5 \cdot 10^{-7}$ m/s;

In **Figura 41** è stata riportata una tabella riassuntiva circa le caratteristiche principali dei diversi complessi idrogeologici individuati.

Il **complesso C1** comprende tutti i depositi alluvionali (s.l.) individuati nell'area e caratterizzati da permeabilità primaria e granulometria grossolana prevalentemente ghiaioso-sabbiosa con ciottoli. Tale complesso presenta permeabilità elevata, caratterizzata da K generalmente $> 10^{-4}$ m/s, in presenza di frazione ghiaiosa prevalente. In presenza di un aumento della frazione sabbiosa a scapito delle ghiaie, la permeabilità K attesa può diminuire portandosi indicativamente entro l'intervallo compreso tra $10^{-4} \div 10^{-6}$ m/s.

Il **complesso C2** include esclusivamente i depositi di origine antropica (h) caratterizzati da permeabilità primaria e granulometria molto eterogenea in quanto non classata. La presenza di frazione grossolana (clasti grossolani e ghiaie) e medio/fine (sabbie e limi) attribuisce a tale complesso una permeabilità media variabile entro l'intervallo di K compreso tra $10^{-4} \div 10^{-6}$ m/s.

Il **complesso C3** comprende esclusivamente le coltri eluvio-colluviali (e-c) caratterizzate da permeabilità primaria e granulometria fine a componente sabbioso-limosa,

talvolta argillosa. La permeabilità di tale complesso si attesta entro l'intervallo di K compreso tra $10^{-4} \div 10^{-6}$ m/s (media), sebbene in presenza di un aumento della frazione fine limoso-argillosa essa possa diminuire entro l'intervallo di K compreso tra $10^{-6} \div 10^{-9}$ m/s (bassa).

Il **complesso C4** include esclusivamente la Formazione di Ronco (ROC), in quanto essa è caratterizzata da bassissima permeabilità primaria per porosità, mentre può evidenziare una permeabilità secondaria per fratturazione. In questo caso la permeabilità attesa in assenza di fratturazione è molto bassa e pari a $K < 10^{-9}$ m/s. Tale condizione varia tuttavia in relazione al grado di fratturazione ed alla presenza di livelli di arenarie scarsamente cementati, pertanto essa può aumentare raggiungendo l'intervallo compreso tra $10^{-6} \div 10^{-9}$ m/s (bassa), così come evidenziato dalla prove di permeabilità tipo Lugeon eseguite.

COMPLESSI IDROGEOLOGICI

Complesso idrogeologico e relativo grado di permeabilità (m/s)				Descrizione dei complessi idrogeologici	Unità litostratigrafica (cfr. Carta Geologica)
Alto $K > 10^{-4}$	Medio $K = 10^{-4} \div 10^{-6}$	Basso $K = 10^{-6} \div 10^{-9}$	Molto basso $K < 10^{-9}$		
C1	Aumento della frazione sabbiosa			Depositi alluvionali attuali, ciottolosi, ghiaiosi e sabbiosi	Ca, Aa, Ar
	C2			Riporti di origine antropica scarsamente classati e caratterizzati da componente sabbioso-limoso con ghiaie e ciottoli	h
	C3	Aumento della frazione limo-argillosa		Depositi eluvio-colluviali a componente sabbioso-limoso e talora argillosa	e-c
		Fratturate e maggiormente arenacee	C4	Alternanza di arenarie, siltiti, peliti e marne, da poco a molto fratturate.	ROC

Figura 41. Suddivisione delle unità litostratigrafiche in complessi idrogeologici e relative caratteristiche. Stralcio della legenda della Carta Idrogeologica (cod. el. T00GE00GEOCI01A-5A)..

8 SISMICITA'

Il presente Capitolo illustra le caratteristiche sismotettoniche dell'area in esame. Nei successivi paragrafi verranno quindi descritte le sorgenti sismogenetiche prossime all'area in esame, sarà analizzata la sismicità storica ed infine verrà valutata la pericolosità sismica dell'area.

8.1 *Inquadramento sismotettonico*

Per inquadrare sismotettonicamente l'area in esame sono stati consultati i database messi a disposizione dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (nel prosieguo INGV) e dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (nel prosieguo ISPRA).

Di seguito vengono dettagliati gli elementi di maggiore interesse, suddivisi in base alla fonte documentale:

- Inventario delle sorgenti sismogenetiche (DISS);
- Database delle faglie capaci (ITHACA).

8.1.1 *Inventario delle sorgenti sismogenetiche (DISS)*

L'Inventario delle Sorgenti Sismogenetiche in Italia dell'INGV (Database of Individual Seismogenic Sources – DISS), versione aggiornata al giugno 2015, è un catalogo degli elementi in grado di generare terremoti di magnitudo $\geq 5,5$ gradi sul territorio nazionale e nelle aree circostanti. Analizzando il territorio ligure-padano (vedi **Figura 42**) si può notare che le sorgenti sismogenetiche composite più vicine all'area in esame sono rappresentate da (vedi **Figura 43**):

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41
Progetto Definitivo

- Lunigiana situata a circa 35 km in linea d'aria;
- Promontorio di Imperia situato a circa 55 km in linea d'aria;
- Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga situato a circa 60 km in linea d'aria.

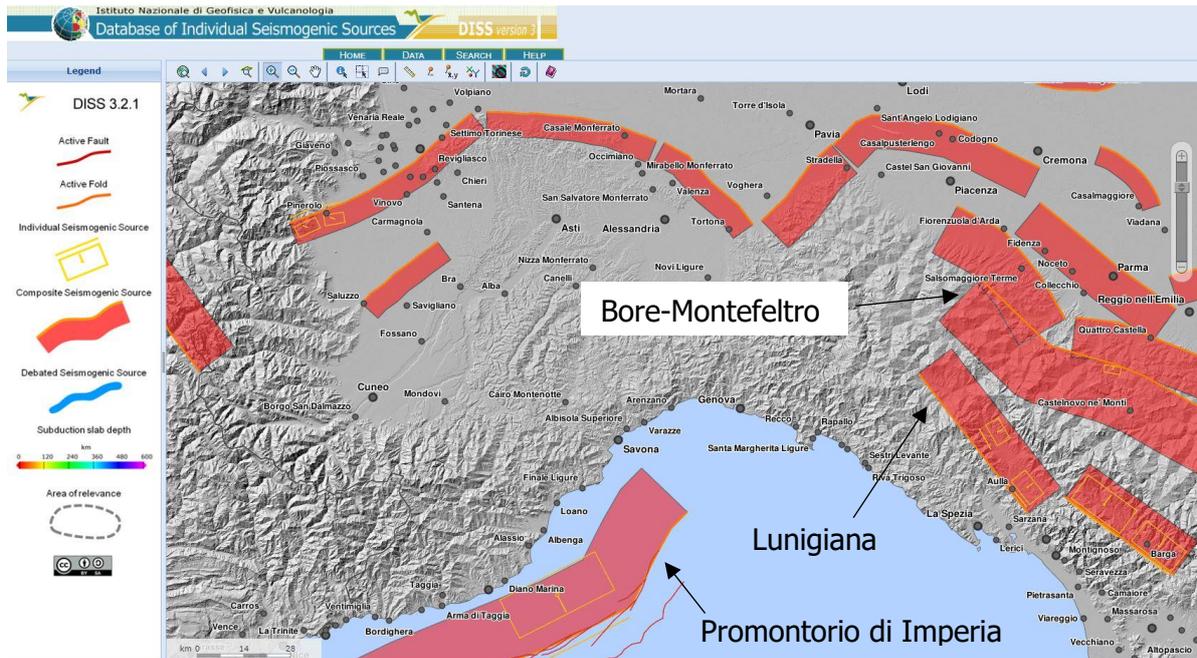


Figura 42. Database delle Sorgenti Sismogenetiche in Italia, nella versione webgis fornita dall'INGV. Stralcio del settore ligure-padano. Immagine non in scala.

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41
Progetto Definitivo

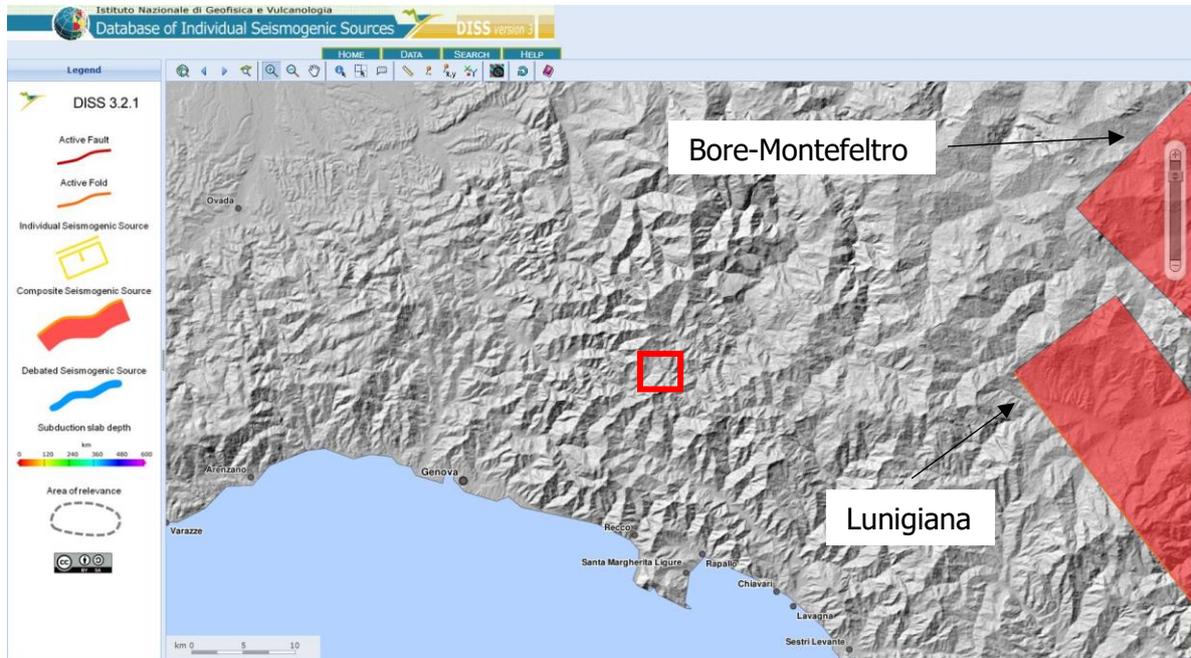


Figura 43. Sorgenti sismogenetiche composite (in rosso) per l'area ligure di levante. Nel rettangolo rosso ricade il territorio di Torriglia. Immagine non in scala.

La sorgente **Lunigiana** è costituita da una cintura estensionale che costituisce il prolungamento nordoccidentale del sistema di faglie Etrusco immergente verso NE ed indicativo del limite nordoccidentale della porzione di appennini caratterizzata da dinamica estensionale.

I cataloghi storici e strumentali mostrano una media sismicità ($4,5 < M_w < 5$) legata a tale sorgente, segnalando inoltre i seguenti eventi:

- 7 Maggio 1481 caratterizzato da M_w 5,8;
- 14 Febbraio 1834 caratterizzato da M_w 5,6.

Nella tabella seguente sono riassunti i parametri di riferimento la sorgente in esame.

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

Tabella 2. Dati parametrici relativi alla sorgente Lunigiana

Parametro	Valore	U. M.	Origine del dato
Profondità minima	1,0	Km	Ricavato da dati geologici e sismologici riportati da Solarino (2007)
Profondità massima	10,0	Km	Ricavato da dati geologici e sismologici riportati da Solarino (2007)
Direzione	310 – 330	°	Ricavato da dati geologici riportati in Galadini et al. (2005)
Inclinazione	30 – 45	°	Ricavato da dati geologici e sismologici riportati da Solarino (2007)
Rake	260 – 280	°	Ricavato da dati geologici
Tasso di movimento	0,1 – 1,0	mm/anno	Valore sconosciuto, ricavato sulla base dell'assetto geomeccanico
Massima magnitudo	6,0	Mw	Assunto da dati sismologici regionali

La sorgente denominata **promontorio di Imperia** si colloca a pochi chilometri dalla costa italo-francese ed è caratterizzata da direzione NE-SW, immersione verso Nord/NW e cinematisimo inverso. Tale sorgente identifica una delle aree sismicamente più attive del mediterraneo occidentale ed è chiaramente associata ad una compressione orientata in direzione Nord-Sud o NW-SE.

I cataloghi storici e strumentali evidenziano terremoti caratterizzati da intensità da media ($4,5 < M_w < 5$) ad elevata legati a tale sorgente, segnalando inoltre i seguenti eventi distribuiti da Ovest verso Est:

- 23 Febbraio 1818 caratterizzato da M_w 5,8;
- 26 Maggio 1831 caratterizzato da M_w 5,5;

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

- 29 Dicembre 1854 caratterizzato da Mw 5,8;
- 23 Febbraio 1887 caratterizzato da Mw 6,6 e associato allo sviluppo di un modesto tsunami.

Nella tabella seguente sono riassunti i parametri di riferimento la sorgente in esame.

Tabella 3. Dati parametrici relativi alla sorgente promontorio di Imperia

Parametro	Valore	U. M.	Origine del dato
Profondità minima	2,5	Km	Basato su dati geologici e morfobatimetrici (Larroque et. al. 2011)
Profondità massima	15,0	Km	Assunto pari alla base della crosta inferiore
Direzione	200 - 250	°	Basato su dati geologici e morfobatimetrici (Larroque et. al. 2011)
Inclinazione	25 - 50	°	Ipotizzato sulla base di dati geofisici
Rake	80 - 100	°	Ipotizzato sui dati di stress
Tasso di movimento	0,1 - 0,25	mm/anno	Ipotizzato sulla base di dati topografici e geologici forniti da vari autori
Massima magnitudo	6,6	Mw	Ipotizzato a partire dal più grande evento sismico riconosciuto nell'area

La sorgente denominata **Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga** è ritenuta essere la porzione di ramp di un thrust principale emergente in corrispondenza della linea di costa adriatica.

In corrispondenza dell'area marchigiana sono stati rilevati terremoti distruttivi in corrispondenza delle seguenti date:

- 1741 Fabriano caratterizzato da M 6,2;
- 1781 Cagli caratterizzato da M 6,2;

- 1799 Camerino caratterizzato da M 5,8;
- 1873 Sarnarno caratterizzato da M 6,0.

Nella tabella seguente sono riassunti i parametri di riferimento la sorgente in esame.

Tabella 4. Dati parametrici relativi alla sorgente Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga.

Parametro	Valore	U. M.	Origine del dato
Profondità minima	12	Km	Basato su vincoli strutturali e geodinamici
Profondità massima	22	Km	Basato su vincoli strutturali e geodinamici
Direzione	90 - 160	°	Basato su vincoli strutturali e geodinamici
Inclinazione	20 - 55	°	Basato su vincoli strutturali e geodinamici
Rake	70 - 110	°	Ipotizzato sulla base di dati geologici
Tasso di movimento	0,1 – 0,5	mm/anno	Sconosciuto, valore assunto sulla base di vincoli geodinamici
Massima magnitudo	6,2	Mw	Derivato sulla base della massima magnitudo di sorgenti individuali associate alla sorgente

8.1.2 Database delle faglie capaci (ITHACA)

Il Catalogo ITHACA è un database in continuo aggiornamento delle faglie attive e capaci presenti sul territorio nazionale, ovvero le faglie in grado di provocare deformazione tettonica permanente in superficie.

Come si può notare dalla figura seguente l'area in esame non risulta interessata dalla presenza di alcuna faglia attiva e capace, in quanto la struttura più prossima, la faglia Oramara caratterizzata da lunghezza stimata pari a 12km e direzione N120E, si situa a circa 8 km di distanza dall'area in esame in direzione NE (vedi **Figura 44**).

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41
Progetto Definitivo

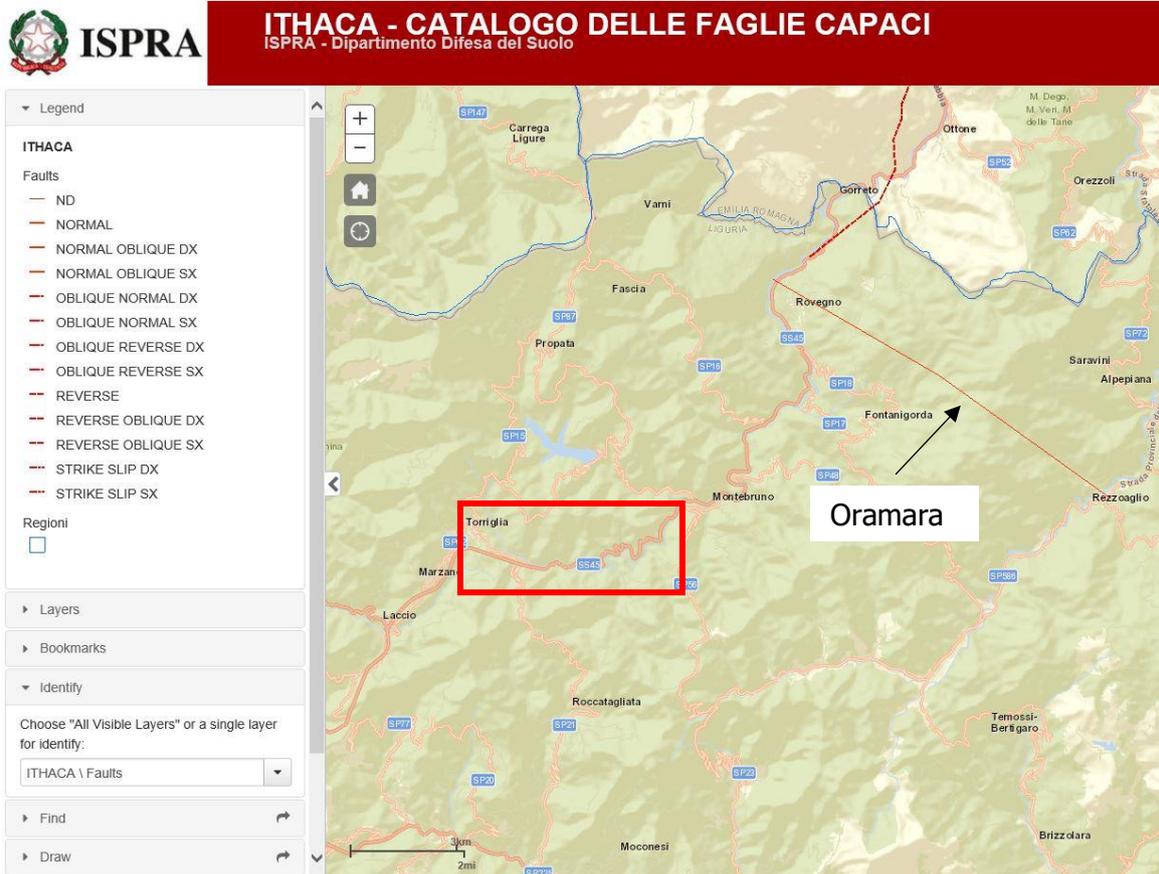


Figura 44. Faglie attive e capaci presenti nelle vicinanze dell'area in esame (in rosso). Nel rettangolo rosso ricade il territorio di Torriglia. Immagine non in scala.

8.2 ***Sismicità storica e recente***

I dati relativi alla **sismicità storica** per il territorio di Torriglia sono stati ricavati dalla consultazione del Database Macrosismico Italiano (DBMI15) dell'INGV; tale documento riporta infatti un set di dati di intensità macrosismica relativa ai terremoti italiani avvenuti nella finestra temporale compresa tra gli anni 1000-2014.

Tale catalogo fornisce i dati di intensità macrosismica, ovvero degli effetti risentiti a causa del terremoto, che convenzionalmente viene misurata dalla scala Mercalli (o MCS: Mercalli – Cancani – Sieberg, gli scienziati che l'hanno ideata). Questa, al crescere della percezione e del danneggiamento, assegna al sisma un valore crescente espresso in numeri romani. Il DBMI15 presenta le intensità macrosismiche adottando lo standard proposto dall'European Archive of Historical Earthquake (AHEAD), cioè utilizzando numeri arabi interi. Nel caso di attribuzioni incerte, vengono riportati i due estremi separati da un trattino (es.: 5-6, 7-8).

Tabella 5. Scheda per la località di Torriglia del DBMI15. La colonna "Int." riporta il valore di intensità macrosismica per il territorio in esame relativi a specifici eventi sismici. Il valore "NF" indica che il fenomeno non è stato percepito da nessuno. Le colonne "Anno", "Mese", "Gior", "Ora", "Min" e "Sec" forniscono le coordinate temporali dell'evento, ovvero anno, mese, giorno, ora, minuti, e secondi. La colonna "NMDP" indica il numero di Macrosismic Data Point riferiti all'evento in esame, ovvero al numero di punti geografici in cui è stata effettuata una rilevazione dell'intensità macrosismica del terremoto. La colonna "Io" definisce il grado di intensità macrosismica dell'evento in corrispondenza dell'epicentro. Infine, la colonna "Mw" riporta in valore di Magnitudo momento del sisma. (Fonte immagine: http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/).

S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Comuni di Torrighia e Montebruno
 dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
 2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

Int	Anno Mese Gior Ora Min Sec	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5-6	1887 02 23 05 21 50.00	Liguria occidentale	1511	9	6,27
NF	1897 07 06 20 44	Mar Ligure	62	5	4,22
3	1898 03 04 21 05	Parmense	313	7-8	5,37
3	1901 01 23 00 17 10.00	Oltrepò Pavese	90	5	4,23
NF	1903 07 27 03 46	Lunigiana	79	7-8	5,19
NF	1904 06 10 11 15 28.00	Frignano	101	6	4,82
NF	1906 08 11 09 58	Liguria occidentale	82	5	4,41
NF	1906 11 10 17 55	Alta Val di Taro	43	5	4,22
NF	1909 05 27 06 10	Liguria occidentale	51	5-6	4,34
4	1910 01 23 01 50	Piacentino	118	5	4,39
4	1910 09 06 03 20	Appennino ligure	19	5	4,13
3	1913 03 27 02 25 44.00	Val Trebbia	58	4-5	4,24
2-3	1913 11 25 20 55	Appennino parmense	73	4-5	4,65
5	1913 12 07 01 28	Valle Scrivia	56	5	4,57
5	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5,63
3	1917 01 07 03 39	Savonese	32	5	4,35
NF	1919 06 29 15 06 13.00	Mugello	565	10	6,38
6	1920 09 07 05 55 40.00	Garfagnana	750	10	6,53
2	1930 05 24 22 02	Appennino tosco-emiliano	43	5	4,91
3	1934 07 06 17 15	Liguria orientale	7	4	3,69
2	1937 12 10 18 04	Frignano	28	6	5,3
3	1963 07 19 05 46 01.50	Mar Ligure	412		5,95
3	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5,04
2	1995 10 10 06 54 21.72	Lunigiana	341	7	4,82
NF	2000 08 21 17 14	Monferrato	595	6	4,94
2-3	2005 04 13 18 46 07.69	Valle del Trebbia	163	4	3,68
NF	2005 04 18 10 59 18.56	Valle del Trebbia	284	4	3,97

L'analisi del DBMI15 per il territorio di Torrighia evidenzia che l'area ha registrato la percezione di eventi sismici nel passato recente (tra il 1910 ed il 2005), con epicentri ubicati

nel settore nord appenninico (**Tabella 5**). In linea generale tutti i fenomeni registrati hanno avuto intensità macrosismica (Int) compresa da un minimo di 2 ed un massimo di 6 (vedi **Figura 45**); per diversi eventi non vi è stata percezione del sisma (NF in tabella). I due terremoti di magnitudo maggiori sono stati gli eventi del 7 settembre 1920 (epicentro Garfagnana, Mw 6,53) e del 23 febbraio 1887 (epicentro Liguria occidentale, Mw 6,27).

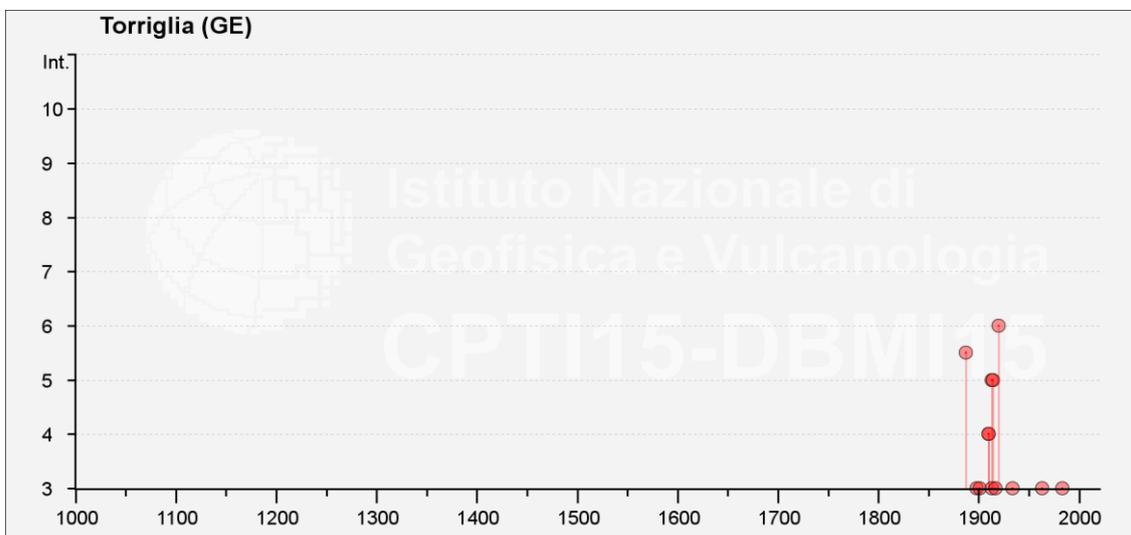


Figura 45. Grafico Intensità macrosismica/tempo che individua gli eventi sismici percepiti nell'area di Torriglia.

Per quanto concerne invece la **sismicità recente** è stato consultato il database aggiornato in tempo reale del Centro Nazionale Terremoti dell'INGV; tale database ha quindi permesso di ricavare l'elenco dei sismi registrati sull'intero territorio nazionale e aree limitrofe a partire dal 21 Gennaio 1985.

È stata quindi effettuata la ricerca per l'area di Torriglia, impostando un raggio di 50 km a partire da tale località. Il periodo di osservazione prescelto va dal 21 Gennaio 1985 al

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

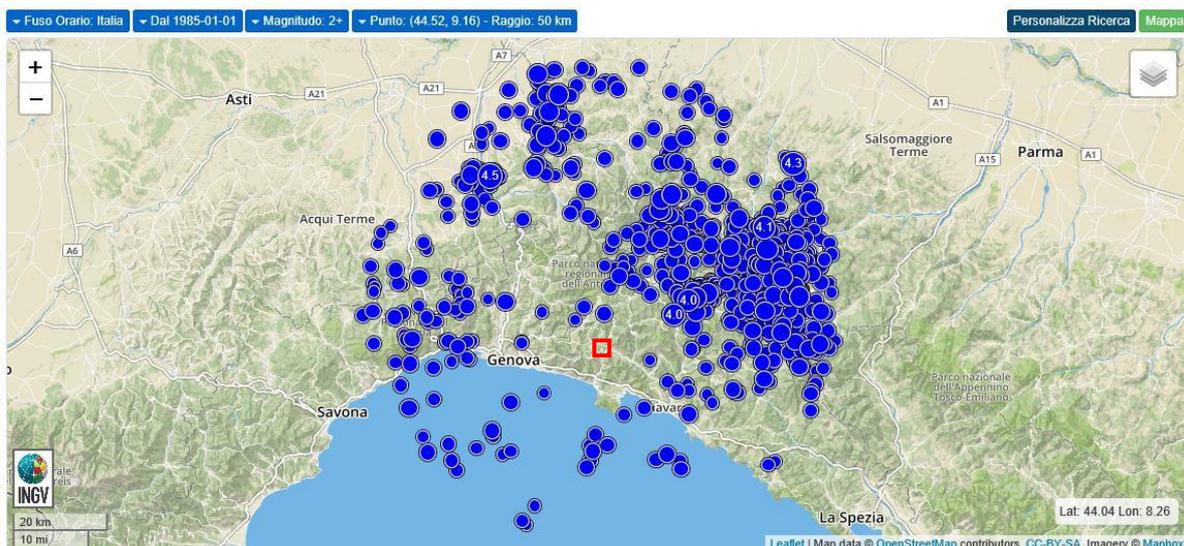
Progetto Definitivo

Settembre 2018. Sono stati ricercati tutti gli eventi con magnitudo locale ML superiore a 2 ed ipocentro con profondità compresa tra 10 e 1000 Km. Per una immediata visualizzazione e lettura dei dati, sono stati plottati su mappa (**Figura 46** e **Figura 47**).

Il database mette in evidenza come, nell'arco di tempo investigato, siano avvenuti terremoti in area relativamente vicine, ma caratterizzati da magnitudo sempre $\leq 4,5$ Mw (vedi **Figura 48**). In particolare per quanto concerne i principali terremoti avvenuti nelle vicinanze dell'area in esame entro un raggio di ricerca circolare pari a 50 km si possono citare:

- Il sisma avvenuto presso Rezzoaglio in data 5/3/2012 caratterizzato da Mw 4,0;
- Il sisma avvenuto presso Rezzoaglio in data 20/10/2011 caratterizzato da ML 4,0.

Analizzando la distribuzione degli epicentri riportati nelle figure seguenti si può osservare che essi sono coerenti con l'ubicazione delle principali sorgenti sismogenetiche e faglie attive presenti in zona.



S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

Figura 46. Mappa fornita dal Centro Nazionale Terremoti dell'INGV nell'intorno di 50 Km dalla città di Torriglia (rettangolo rosso). Ogni pallino blu indica un epicentro; per gli eventi che superano 4 Mw viene fornita la relativa magnitudo.

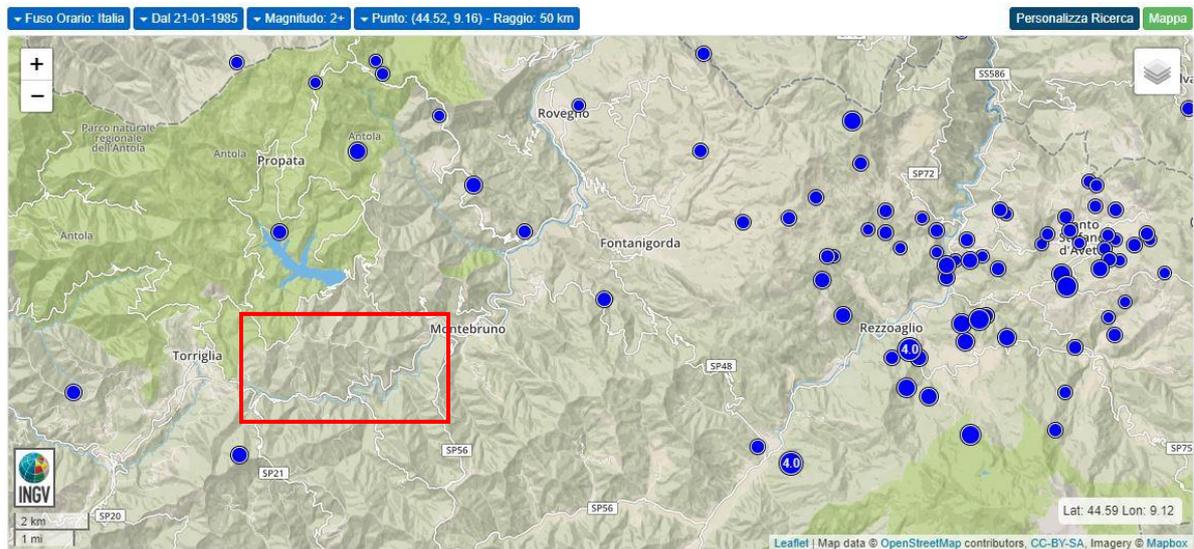


Figura 47. Dettaglio di Figura 46 con evidenti i sismi (MW 4,0) avvenuti nell'area di Rezzoaglio (GE). Immagine non in scala.

S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Comuni di Torriglia e Montebruno
 dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
 2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

Visualizzati terremoti da 1 a 30 dei **806** trovati (Ordinamento Magnitudo Decrescente) Esporta lista (UTC) ▾

Data e Ora (Italia)	Magnitudo	Zona	Profondità	Latitudine	Longitudine
2003-04-11 11:26:57	Md 4.5	1 km SE Cassano Spinola (AL)	8	44.76	8.87
2012-10-03 16:41:29	Mw 4.3	5 km E Bettola (PC)	24	44.78	9.67
1985-08-15 20:58:05	Md 4.1	6 km S Farini (PC)	10	44.66	9.59
2012-03-05 16:15:06	Mw 4.0	5 km SW Rezzoaglio (GE)	11	44.49	9.35
2011-10-20 08:11:18	ML 4.0	1 km SE Rezzoaglio (GE)	5	44.52	9.39
1985-08-16 21:39:36	Md 3.9	9 km E Ferriere (PC)	9	44.62	9.60
2005-04-18 12:59:18	ML 3.7	3 km W Corte Brugnatella (PC)	8	44.72	9.35
2012-02-29 16:34:58	ML 3.7	1 km NE Casasco (AL)	15	44.83	9.02
2011-10-20 08:10:51	ML 3.7	2 km E Rezzoaglio (GE)	8	44.53	9.42
1985-08-18 15:10:16	Md 3.7	4 km NE Compiano (PR)	9	44.53	9.69
2013-11-22 20:50:24	ML 3.7	2 km NW Godiasco Salice Terme (PV)	21	44.91	9.05

Figura 48. Lista dei terremoti registrati dal Centro Nazionale Terremoti dell'INGV nell'intorno di 50 Km dalla città di Torriglia, caratterizzati da Mw ≥ 3.7.

8.3 Pericolosità sismica

La pericolosità sismica rappresenta una stima quantitativa dello scuotimento del terreno dovuto a un evento sismico, in una determinata area. Essa può quindi essere definita come il "grado di probabilità che si verifichi, in una determinata area ed in un determinato periodo di tempo, un evento sismico dannoso con l'insieme degli effetti geologici e geofisici ad esso connessi, senza alcun riguardo per le attività umane".

Tale valutazione può essere effettuata con metodi deterministici, assumendo un determinato terremoto di riferimento, oppure con metodi probabilistici, nei quali le incertezze dovute alla grandezza, alla localizzazione e al tempo di occorrenza del terremoto sono esplicitamente considerati.

L'analisi del livello di pericolosità sismica distingue quindi due fasi:

- la definizione della pericolosità sismica di base, in condizioni di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A secondo le NTC 08 e 18), in assenza di discontinuità stratigrafiche e/o morfologiche;
- l'analisi della pericolosità locale, ossia della modificazione locale dello scuotimento sismico prodotta dalle reali caratteristiche del terreno, dalla successione litostratigrafia locale, dalle condizioni morfologiche, unitamente alla possibilità di sviluppo di effetti cosismici: fagliazione superficiale, fenomeni di densificazione, fenomeni di liquefazione, cedimenti differenziali, instabilità dei pendii e frane indotte dal sisma, movimenti gravitativi profondi, tsunami, ecc.

In dettaglio la pericolosità sismica di base rappresenta quindi una componente della pericolosità sismica precedentemente descritta, dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti). La pericolosità sismica di base calcola (generalmente in maniera probabilistica), per una certa regione e in un determinato periodo di tempo, i valori di parametri corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza. Tali parametri (velocità, accelerazione, intensità, ordinate spettrali) descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto in condizioni di suolo rigido e senza irregolarità morfologiche (terremoto di riferimento).

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), recependo i suggerimenti della Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile, ha coordinato la redazione della mappa di pericolosità sismica di riferimento per l'individuazione delle zone sismiche, richiesta dall'ordinanza del P.C.M. datata 20 marzo 2003 n° 3274, All. 1.

A scala nazionale l'INGV ha quindi provveduto a stimare l'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido e pianeggiante a_g , corrispondente a quella che in ambito internazionale viene chiamata PGA, che costituisce il principale parametro descrittivo della pericolosità di base.

Tale parametro, la cui unità di misura è l'accelerazione di gravità $g=9.8 \text{ m/s}^2$, utilizzato anche per la definizione dell'azione sismica di riferimento per opere ordinarie (Classe II delle Norme Tecniche per le Costruzioni), convenzionalmente rappresenta l'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido e pianeggiante che, in un intervallo di tempo di 50 anni, ha una probabilità del 10% di superare il valore indicato, per effetto di sismi di intensità maggiore rispetto a quelli considerati per la classificazione del territorio.

Negli ultimi anni il quadro normativo italiano in merito alla definizione della pericolosità sismica di base ha visto l'emanazione di diversi provvedimenti normativi ed amministrativi per la definizione delle caratteristiche di pericolosità sismica locale. Con l'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*", che rispondeva alla necessità di aggiornare gli strumenti normativi per la riduzione del rischio sismico, si stabiliscono i criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la nuova classificazione sismica dei comuni italiani, successivamente integrati e aggiornati dall'OPCM 3519/06.

L'intero territorio nazionale viene così suddiviso in 4 zone sulla base di un differente valore dell'accelerazione di picco a_g su terreno a comportamento rigido, derivante da studi

predisposti dall'INGV-DPC. Gli intervalli di accelerazione (a_g) con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni sono stati rapportati alle 4 zone sismiche indicate dall'OPCM 3519/06 (vedi **Tabella 6**).

Contestualmente alla redazione della mappa della pericolosità di base, le ordinanze del P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003 e n° 3519 del 28/04/2006 hanno inoltre delineato i criteri per la nuova classificazione sismica di tutto il territorio nazionale basandosi proprio sui valori di a_g espressi.

Tale classificazione è basata su un'approssimazione dei valori e della distribuzione del parametro a_g secondo i limiti amministrativi (criterio "zona dipendente"). La rappresentazione di sintesi delle caratteristiche sismologiche e sismogenetiche del territorio è contenuta nella "Mappa di Pericolosità Sismica del territorio nazionale" dell'Italia, elaborata secondo l'Ordinanza PCM del 28 aprile 2006, n. 3519.

Tabella 6. Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido di riferimento.

ZONA SISMICA	ACCELERAZIONE CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI (a_g)
1	$a_g > 0,25$
2	$0,15 < a_g \leq 0,25$
3	$0,05 < a_g \leq 0,15$
4	$a_g \leq 0,05$

La nuova classificazione sismica del territorio nazionale prevede quindi le seguenti tipologie di zone:

- Zona 1 - È la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.

- Zona 2 - Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti.
- Zona 3 - I comuni inclusi in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.
- Zona 4 - È la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto (accelerazione del moto del suolo, intensità al sito, spettro di sito) viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (riportato nella tabella 1 dell'Allegato B del D.M. 14 gennaio 2008).

L'approccio "sito dipendente" della nuova normativa permette di riferirsi, per ogni costruzione, ad un'accelerazione di riferimento propria in relazione sia alle coordinate geografiche dell'area di progetto, sia alla vita nominale dell'opera stessa. In quest'ottica la classificazione sismica del territorio rimane utile, dal punto di vista amministrativo, per la gestione pianificatoria e di controllo dello stesso.

Esaurito un inquadramento generale circa la stima della pericolosità sismica, nei successivi paragrafi verrà effettuata un'analisi di disaggregazione propedeutica alla successiva valutazione della pericolosità sismica di base.

8.3.1 Analisi di disaggregazione

Per la definizione della pericolosità sismica dell'area di Torriglia è stata quindi inizialmente valutata la magnitudo momento dell'evento sismico atteso sulla base dei dati

forniti dallo studio di Spallarossa e Barani (2007) "Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R- ϵ ".

Come spiegano gli Autori: *"La disaggregazione (o deaggregazione) della pericolosità sismica (McGuire, 1995; Bazzurro and Cornell, 1999) è un'operazione che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M. Espresso in altri termini il processo di disaggregazione in M-R fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso. Analogamente alla disaggregazione in M-R è possibile definire la disaggregazione tridimensionale in M-R- ϵ dove ϵ rappresenta il numero di deviazioni standard per cui lo scuotimento (logaritmico) devia dal valore mediano predetto da una data legge di attenuazione dati M ed R."*

Dall'analisi di disaggregazione si osserva che per l'area di Torriglia il terremoto di scenario è caratterizzato da una magnitudo momento di 4,81 Mw, ed una distanza di 13,3 km (**Figura 51**).

S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Comuni di Torriglia e Montebruno
 dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
 2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41
 Progetto Definitivo

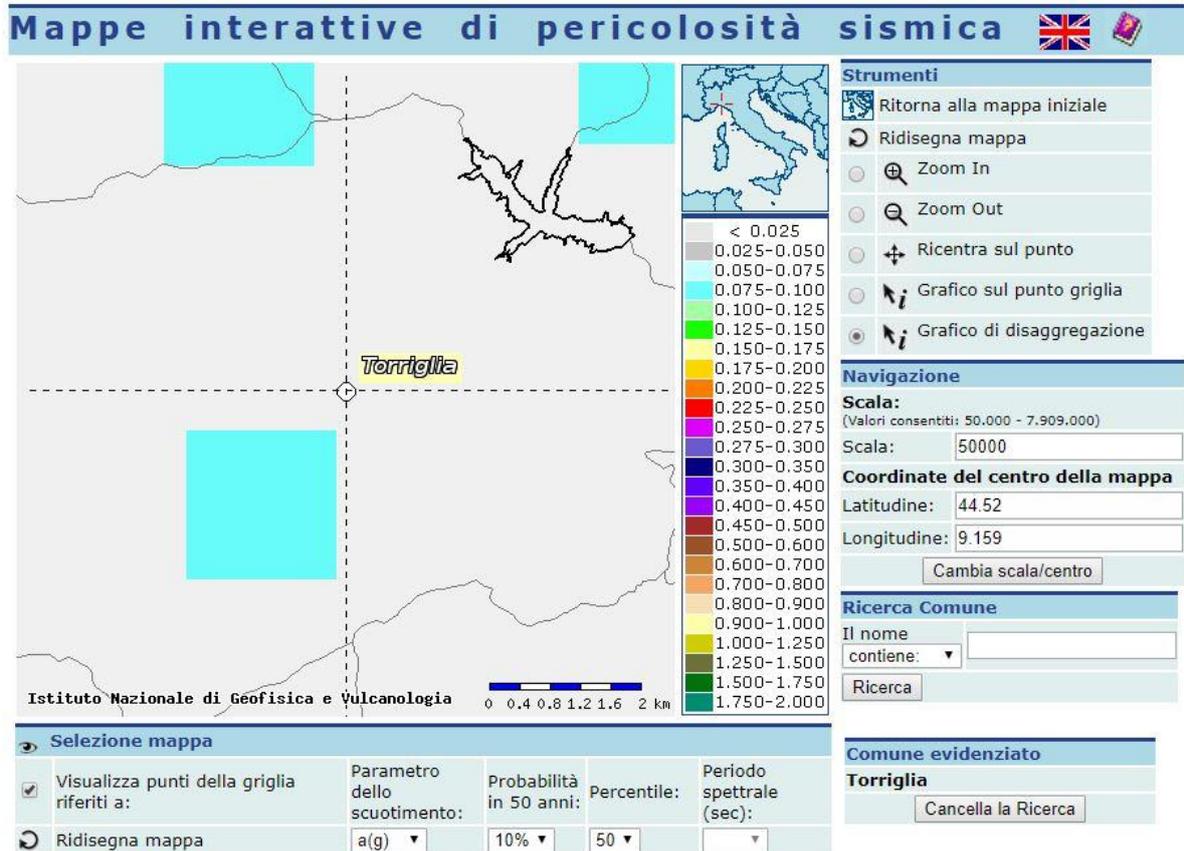


Figura 49. Mappa interattiva di pericolosità sismica di base per l'area di Torriglia ricavata dal sito INGV.

S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Comuni di Torriglia e Montebruno
 dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
 2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

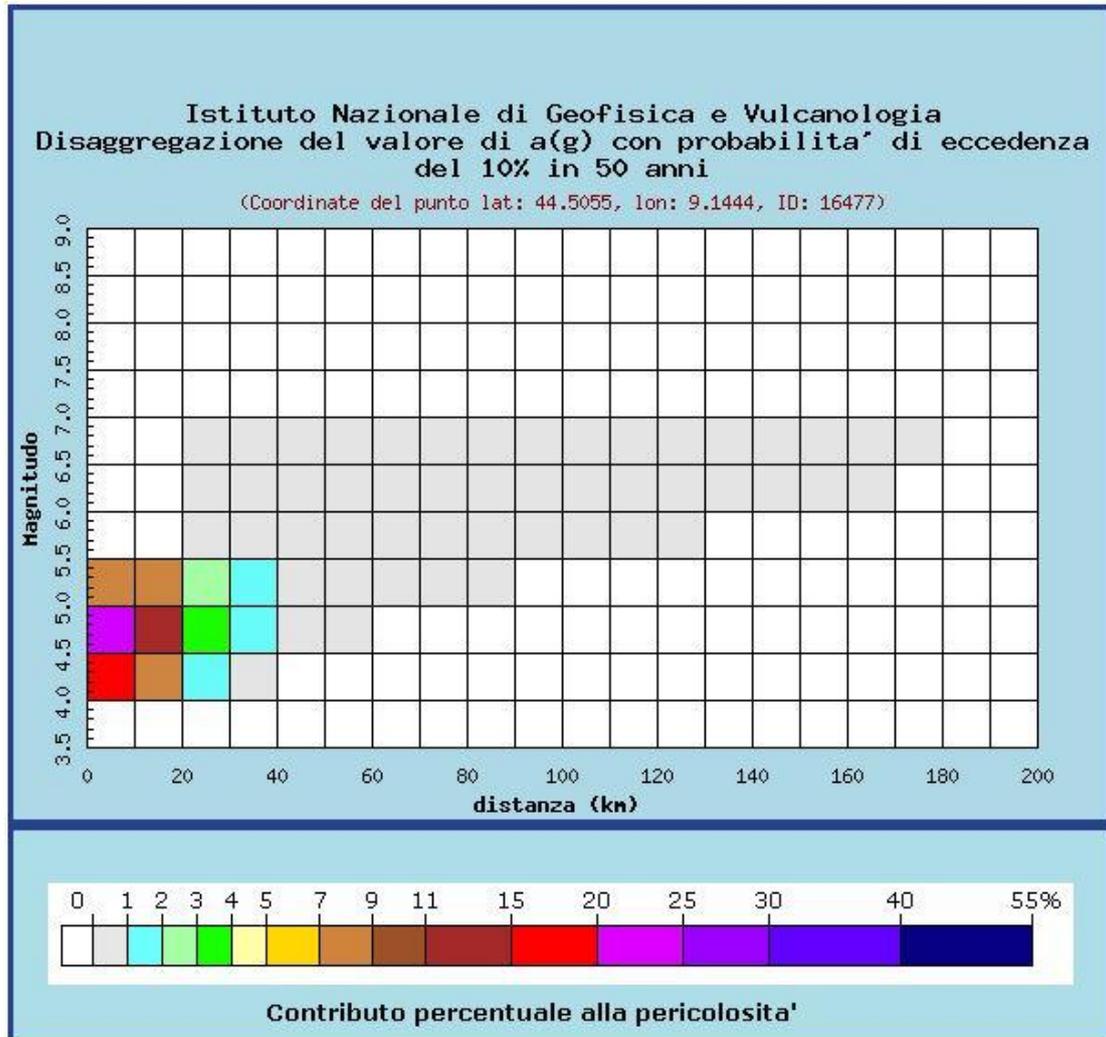


Figura 50. Grafico di disaggregazione della pericolosità sismica per il nodo più prossimo a Torriglia.

S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Comuni di Torriglia e Montebruno
 dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
 2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.5055, lon: 9.1444, ID: 16477)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	18.900	24.900	8.520	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	8.060	14.600	7.660	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	1.360	3.600	2.880	0.246	0.164	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.108	1.130	1.710	0.919	0.716	0.110	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.124	0.746	0.684	0.626	0.107	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.004	0.225	0.357	0.321	0.061	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.042	0.168	0.159	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.008	0.095	0.120	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.002	0.056	0.106	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	0.084	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.061	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.042	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.810	13.300	0.671

Figura 51. Valori di disaggregazione del parametro ag per l'area di Torriglia per fenomeni con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

8.3.2 Pericolosità sismica di base e classificazione sismica del territorio

Per la definizione della pericolosità sismica di base sono state consultate le "Mappe interattive di pericolosità sismica" fornite dall'INGV per eventi con probabilità di superamento in 50 anni del 10% e 50° percentile (vedi **Figura 49**).

Secondo l'approccio "sito dipendente", implementato in tale documento, i valori di accelerazione massima al sito (a_g) di Torriglia attesi sono quindi compresi tra $0,0758 \div 0,1g$.

Tale valore di accelerazione dovrà tuttavia essere opportunamente corretto in funzione delle locali condizioni geologiche e topografiche in grado di influire sugli effetti sismici a carico delle opere in progetto. In seguito ad una analisi delle condizioni stratigrafico-geomorfologiche attese lungo il tracciato si segnala quanto segue:

- in corrispondenza della pila centrale del Viadotto Trebbia (Pr. 0+080 km della prima tratta) potrebbero verificarsi delle amplificazione localizzate del moto sismico causate dalla presenza di uno stretto fondovalle alluvionale colmato da depositi detritici non cementati;
- la spalla del Viadotto n°2 collocata alla Pr. 1+013 km lungo il secondo tratto è impostata in sovrapposizione ad una dorsale sulla quale possono verificarsi fenomeni di amplificazione topografica;
- la spalla del Viadotto n°3 collocata alla Pr. 1+489 km lungo il secondo tratto è impostata in sovrapposizione ad una dorsale sulla quale possono verificarsi fenomeni di amplificazione topografica;
- tutte le restanti opere verranno realizzate presso versanti caratterizzati da inclinazione superiore a 15° , pertanto tali condizioni dovranno essere attentamente valutate in sede di determinazione dell'azione sismica locale.

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

Per quanto concerne invece la classificazione sismica del territorio, in seguito all'emanazione dei criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche da parte dello Stato (inseriti prima nell'allegato 1 dell'OPCM 3274/03 e in seguito aggiornati con l'OPCM 3519/06) la Regione Liguria ha individuato le zone sismiche e ha stilato un elenco regionale dei comuni in zona sismica (DGR n.530/2003). Con l'ufficializzazione della mappa di pericolosità sismica pubblicata dall'Istituto nazionale di geologia e vulcanologia (INGV) e allegata alla stessa OPCM 3519/06 è stata approvata con DGR n. 1308 del 24 ottobre 2008 (pubblicata sul BURL n. 47 del 19 novembre 2008) la nuova classificazione sismica della Regione Liguria, successivamente modificata con DGR n. 1362 del 19 novembre 2010 e con DGR n. 216 del 17 marzo 2017.

In seguito al DGR 216/17 i Comuni dell'alta Val Trebbia (Toriglia, Montebruno e Rovegno) interessati dall'opera in progetto sono stati quindi inseriti in classe sismica 3 con PGA = 0,15g, ovvero sismicità medio-bassa con possibilità di forti terremoti, ma rari.

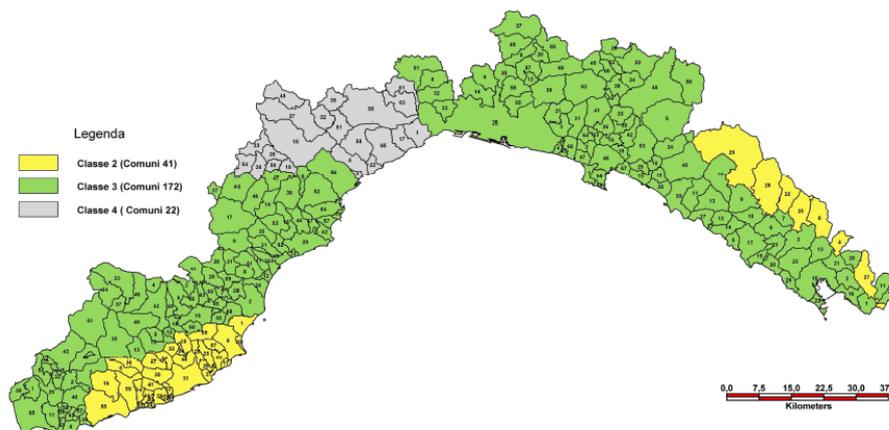


Figura 52. Classificazione sismica della Regione Liguria. La figura è stata tratta dal Bollettino Ufficiale della Regione Liguria n. 216 del 17/03/17

9 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la redazione del presente Progetto Definitivo è stata progettata e realizzata nel mese di Marzo - Giugno 2014, da parte della società Terra S.r.l di Vado Ligure, una campagna di indagine geognostica completa anche di prove geofisiche e determinazioni di laboratorio, volta a coadiuvare la definizione del modello geologico di riferimento dell'area interessata dal progetto stesso.

L'obiettivo è stato, quindi, quello di definire la successione stratigrafica dei terreni che insistono nel territorio esaminato, con una valutazione delle loro caratteristiche fisiche, di resistenza e di deformabilità.

In aggiunta sono state definite le caratteristiche dinamiche dei terreni stessi, attraverso prove geofisiche di tipo Down-Hole, che hanno anche consentito di definire i parametri sismici previsti dalla normativa vigente.

La **Tabella 7** riporta l'elenco dei sondaggi geognostici eseguiti entro l'area studiata con l'indicazione della profondità di indagine raggiunta da ognuno di essi, l'attrezzatura installata, le prove eseguite in foro ed il numero di campioni raccolti. In **Tabella 8** sono state invece riassunte le indagini geofisiche eseguite, costituite da stendimenti di sismica a rifrazione con elaborazione tomografica dei dati, alle quali vanno aggiunte le prove tipo Down Hole.

Per maggiori dettagli sui sondaggi e su tutte le altre lavorazioni eseguite si rimanda agli elaborati progettuali "Documentazione indagini geognostiche" (cod. T00GE00GEORE04A),

S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Comuni di Torriglia e Montebruno
 dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
 2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

"Documentazione prove di laboratorio" (cod. T00GE00GEORE05A) e "Documentazione prove geofisiche" (cod. T00GE00GEORE06A).

Tabella 7. Sondaggi geognostici eseguiti entro l'area in esame. DH= Down Hole; SPT=prova Standard Penetration Test; DIL= prova dilatometrica in foro; LU=prova di permeabilità Lugeon; RIM= campioni rimaneggiati.

Sigla	Profondità (m)	Quota (m s.l.m.)	Orientazione	Attrezzatura	Prove in foro	Campioni
S4_pz	30	769	Verticale	Piezometro Casagrande a 30m	1 SPT e 1 LU	10 RIM
S5_DH	30	792	Verticale	Tubo in PVC per DH	2 DIL	9 RIM
S6 h	9,7	788	Orizzontale	-	-	-
S7_DH	35	766	Verticale	Tubo in PVC per DH	2 SPT e 1 LU	10 RIM
S8_DH	35	749	Verticale	Tubo in PVC per DH	1 SPT	11 RIM

Tabella 8. Indagini sismiche realizzate con elaborazione tomografica e registrazione delle onde Vp e Vs.

Sigla	Lunghezza (m)	Numero geofoni	Distanza intergeofonica (m)	Note
LS 01	69	24	3	Somma di due spezzoni Tr1+Tr2
LS 02a	55	12	5	-
LS 02b	55	12	5	-
LS 03a	55	12	5	-
LS 03b	55	12	5	-

Sigla	Lunghezza (m)	Numero geofoni	Distanza intergeofonica (m)	Note
LS 04a	69	24	3	-
LS 04b	55	12	5	-

9.1 **Indagini dirette - Sondaggi**

Analizzando i sondaggi eseguiti (vedi **Tabella 9**) si può notare che tutte le perforazioni hanno raggiunto il substrato roccioso (ROC) collocato ad una profondità compresa tra 4,6 - 5,35 m di profondità; è inoltre possibile notare che in genere i primi 2-3m di substrato si presentano fortemente alterati, fratturati e caratterizzati da fratture ossidate e talvolta riempite di limo-sabbioso/argilloso. In tale livello alterato è stata inoltre osservata la presenza di livelli decimetrici costituiti da substrato intensamente fratturato e ridotto generalmente in clasti di dimensioni centimetriche (vedi **Figura 53**).

Superata tale fascia alterata si passa ad un ammasso roccioso non alterato, fortemente stratificato e costituito da alternanze regolari di livelli arenaceo-siltitici e livelli pelitico-argillitici. La porzione di ammasso non alterata ha evidenziato una fratturazione regolare sviluppata prevalentemente lungo le superfici di stratificazione (vedi **Figura 54**).

I materiali intercettati a tetto del substrato litoide sono generalmente costituiti da limi sabbiosi con ghiaie di colore variabile da giallo/rossastro a rosso bruno, fino a marrone (vedi **Figura 55 e Figura 56**). Tali depositi si presentano da mediamente a molto consistenti e talvolta debolmente coesivi, mentre al loro interno sono inoltre presenti clasti di substrato monogenici (costituiti dalla Formazione di Ronco), eterometrici e di forma lamellare. Litostratigraficamente essi possono essere essenzialmente suddivisi in coltri eluvio-colluviali (e-c) e depositi antropici

(h) in ragione della differente genesi in quanto, sovente, le caratteristiche granulometriche (maggiormente riconoscibili in sondaggio rispetto a struttura e tessitura del deposito che risultano invece maggiormente analizzabili in affioramento) tra tali depositi non presentano sostanziali differenze.

La presenza di analogie granulometriche, legata alla genesi dei depositi antropici (descritta nel paragrafo 5.1.4), rende quindi difficoltosa la suddivisione litostratigrafica tra tali unità (coltri eluvio-colluviali e depositi antropici) che risulta sovente di natura concettuale piuttosto che sostanziale.

Si segnala inoltre che non è stata rilevata la presenza di alcuna falda acquifera nei sondaggi realizzati.

Tabella 9. Successione litostratigrafica individuata dalle perforazioni eseguite. Per ogni unità litostratigrafica intercettata è stata riportato l'intervallo intercettato dalle varie perforazioni.

Sigla	Opere di sostegno (m)	Depositi antropici (h) (m)	Coltri eluvio-colluviali (e-c) (m)	Substrato alterato (ROC) (m)	Substrato non alterato (ROC) (m)
S4_pz	-	0-2,4	2,4-4,6	4,6-6,8	>6,8
S5_DH	-	0-5,35	-	5,35-8,85	>8,85
S6 h	0-4,1	-	-	>4,1	-
S7_DH	-	0-5	-	5-6,75	>6,75
S8_DH	-	0-3,25	3,25-4,8	4,8-6	>6

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo



Figura 53. Substrato litoide alterato intercettato nel sondaggio S5_DH tra le profondità di 5,35-8,85m (cassa n° 2).



Figura 54. Substrato litoide non alterato intercettato nel sondaggio S8_DH tra le profondità di 25-30m (cassa n° 6).

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41
Progetto Definitivo



Figura 55. Depositi antropici (h) ed eluvio-colluviali (e-c) intercettati nel sondaggio S4_DH tra le profondità di 0-4,6m (cassa n° 1). Si noti la presenza di una significativa componente limosa nel deposito.



Figura 56. Depositi antropici (h) ed eluvio-colluviali (e-c) intercettati nel sondaggio S8_DH tra le profondità di 0-4,8m (cassa n° 1). Si noti la presenza di una significativa componente ghiaiosa nel deposito.

9.2 **Indagini indirette - Sismica**

Come anticipato le indagini geofisiche eseguite sono state finalizzate sia alla ricostruzione stratigrafica del sottosuolo dell'area in esame, sia alla determinazione delle caratteristiche dinamiche degli stessi.

In particolare gli stendimenti di sismica a rifrazione sono stati opportunamente disposti in modo da determinare un profilo tomografico parallelo alle curve di livello ed uno disposto circa lungo la linea di massima pendenza del versante presso ogni settore investigato.

Considerata la lunghezza delle stese sismiche la massima profondità utile di indagine è spinta a circa 10-17 m, in quanto per gli stendimenti di sismica a rifrazione essa è solitamente riferibile a circa 1/4 – 1/5 della lunghezza dello stendimento stesso.

Tabella 10. Sintesi delle unità sismostratigrafiche rilevate nell'area in esame e delle relative velocità delle onde Vp e Vs ricavate. Le unità riportate sono elencate in ordine di profondità crescente a partire dalla superficie topografica.

Sigla	1° Unità		2° Unità		3° Unità	
	Prof. (Vp) e [Vs] in m	(Vp) e [Vs] in m/s	Prof. (Vp) e [Vs] in m	(Vp) e [Vs] in m/s	Prof. (Vp) e [Vs] in m	(Vp) e [Vs] in m/s
LS 01 – Tr1	(0-4), [0-2]	(500-900), [100-500]	(4-8), [2-10]	(900-2200), [500-1200]	(>8), [>10]	(2200-2400), [>1300]
LS 01 – Tr2	(0-2,5), [0-2]	(300-700), [180-500]	(2,5-7,5), [2-10]	(700-2200), [500-1200]	(>7,5), [>10]	(2200-2400), [>1300]
LS 02a	(0-3,5), [0-1,5]	(500-1000), [120-800]	(3,5-10,5), [1,5-5]	(1000-2700), [800-1700]	(>10,5), [>5]	(2700-3000), [>1800]

S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Comuni di Torriglia e Montebruno
 dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
 2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

Sigla	1° Unità		2° Unità		3° Unità	
	Prof. (Vp) e [Vs] in m	(Vp) e [Vs] in m/s	Prof. (Vp) e [Vs] in m	(Vp) e [Vs] in m/s	Prof. (Vp) e [Vs] in m	(Vp) e [Vs] in m/s
LS 02b	(0-3), [0-2]	(500-1000), [120-500]	(3-13), [2-10]	(1000-2700), [500-1300]	(>13), [>10]	(2700-3000), [>1400]
LS 03a	(0-1,5), [0-2]	(250-1100), [100-800]	(1,5-9,5), [2-10]	(1100-2400), [800-1600]	(>9,5), [>10]	(2400-2700), [>1700]
LS 03b	(0-2,5), [0-2,5]	(250-1100), [100-700]	(2,5-9), [2,5-10]	(1100-2400), [700-1900]	(>9), [>10]	(2400-2700), [1900-2100]
LS 04a	(0-3), [0-1,5]	(300-1000), [100-500]	(3-6), [1,5-8]	(1000-2000), [500-1300]	(>6), [>8]	(2000-2400), [>1400]
LS 04b	(0-3,5), [0-2]	(300-1000), [100-500]	(3,5-9), [2-10]	(1000-2000), [500-1100]	(>9), [>10]	(2000-2400), [>1200]

Analizzando i risultati riportati in **Tabella 10** si può osservare che sono stati individuati 3 sismostrati principali, caratterizzati da caratteristiche sostanzialmente omogenee entro l'intera area in esame.

In dettaglio il 1° sismostrato evidenzia una potenza di circa 1,5-4 m ed è caratterizzato da velocità delle onde di compressione (Vp) inferiore a 1100 m/s ed onde di taglio (Vs) inferiore a 700-800 m/s. Tale sismostrato individua la coltre di depositi detritici presenti nell'area (coltri eluvio-colluviali, depositi alluvionali (s.l.), depositi antropici).

Il 2° sismostrato è caratterizzato da potenza compresa tra circa 4-8m ed è associato a velocità delle onde di compressione (V_p) inferiore a 2000-2200 m/s ed onde di taglio (V_s) inferiore a 1300-1900 m/s. Tale sismostrato è caratterizzato da contatti sfumati con il sottostante strato in quanto individua probabilmente la fascia di substrato roccioso della Formazione di Ronco (ROC) alterato e fratturato.

Il 3° sismostrato si rileva a profondità superiori a 5-10m ed è associato a velocità delle onde di compressione (V_p) superiori a 2200-2400 m/s ed onde di taglio (V_s) superiori a 1700-1900 m/s. Il presente strato identifica le porzioni non alterate e meno fratturate della Formazione di Ronco (ROC).

In aggiunta agli stendimenti di sismica a rifrazione sono state realizzate n°3 prove tipo Down Hole in corrispondenza delle perforazioni S5, S7 ed S8. Tali indagini, di lunghezza pari rispettivamente a 30, 35 e 35m, hanno permesso di determinare:

- la profondità del bedrock sismico caratterizzato da velocità delle onde $V_s \geq 800$ m/s;
- la V_s equivalente ($V_{s\ eq}$) determinata ai sensi delle NTC 18 in relazione allo spessore dei depositi detritici presenti sul bedrock sismico.

Tabella 11. Sintesi dei valori desunti dalle prove Down Hole.

	S5	S7	S8
Profondità bedrock con $V_s \geq 800$ m/s (m dal p.c.)	10	7	9
$V_{s\ eq}$ dei depositi detritici (m/s)	288	254	374
V_s media intervallare misurata nel bedrock (m/s)	1000	900-1000	900-1000
Max V_s intervallare misurata nel bedrock (m/s)	1400-1500	1100-1200	1400-1500
V_s media misurata nel bedrock (m/s)	500	550	580

Come possibile osservare dai dati riassunti in **Tabella 11** il bedrock sismico si colloca ad una profondità mediamente compresa tra 7 -10m mentre la velocità $V_{s\ eq}$ dei depositi che lo ricoprono sommate alle parti alterate di substrato si attesta tra un minimo di 254 ed un massimo di 374 m/s.

Il profilo di velocità delle onde V_s intervallari misurato entro il substrato litoide della Formazione di Ronco (ROC) evidenzia una generale eterogeneità associata probabilmente alle alternanze litologiche caratteristiche della formazione stessa. Tale aspetto risulta particolarmente evidente in corrispondenza del sondaggio S8_DH, laddove si osservano tratte caratterizzate da V_s 700-800 m/s alternate a tratte caratterizzate da V_s 1400-1500 m/s. In generale la velocità media intervallare V_s misurata nel substrato litoide si attesta tra 900-1000 m/s, mentre i massimi valori misurati sono pari a circa 1100-1500 m/s.

Per quanto concerne il substrato roccioso della Formazione di Ronco (ROC) si sottolinea inoltre una sostanziale discrepanza tra la stima delle velocità medie V_s intervallari e la media della velocità delle onde V_s calcolata sulla base delle dromocrone; in particolare la prima velocità risulta sostanzialmente il doppio rispetto alla seconda.

10 MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DEL TRACCIATO

Come anticipato il presente elaborato è finalizzato alla descrizione delle caratteristiche geologiche (s.l.) relative alla redazione del Progetto Definitivo del 2° Stralcio funzionale, suddiviso in due parti:

- 1° tratta estesa dal km 32+445 al km 32+618,94;
- 2° tratta estesa dal km 33+090,5 al km 34+819,41.

In dettaglio il presente Capitolo illustra il modello geologico-tecnico definito in seguito all'esecuzione dei rilievi geologici (s.l.) di superficie, implementati dalle indagini geognostiche dirette ed indirette eseguite.

Al fine di semplificare la trattazione verrà inizialmente illustrato il modello geologico di riferimento elaborato nelle due tratte considerate, mentre successivamente saranno dettagliate le condizioni geologiche attese in concomitanza delle opere da realizzare.

In ultimo sono state espresse alcune considerazioni in merito alla profondità delle bonifiche da eseguire ed alla possibilità di riutilizzo dei materiali scavati.

Le descrizioni riportate nei seguenti paragrafi dettagliano quanto riportato negli elaborati seguenti:

- Carta geologica (Cod. el. T00GE00GEOCG01A-5A);
- Carta geomorfologica (Cod. el. T00GE00GEOCG06A-10A);
- Profilo geologico (Cod. el. T00GE00GEOFG01A-03A);
- Sezioni geologiche (Cod. el. T00GE00GEOSG01A-4A).

10.1 **Tratta estesa dal km 32+445 al km 32+618,94**

La prima tratta in esame si sviluppa interamente ad Ovest della frazione di Ponte Trebbia e rappresenta l'unica tratta interferente direttamente con l'ambiente fluviale del Fiume Trebbia.

Geologicamente il substrato litoide dell'area è caratterizzato dalla presenza delle torbiditi calcareo-pelitiche della Formazione di Ronco (ROC), caratterizzate da una netta stratificazione (o foliazione S1) immergente generalmente verso Ovest, WNW a medio-basso angolo di inclinazione (compreso tra circa 15-45°). In corrispondenza del punto di rilievo (da ora abbreviati in Pdr) n°68 è stata osservata la presenza di pieghe asimmetriche tipo "Z" (guardando verso WNW) di fase D2, caratterizzate da assi immergenti verso ESE, inclinazione di 20° e trasporto tettonico verso NNE. Presso i Pdr n°1 e n°2 la giacitura della stratificazione immerge a basso angolo rispettivamente verso Nord e NW, segno di una probabile deformazione tettonica indotta da una fase D3.

Nel settore in esame la qualità dell'ammasso valutata mediante la stima dell'indice GSI varia da un minimo di 20-25 (Pdr n°8 e 66), fino ad un massimo di 35-45 (Pdr n°68).

Per quanto concerne i depositi detritici depositi sopra il substrato litoide, si segnala la diffusa presenza di coltri eluvio-colluviali (e-c) presso i versanti e la sistematica presenza di depositi antropici (h) lungo l'attuale sede stradale della S.S. 45 e presso le abitazioni di Ponte Trebbia. In aggiunta a tali depositi si segnala inoltre la presenza dei depositi alluvionali recenti (Ar) modellati in un terrazzo alluvionale ubicato presso la sponda destra del Trebbia ed interferente con i primi 40m del tracciato (da Pr. 0+000 a 0+040). Il tracciato della S.S.45

collocato ad Ovest della tratta considerata è inoltre caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali di conoide antica (Ca) per circa 65m di lunghezza. In ultimo il fondovalle del Trebbia è caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali attuali (Aa) in deposizione da parte del corso d'acqua.

Per quanto concerne l'assetto geomorfologico della tratta in esame, si segnala principalmente la presenza del cono di deiezione torrentizia (sede di deposizione dei relativi depositi di conoide Ca) re-inciso assialmente dall'azione erosiva del relativo corso d'acqua, la presenza di alcune frane di crollo/rotazionale (Pdr n° 1 e 69) e scivolamento/colamento (Pdr n°3) generalmente superficiali. Per quanto concerne lo stato di attività i primi evidenziano una generale quiescenza, mentre il secondo risulta attivo (vedi **Figura 15**).

Come anticipato nel Capitolo 7 nella tratta in esame non è stata rilevata la presenza di alcuna emergenza idrica significativa. Per quanto concerne la presenza di falde acquifere, si segnala unicamente la sicura presenza di acque di subalveo in corrispondenza del letto del Trebbia, contenute nei depositi alluvionali attuali (Aa)

In generale l'area in esame non evidenzia caratteristiche geologiche in grado di precludere od ostacolare la realizzazione delle opere in progetto.

10.2 **Tratta estesa dal km 33+090,5 al km 34+819,41**

La seconda tratta in esame si sviluppa interamente ad Est della frazione di Ponte Trebbia ed è impostata prevalentemente presso il versante sinistro prodotto dall'erosione del

Trebbia interrotto da incisioni torrentizie caratterizzate da profilo a "V" prodotte dai rii minori ad esso affluenti.

Anche in questa tratta il substrato litoide è caratterizzato dalla presenza esclusiva delle torbiditi calcareo-pelitiche della Formazione di Ronco (ROC), mentre la stratificazione (o foliazione S1) immerge generalmente verso NW a medio-basso angolo di inclinazione (compreso tra circa 15-45°).

In corrispondenza dei Pdr n° 40, 47, 48, 49, 33, 55, 56, 20 e 25 è stata osservata la presenza di pieghe di fase D2, caratterizzate da assi immergenti verso NNW o SSE ed inclinazione inferiore a 30°. In corrispondenza del Pdr n°20 è stata osservata la presenza di pieghe di fase D asimmetriche tipo "S" guardando verso SSE, associate a trasporto tettonico verso NE, concorde con quanto precedentemente osservato. In corrispondenza dei Pdr n° 10, 13, 17 e 59 è stata inoltre osservata la presenza di pieghe di fase D3, caratterizzate da assi immergenti a Nord-NE-NW ed elevata inclinazione (superiore a 70°).

La presenza di variazioni nella direzione di immersione della stratificazione può quindi essere stata causata dalla deformazione tettonica indotta dalla fase D3. In corrispondenza del Pdr n°40 si segnala inoltre la presenza dell'unica struttura di faglia riconosciuta con certezza entro l'area.

Analogamente a quanto osservato nella precedente tratta, anche in questo settore la qualità dell'ammasso valutata mediante la stima dell'indice GSI varia da un minimo di 20-25

fino ad un massimo di 35-45. Per maggiori dettagli circa la variazione della qualità dell'ammasso roccioso lungo il tracciato si rimanda ai paragrafi seguenti.

Per quanto concerne i depositi detritici depositi sopra il substrato litoide, si segnala la diffusa presenza di coltri eluvio-colluviali (e-c) presso i versanti e la sistematica presenza di depositi antropici (h) lungo l'attuale sede stradale della S.S. 45 e gli edifici limitrofi. In aggiunta a tali depositi si segnala inoltre la presenza dei depositi alluvionali attuali (Aa) presenti discontinuamente lungo gli alvei dei corsi d'acqua affluenti del Trebbia.

Per quanto concerne l'assetto geomorfologico della tratta in esame, si segnala principalmente la presenza di una frana di crollo/rotazionale stabilizzata (vicinanze del Pdr n° 33) e di numerose frane di scivolamento/colamento (Pdr n° 14, 15b, 16, 18, 25, 29, 32, 34, 37, 43, 47, 57, 61 e 62) generalmente superficiali e caratterizzate da tutti i possibili stati di attività. Nel presente settore è stata inoltre riconosciuta l'evidenza di frane di scivolamento planare (Pdr n° 16, 17 e 18) ormai completamente stabilizzate, di due aree in erosione superficiale accelerata (Pdr n° 32 e 38) attive e quiescenti e di due aree (Pdr n° 38 e 10) soggette a fenomeni di dissesto superficiale attivi quali soliflussi e creep.

Come anticipato nel Capitolo 7 nella tratta in esame non è stata rilevata la presenza di alcuna emergenza idrica significativa.

In generale l'area in esame non evidenzia caratteristiche geologiche in grado di precludere od ostacolare la realizzazione delle opere in progetto. Le uniche criticità ipotizzabili sono legate alla possibile presenza di porzioni di ammasso roccioso scarsamente resistenti in

relazione alla presenza di un maggior quantitativo di frazione fine pelitico-argillosa e di un maggior stato di fratturazione/alterazione.

Una seconda problematica, non riscontrata attualmente in fase di progettazione definitiva ma legata a condizioni giaciture variabili localmente, è legata alla presenza di scavi di sbancamento impostati in porzioni di ammasso roccioso caratterizzate dalla presenza di stratificazione a franapoggio. In tali condizioni potrebbero infatti svilupparsi fenomeni di scivolamento planare impostati lungo piani di debolezza rappresentati dalla presenza degli strati pelitici-argillitici. In sede di rilevamento geologico di dettaglio è stata chiaramente riconosciuta tale tipologia di fenomeni in corrispondenza degli scivolamenti planari (Pdr n° 16, 17 e 18) ormai stabilizzati.

10.3 **Viadotti**

Il presente paragrafo illustra e dettaglia le condizioni geologiche attese presso i singoli viadotti in progetto.

10.3.1 Viadotto n°1 – Tratto 1

Il presente viadotto verrà realizzato a cavallo del fondovalle alluvionale del Fiume Trebbia. In particolare la spalla posta presso la Pr. 0+040 km verrà fondata direttamente sul substrato litoide (ROC), caratterizzato da una stratificazione a reggipoggio e buona qualità (GSI 30-45). Al di sopra del piano di fondazione dovranno essere attraversati i depositi alluvionali recenti (Ar) di potenza stimata in circa 4m e parzialmente la coltre di depositi antropici (h) di potenza massima pari a 1-2m.

La pila centrale del viadotto verrà realizzata direttamente entro l'alveo del Trebbia, interesserà quindi i depositi alluvionali attuali (Aa) di potenza massima stimata pari a 4-5m, depositi direttamente sul substrato litoide (ROC) caratterizzato da qualità mediocre (GSI 20-35).

La spalla ubicata presso la Pr. 0+150 km verrà impostata presso una probabile coltre di depositi eluvio-colluviali (e-c) di potenza pari a circa 3,5m, sovrapposti a depositi alluvionali attuali (Aa) di potenza massima stimata pari a circa 3,5-4m. Al di sotto di tali depositi verrà incontrato il substrato litoide (ROC) caratterizzato da qualità mediocre (GSI 20-35).

Come si può osservare dal profilo geologico riportato in **Figura 57** il substrato litoide presenta una fascia di ammasso alterato/fratturato di potenza pari a circa 2-3m.

Le ricostruzioni stratigrafiche operate in tale settore sono state basate sulle osservazioni di superficie coadiuvate, per le ricostruzioni in profondità, dai dati raccolti dal sondaggio S4_pz e dalle sismiche tomografiche a rifrazione Ls01 Tr1-Tr2.

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

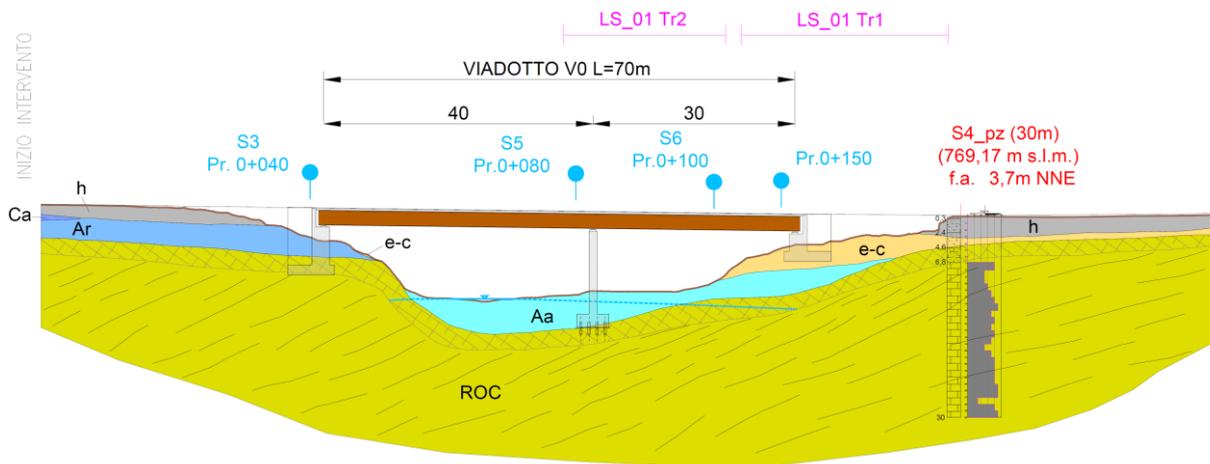


Figura 57. Modello geologico del Viadotto 1 della prima tratta.

10.3.2 Viadotto n°1 – Tratto 2

Il presente viadotto verrà realizzato tra le Pr. 0+455 e 0+545 km per permettere l'attraversamento di un affluente in sinistra del Fiume Trebbia. Analizzando il contesto geologico di dettaglio nel quale andrà inserita l'opera si segnala che sia le spalle che la pila centrale saranno impostati direttamente sul substrato litoide (ROC), caratterizzato da una stratificazione circa suborizzontale e da mediocre qualità geomeccanica (GSI 20-30).

Su entrambe i versanti il substrato litoide è ricoperto da una sottile coltre di depositi eluvio-colluviali (e-c) caratterizzati da potenza massima pari a circa 3 m; solo in corrispondenza del fondovalle sono presenti dei depositi alluvionali attuali (Aa) di modestissima entità.

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

Come si può osservare dal profilo geologico riportato in **Figura 58** il substrato litoide presenta una fascia di ammasso alterato/fratturato di potenza pari a circa 2-4m, ridotta in corrispondenza del fondovalle per effetto della maggiore erosione operata dal corso d'acqua.

Le ricostruzioni stratigrafiche operate in tale settore sono state basate sulle osservazioni di superficie coadiuvate, per le ricostruzioni in profondità, dai dati raccolti dal sondaggio S5_DH.

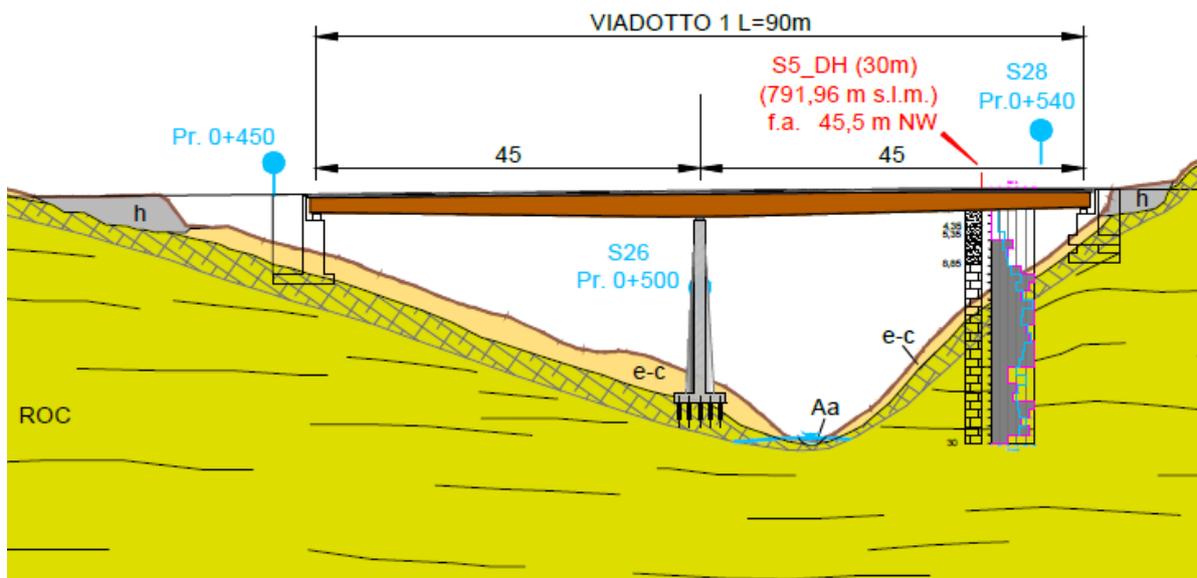


Figura 58. Modello geologico del Viadotto 1 della seconda tratta.

10.3.3 Viadotto n°2 – Tratto 2

Il presente viadotto verrà realizzato tra le Pr. 1+013 e 1+133,5 km per permettere l'attraversamento di un affluente in sinistra del Fiume Trebbia. Analizzando il contesto geologico di dettaglio nel quale andrà inserita l'opera si segnala che sia le spalle, che le due pile centrali saranno impostate direttamente sul substrato litoide (ROC), caratterizzato da una stratificazione a reggipoggio per le fondazioni ubicate prima della Pr. 1+060 km e a traversopoggio/franapoggio per quelle ubicate dopo tale punto. La qualità geomeccanica dell'ammasso varia da buona (GSI 30-40) per la spalla e le pile da realizzare prima della Pr. 1+130 km a mediocre (GSI 25-35) per la spalla da realizzare in seguito.

Su entrambe i versanti il substrato litoide è ricoperto da una sottile coltre di depositi eluvio-colluviali (e-c) caratterizzati da potenza massima pari a circa 2-3 m; in corrispondenza del fondovalle non sono presenti depositi alluvionali in quanto la tratta si presenta in erosione.

Come si può osservare dal profilo geologico riportato in **Figura 59** il substrato litoide presenta una fascia di ammasso alterato/fratturato di potenza pari a circa 2-4m, ridotta in corrispondenza del fondovalle per effetto della maggiore erosione operata dal corso d'acqua.

In corrispondenza della pila e della spalla poste alle Pr. 1+100 e 1+133 è presente un settore soggetto allo sviluppo di instabilità superficiali quali soliflusso e creep; data la superficialità di tali dissesti non sono presenti effetti a carico delle opere di fondazione impostate direttamente sul substrato roccioso.

Le ricostruzioni stratigrafiche operate in tale settore sono state basate sulle osservazioni di superficie coadiuvate, per le ricostruzioni in profondità, dai dati raccolti dal sondaggio S7_DH.

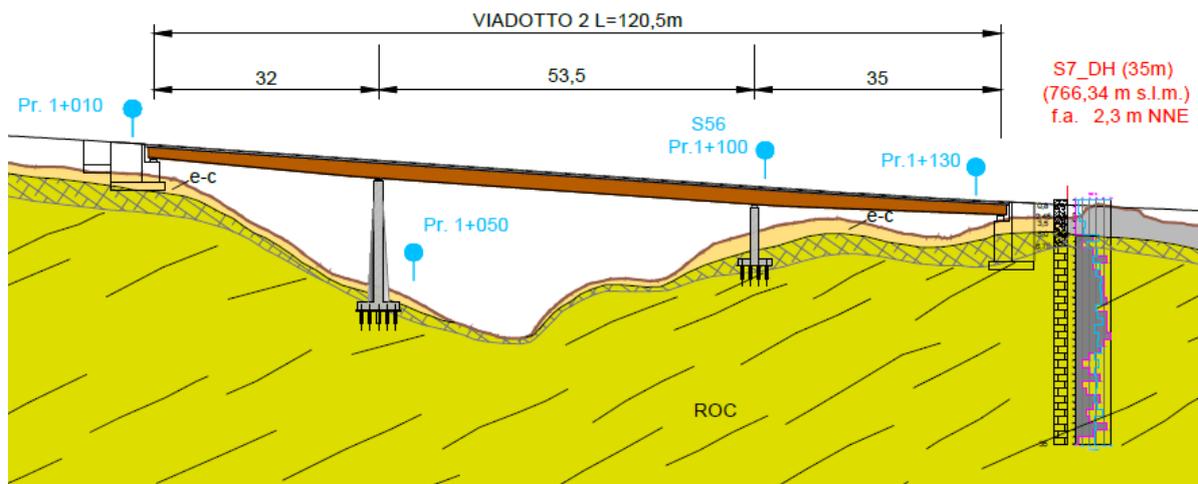


Figura 59. Modello geologico del Viadotto 2 della seconda tratta.

10.3.4 Viadotto n°3 – Tratto 2

Il presente viadotto verrà realizzato tra le Pr. 1+377 e 1+490 km per permettere l'attraversamento di un affluente in sinistra del Fiume Trebbia. Analizzando il contesto geologico di dettaglio nel quale andrà inserita l'opera si segnala che sia le spalle, che le due pile centrali saranno impostate direttamente sul substrato litoide (ROC), caratterizzato da una stratificazione a reggipoggio o suborizzontale/traversopoggio presso l'alveo del corso d'acqua. La qualità geomeccanica dell'ammasso varia da mediocre (GSI 25-35) per la spalla e le pile da realizzare prima della Pr. 1+470 km a buona (GSI 30-40) per la spalla da realizzare in seguito.

Su entrambe i versanti il substrato litoide è ricoperto da una sottile coltre di depositi eluvio-colluviali (e-c) caratterizzati da potenza massima pari a circa 2-3 m; in corrispondenza del fondovalle sono presenti deboli spessori di depositi alluvionali attuali (Aa). In corrispondenza della spalla posta alla Pr. 1+380 km a tetto dei depositi eluvio-colluviali sono presenti circa 2 m di depositi antropici (h) legati al corpo stradale della S.S. 45.

Come si può osservare dal profilo geologico riportato in **Figura 60** il substrato litoide presenta una fascia di ammasso alterato/fratturato di potenza pari a circa 2-4m, ridotta in corrispondenza del fondovalle per effetto della maggiore erosione operata dal corso d'acqua.

Le ricostruzioni stratigrafiche operate in tale settore sono state basate sulle osservazioni di superficie.

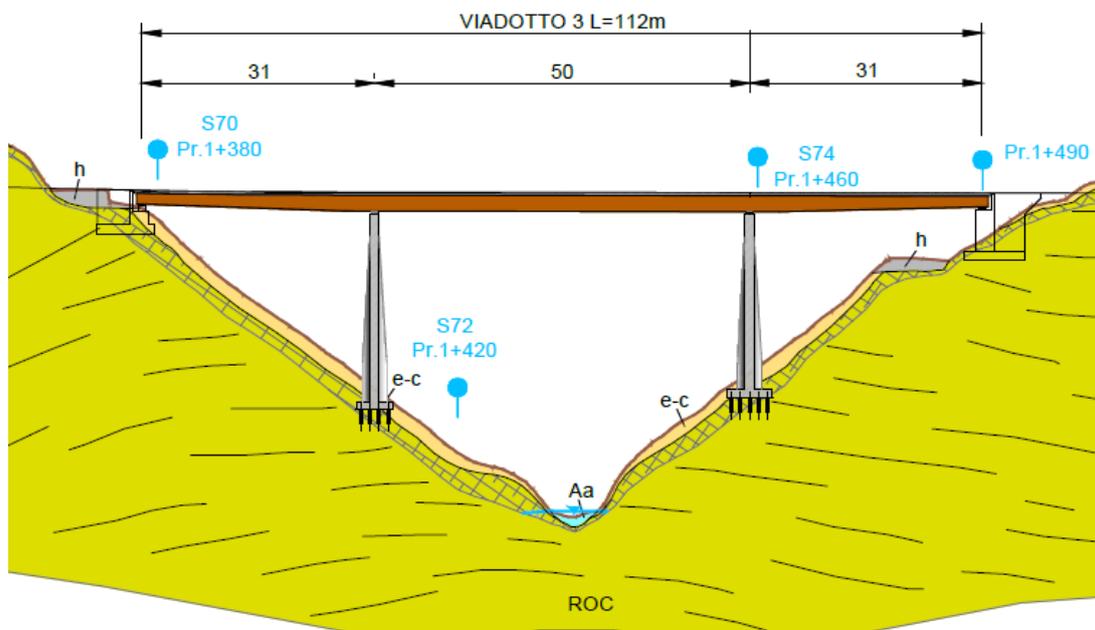


Figura 60. Modello geologico del Viadotto 3 della seconda tratta.

10.3.5 Viadotto n°4 – Tratto 2

Il presente viadotto verrà realizzato tra le Pr. 1+561 e 1+656 km per permettere l'attraversamento di un ulteriore affluente in sinistra del Fiume Trebbia. Sia le spalle, che le due pile centrali saranno impostate direttamente sul substrato litoide (ROC), caratterizzato da una stratificazione a reggipoggio fino alla Pr. 1+610 o suborizzontale/traversopoggio nella restante porzione. La qualità geomeccanica dell'ammasso è mediocre (GSI 25-35).

Su entrambe i versanti il substrato litoide è ricoperto da una sottile coltre di depositi eluvio-colluviali (e-c) caratterizzati da potenza massima pari a circa 2-3 m; in corrispondenza del fondovalle non sono presenti depositi alluvionali in quanto la tratta si presenta in erosione. In corrispondenza della spalla posta alla Pr. 1+656 km a tetto dei depositi eluvio-colluviali sono presenti circa 4 m di depositi antropici (h) legati al corpo stradale della S.S. 45.

Come si può osservare dal profilo geologico riportato in **Figura 61** il substrato litoide presenta una fascia di ammasso alterato/fratturato di potenza pari a circa 2-4m, ridotta in corrispondenza del fondovalle per effetto della maggiore erosione operata dal corso d'acqua.

Le ricostruzioni stratigrafiche operate in tale settore sono state basate sulle osservazioni di superficie coadiuvate, per le ricostruzioni in profondità, dai dati raccolti dal sondaggio S8_DH.

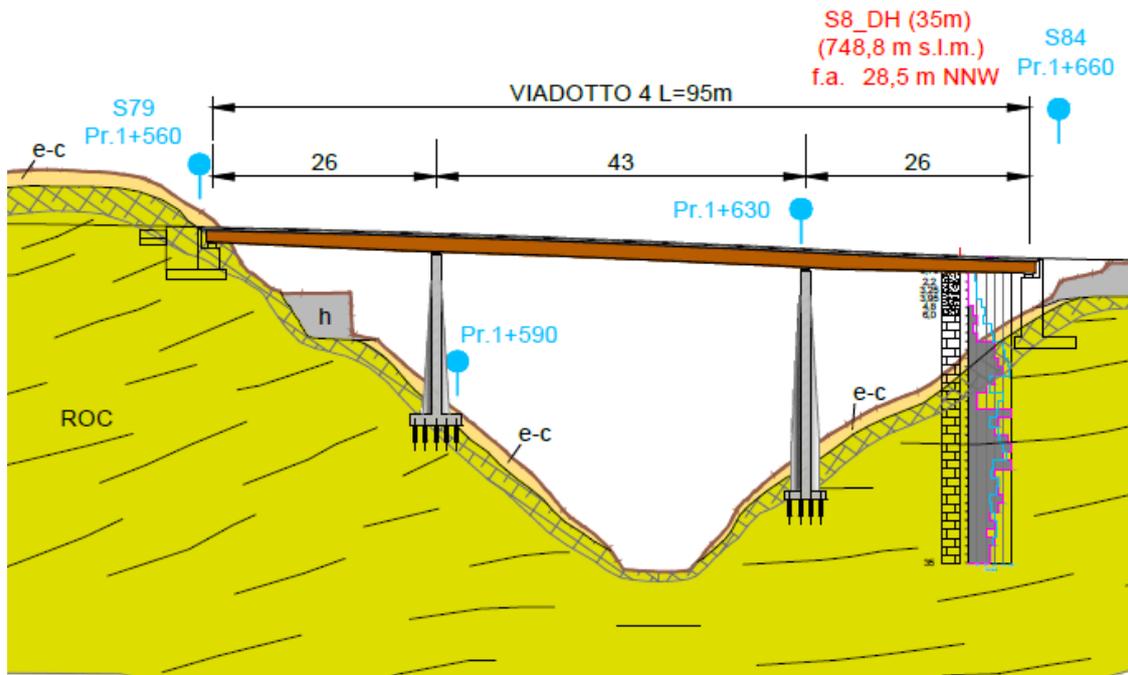


Figura 61. Modello geologico del Viadotto 4 della seconda tratta.

10.4 Galleria artificiale

La galleria artificiale verrà realizzata tra le Pr. 0+575 e 0+600 km per permettere l'attraversamento di una dorsale caratterizzata da una altezza massima di circa 14 m sulla livelletta.

Gli scavi per la realizzazione dell'opera saranno impostati esclusivamente entro il substrato litoide (ROC), caratterizzato da una stratificazione a reggipoggio presso l'imbocco presso alla Pr. 0+575 e franapoggio in quello opposto. La qualità geomeccanica dell'ammasso è mediocre/scadente (GSI 20-25) e come si può osservare dal profilo geologico riportato in

Figura 62 esso presenta una fascia di ammasso alterato/fratturato di potenza pari a circa 2-3m.

Su tutta l'area interessata dagli scavi il substrato litoide è ricoperto da una sottile coltre di depositi eluvio-colluviali (e-c) caratterizzati da potenza massima pari a circa 2-3 m.

Le ricostruzioni stratigrafiche operate in tale settore sono state basate sulle osservazioni di superficie.

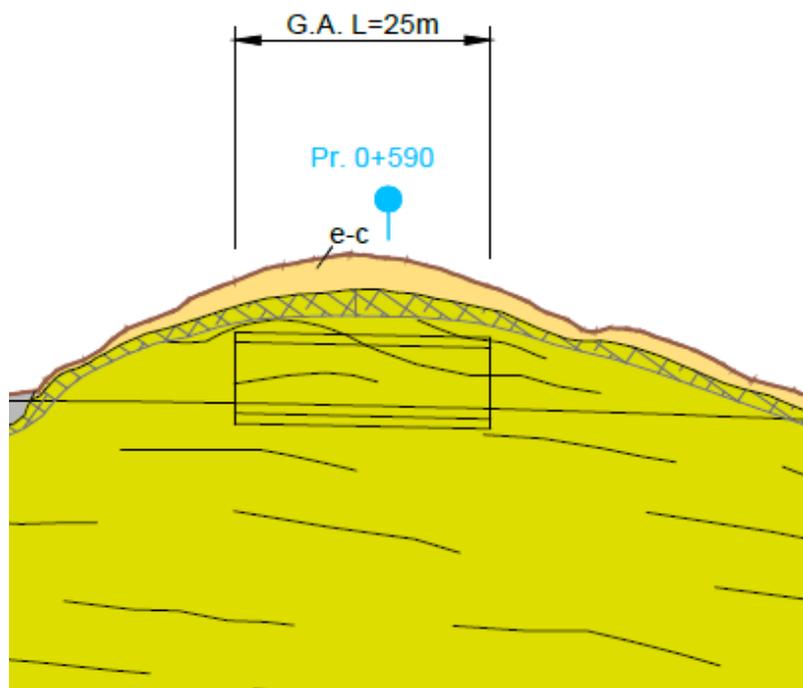


Figura 62. Modello geologico della galleria artificiale posta nella tratta 2.

10.5 **Opere minori**

Per quanto concerne le opere minori esse sono essenzialmente composte da due tipologie: muri di sottoscarpa e paratie di controripa. Nella **Tabella 12** è stata riportata una sintesi schematica delle condizioni geologiche attese presso tali opere; come si può notare la successione geologica è semplice e ricorrente in quanto il substrato litoide della formazione di Ronco (ROC) è ricoperto da depositi eluvio-colluviali (e-c), sui quali possono essere presenti dei depositi antropici (h).

Tabella 12. Condizioni geologiche di dettaglio previste per le opere minori. La successione stratigrafica riportata è stata elencata a partire dai depositi posti a diretto contatto con il substrato litoide (ROC) e proseguendo verso il piano campagna. Ove possibile le valutazioni dell'indice GSI sono puntuali e sono riferite al punto di rilievo più vicino all'opera (in blu), così come riportato in Carta geologica (cod. el T00GE00GEOCG01A-05A). In assenza di tali dati è stato assunto il valore desunto (in arancio) per la tratta così come riportato in Profilo geologico (cod. el T00GE00GEOFG01A-03A).

Opera	Pr. Iniziale (km)	Pr. Finale (km)	Lungh. (m)	Unità litostratigrafiche e massima potenza in (m)	GSI substrato litoide e potenza fascia alterata/tettonizzata in (m)	Indagini geognostiche e di riferimento
OM1	0+017	0+030	13,7	Ar (4) e h (1,5-2)	35-45 (3)	Rilievi geologici
OM2	0+000	0+093	82	e-c (1,5-2)	30-45 (2)	Rilievi geologici
OM3	0+125	0+185	78	e-c (1,5-2) e Aa (1)	35-40 (10)	Rilievi geologici

S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Comuni di Torriglia e Montebruno
 dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
 2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

Opera	Pr. Iniziale (km)	Pr. Finale (km)	Lungh. (m)	Unità litostratigrafiche e massima potenza in (m)	GSI substrato litoide e potenza fascia alterata/tettonizzata in (m)	Indagini geognostiche e di riferimento
OM 4	0+248	0+440	215	e-c (2-3)	25-35 (1,5-2)	LS 02 a/b e rilievi geologici
OM 5	0+555	0+575	20,5	e-c (2-3)	20-25 (1,5-2)	Rilievi geologici
OM 6	0+600	0+650	71,5	e-c (2-3)	25-35 (1,5-2)	Rilievi geologici
OM 7	0+730	0+810	91	e-c (1,5-2) e Aa (1)	25-30/35-40 (1,5-2)	Rilievi geologici
OM 8	0+840	0+970	138	e-c (2-3)	30-40 (3-5)	LS 03 a/b e rilievi geologici
OM 9	1+199	1+361	152	e-c (1,5-2)	25-35 (2-3)	LS 04 a/b e rilievi geologici
OM 10	1+507	1+560	80	e-c (1,5-2)	25-35 (3-4)	Rilievi geologici
OM 11	1+673	1+726	54	e-c (1,5-3)	30-40 (1,5-2)	Rilievi geologici
OM 12	0+84	0+124	40,3	e-c (1,5-2) e h (2,5)	30-45 (1,5)	Rilievi geologici
OM 13	0+173	0+204	29,8	e-c (1,5-2) e h (2,5)	30-45 (3,5)	Rilievi geologici
OM 14	0+420	0+450	31,2	e-c (2-2,5) e h (2,5-3)	25-35 (3-3,5)	Rilievi geologici
OM 15	0+645	0+795	145,7	e-c (2,5-3) e h (2,5-4)	25-35 (2,5-3)	S6_h e rilievi geologici

S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Comuni di Torriglia e Montebruno
 dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
 2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

Opera	Pr. Iniziale (km)	Pr. Finale (km)	Lungh. (m)	Unità litostratigrafiche e massima potenza in (m)	GSI substrato litoide e potenza fascia alterata/tettonizzata in (m)	Indagini geognostiche e di riferimento
OM 16	0+810	1+007	190,8	e-c (2,5-3) e h (2,5-5)	30-40 (3-5)	LS 03 a/b e rilievi geologici
OM 17	1+140	1+220	78,2	e-c (3-4) e h (2-4)	25-35 (2-3)	S7_DH e rilievi geologici
OM 18	1+495	1+554	57	e-c (1,5-2)	25-35 (3-4)	Rilievi geologici
OM 19	1+665	1+723	60,5	e-c (2-3) e h (4-6)	30-40 (1,5-2)	Rilievi geologici

Gli spessori ipotizzati dei depositi e della fascia di substrato alterata sono generalmente modesti e non superano mai i 3-6m. In corrispondenza dell'opera minore OM3 è stato indicato uno spessore di 10m della parte alterata del substrato litoide, in quanto presso tale opera è stata rilevata la presenza di una struttura di faglia e della relativa zona di danneggiamento.

Per quanto concerne infine la disposizione delle superfici di stratificazione rispetto alle opere da realizzare si segnala che tali superfici si disporranno a reggipoggio o traversopoggio. Allo stato attuale delle conoscenze non è stata rilevata la presenza di contesti a franapoggio.

10.6 ***Valutazione dello spessore di bonifica e del riutilizzo dei materiali scavati***

Nel presente paragrafo è stata valutata la possibilità di riutilizzo dei materiali di risulta provenienti dagli scavi previsti per la realizzazione delle opere in progetto.

Tale valutazione si basa sull'analisi delle risultanze delle prove di laboratorio eseguite su alcuni campioni rimaneggiati raccolti nei sondaggi S4, S5, S7 ed S8, rappresentativi dei depositi antropici (h) e dei sottostanti depositi eluvio-colluviali (e-c) che, come precedentemente specificato nel paragrafo 9.1, risultano spesso di difficile distinzione.

In particolare mediante la determinazione delle proprietà indice di tali campioni, è stato possibile determinare la relativa classificazione per uso stradale ai sensi della UNI EN ISO 14688-1/2 con la quale procedere a tale valutazione.

Nella **Tabella 13** sono state quindi riportate le risultanze di tali prove, sulla base delle quali è stata determinata la classificazione ad uso stradale dei campioni, posta a confronto con le prescrizioni di Capitolato.

Sulla base dei risultati delle caratterizzazioni di laboratorio si evince che i depositi detritici analizzati (eluvio colluviali e/o antropici) non risultano idonei all'impiego per la formazione di rilevati stradali o per la realizzazione del piano di posa degli stessi.

Per quanto concerne invece il recupero dei volumi di ammasso roccioso (ROC) scavati, in ragione del rapporto arenaria /pelite prossimo all'unità (vedi paragrafo 4.2 e **Figura 13**) si ritiene possibile prevedere una percentuale di riutilizzo di tali materiali pari al 70%, utilizzando

S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
 Comuni di Torriglia e Montebruno
 dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
 2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

totalmente la frazione arenacea frammista e riducendo la presenza di quella pelitico-argillitica, da impiegare per la formazione dei rilevati. Tale percentuale potrà essere raggiunta sottoponendo il materiale scavato a processi di frantumazione e vagliatura, finalizzati alla:

- riduzione di grana dei materiali arenacei;
- rimozione o riduzione della parte fine pelitico-argillitica che non potrà essere separata direttamente in fase di scavo.

Per quanto concerne invece le lavorazioni di ricoprimento della galleria artificiale, ed in generale per ogni attività di sistemazione morfologica prevista in Progetto, sarà possibile utilizzare il 100% dei volumi scavati entro i depositi detritici ed il substrato roccioso.

Tabella 13. Sintesi delle analisi di laboratorio eseguite e finalizzate alla determinazione della classificazione stradale dei campioni rimaneggiati ai sensi della UNI EN ISO 14688-1/2.

Sond.	Camp.	Prof. (m)	Passante a 0,063 (%)	LL	IP	LL-30	IG	Passante al setaccio 200	Classificazione stradale
S4	CR1	1,6-2,0	CIRCA 40	39	13	9	2,21	42,79	A6
S4	CR2	3,5-3,85	CIRCA 40	29	9	-1	1,6	43,59	A4
S5	CR1	2-2,4	>50,62	43	15	13	7,16	59,37	A7-6
S5	CR2	4-4,5	>39,5	33	8	3	2,8	48,96	A4
S7	CR1	1,5-2	< 33,15	32	8	2	0	33,15	A2-4
S7	CR2	3,6-4	>37,9	28	7	-2	4,4	52,35	A4
S8	CR1	2-2,4	circa >35	42	15	12	2,3	39,79	A7-6
S8	CR2	4-4,3	circa <30	26	7	-4	0	29,06	A2-4

S.S. 45 di "Val Trebbia"
Variante alla S.S. 45 di "Val Trebbia"
Comuni di Torriglia e Montebruno
dal km 31+500 (Costafontana) al km 35+600 (Montebruno)
2° Stralcio funzionale tra km 32+445 ÷ 32+618,94 e km 33+090,5 ÷ 34+819,41

Progetto Definitivo

In ultimo, sulla base dei dati riportati in **Tabella 13** si segnala inoltre la necessità di eseguire un intervento di bonifica del piano di posa dei tratti in rilevato da realizzare; tale intervento avrà uno spessore pari a 50cm, cui dovranno essere aggiunti i 20cm previsti per lo scotico. Il materiale non idoneo sarà quindi asportato e sostituito con materiale idoneo secondo quanto previsto nel Capitolato Speciale di Appalto relativo ai Movimenti di terra e demolizioni.

Tabella 14. Tratte nelle quali è previsto un intervento di bonifica del piano di posa dei rilevati.

Tratta	Pr. Inizio (km)	Pr. Fine (km)	Scotico (cm)	Bonifica (m)	Note
1	0+000	0+025	20	50	-
1	0+109	0+133	20	50	-
2	0+620	0+650	20	50	Intervento sulla viabilità secondaria
2	0+726	0+7369	20	50	Intervento sulla viabilità secondaria
2	0+816,5	0+823,5	20	50	-
2	0+993	1+009	20	50	-

Si rimanda al Profilo geologico (cod. el. T00GE00GEOFG01A/2A/3A) per la rappresentazione grafica delle tratte oggetto di interventi di bonifica (vedi **Tabella 14**).

11 BIBLIOGRAFIA

- Elter P., Marroni M., Pandolfi L., 2005. Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 214 "Bargagli". ISPRA – Servizio Geologico d'Italia, 119 pp.
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.
- DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.
- Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.
- Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) ISPRA - Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia-Regione Liguria, <http://www.progettoiffi.isprambiente.it>.
- Progetto ITHACA (Catalogo delle faglie capaci) ISPRA, <http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>.
- PAI (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico) dell'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po, <http://pai.adbpo.it/>.
- INGV CENTRO NAZIONALE TERREMOTI, Lista Terremoti, <http://cnt.rm.ingv.it/>.