

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA

TRATTA FINALE LIGURE – ANDORA

Opere principali – Viadotti e cavalcavia

Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari

SCALA:

-

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

I V 0 I 0 0 D 0 9 G E V I 0 0 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	A. Mingoia 	Gen. 2022	L. Utzeri 	Gen. 2022	G. Fadda 	Gen. 2022	A. Vittozzi Gen. 2022

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e gestione delle varianti
Dist. Ing. A. Vittozzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
N° 42678

File: IV0I00D09GEVI0000001A.docx

n. Elab.:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	IV01	00	D09	GE VI0000 001	A	1 di 38

INDICE

1. INTRODUZIONE	2
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	3
2.1 Normative e raccomandazioni	3
2.2 Documenti di progetto	3
3. CAMPAGNE DI INDAGINI	5
4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	10
4.1 Inquadramento generale	10
4.1.1 Unità geotecniche principali.....	10
4.1.2 Caratteristiche zonali.....	12
4.2 Criteri di caratterizzazione	13
4.3 Opere d'arte	14
4.3.1 VI01 – Viadotto sul Torrente Bottassano: pk 69+476 - 69+501.....	15
4.3.2 VI02 – Viadotto sui torrenti Maremola e Giustenice: pk 71+015 - 71+436	16
4.3.3 VI03 – Viadotto sul torrente Varatello: pk 77+427 - 77+473.....	18
4.3.4 VI04 – Viadotto sul torrente Varatello: pk 77+520 - 77+620.....	19
4.3.5 VI05 – Torrente sul rio Carenda: pk 83+645 - 83+669.....	20
4.3.6 VI06 – Viadotto sul torrente Neva: pk 84+888 – 85+349	21
4.3.7 VI07 – Viadotto sul torrente Arroscia: pk 85+576 – 85+936.....	23
4.3.8 VI08 – Viadotto sul torrente Merula: pk 97+02 – 97+174.....	25
5. CARATTERISTICHE SISMICHE	27
5.1.1 Vita nominale	30
5.1.2 Classe d'uso.....	30
5.1.3 Periodo di riferimento	31
5.2 Categorie di sottosuolo.....	32
5.3 Condizioni topografiche.....	35
5.4 Azione sismica di riferimento.....	35

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	IV01	00	D09	GE VI0000 001	A	2 di 38

1. INTRODUZIONE

Il presente documento definisce le condizioni geotecniche nelle aree di realizzazione dei viadotti ferroviari previsti nell'ambito del Progetto Definitivo del raddoppio ferroviario della linea Genova – Ventimiglia, tratta Finale Ligure – Andora: VI01, VI02, VI03, VI04, VI05, VI06, VI07 e VI08. La posizione e le progressive di riferimento delle opere d'arte in esame sono illustrate in Figura 1.

I modelli geotecnici discussi nel seguito si basano sugli esiti delle campagne di indagini eseguite a partire dal 2001 e delle evidenze riscontrate lungo tutta la tratta e descritte nella Relazione Geotecnica Generale (Doc. rif. [7]). Rappresentano il dato di base per la progettazione delle opere d'arte principali e delle relative opere provvisoriale e dovranno essere impiegati nel rispetto della normativa di riferimento (v. cap. 2.1). Laddove ritenuto opportuno, il progettista delle singole opere completerà o modificherà i modelli, giustificando compiutamente le scelte effettuate in sede di dimensionamento e verifica dei manufatti.

Per maggiori dettagli circa i viadotti, si rimanda agli specifici elaborati di progetto predisposti per le WBS d'interesse.

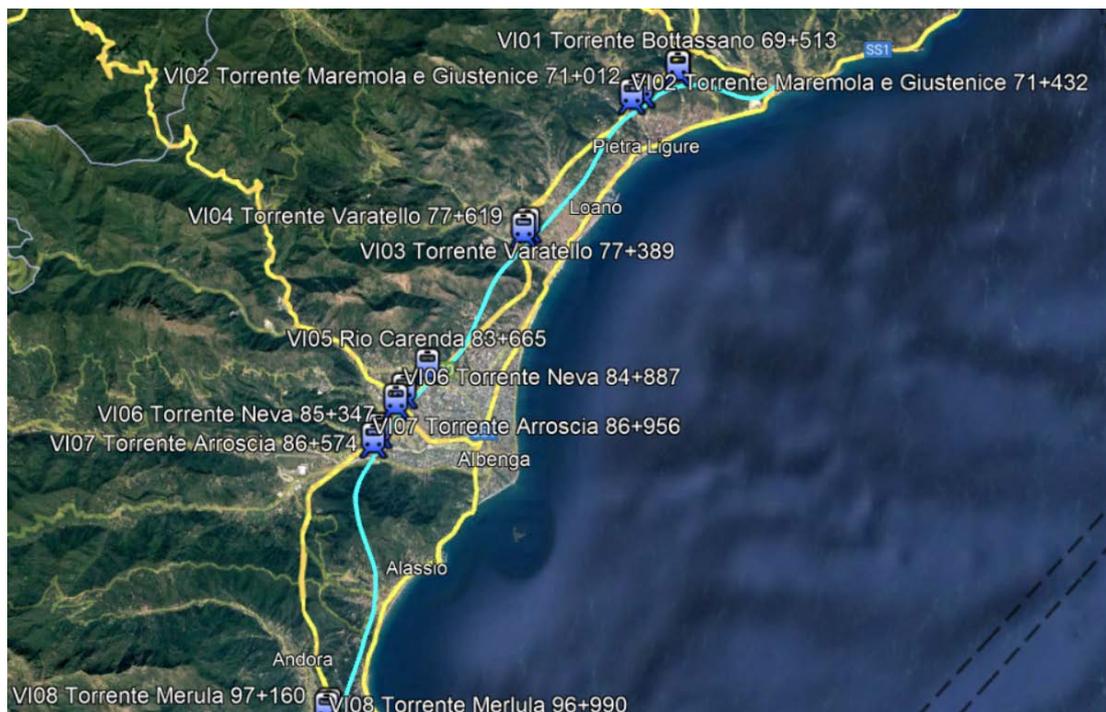


Figura 1 - Ubicazione viadotti ferroviari

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	IV0I	00	D09	GE VI0000 001	A	3 di 38

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Normative e raccomandazioni

- [1] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni, Supplemento Ordinario alla G.U. n.42 del 20.2.2018.
- [2] Circolare 21 gennaio 2019 n.7, Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- [3] UNI EN 1997-1 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- [4] UNI EN 1997-2 - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- [5] RFI, documento n° RFIDTCSIPSMAIFS001E, Manuale di progettazione delle opere civili – Parte II – Sezione 2 – Ponti e strutture, datato 2021.
- [6] RFI, documento n° RFIDTCSICSMAIFS001E, Manuale di progettazione delle opere civili – Parte II – Sezione 3 – Corpo stradale, datato 2021.

2.2 Documenti di progetto

- [7] ITALFERR, documento n° IV0100D26RBGE0005001A, Relazione geotecnica generale, datato dicembre 2021.
- [8] ITALFERR, documenti n° IV0100D26F6GE0005001A-12A, Profilo geotecnico TAV. 1/12-12/12, datati dicembre 2021.
- [9] ITALFERR, documento n° IV0I00D69RGGE0002001, Relazione idrogeologica, datato dicembre 2021.
- [10] ITALFERR, documenti n° IV0I00D69P5GE0005001-6, Planimetria ubicazione indagini geognostiche tav 1/6-6/6, datati dicembre 2021.
- [11] ITALFERR, documento n° IV0I00D69SGGE0005005, Indagini geognostiche: campagna 2010 sondaggi per viabilità NV01-NV05-NV06, datato dicembre 2021.
- [12] ITALFERR, documento n° IV0I00D69SGGE0001002, Report delle indagini geognostiche e prove in situ - campagne precedenti, datato dicembre 2021.
- [13] ITALFERR, documento n° L37100D69SGGE0005_002÷003, “Esecuzione indagini geognostiche - Sondaggi 1-13: Stratigrafie” e “Esecuzione indagini geognostiche - Sondaggi 14-26: Stratigrafie”, datati febbraio 2006.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	IV0I	00	D09	GE VI0000 001	A	4 di 38

- [14] ITALFERR, documento n° IV0I00D69IGGE0000002, Report indagini geofisiche, datato dicembre 2021.
- [15] ITALFERR, documento n° IV0I00D69PRGE0000002, Prove geotecniche di laboratorio indagini pregresse, datato dicembre 2021.
- [16] ITALFERR, documento n° IV0I00D69RGGE0000001, Monitoraggio piezometrico settembre 2021.
- [17] ITALFERR, documenti n° IV0I00D69FZGE0001001-6, Profilo geologico TAV. 1/6-6/6, datati dicembre 2021.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	IV01	00	D09	GE VI0000 001	A	5 di 38

3. CAMPAGNE DI INDAGINI

Nel presente studio si è fatto riferimento alle seguenti campagne indagini:

- 1) n. 9 sondaggi eseguiti dall'impresa Vicenzetto di Villa Estense (PD), campagna 2001;
- 2) n. 42 sondaggi (BH "n") eseguiti dall'impresa Imprefond di Trento – Trieste, presumibilmente nel 2001;
- 3) n. 26 sondaggi (PNL371"xxx") eseguiti dell'impresa PMG – Promogeo di Torino, campagna ottobre-dicembre 2005;
- 4) n. 4 sondaggi (LO01, LO02, LO03 e ALB2) eseguiti dall'impresa Vicenzetto di Villa Estense (PD), campagna 2005-2006;
- 5) n. 4 sondaggi (S48, S49, S50 e S51) eseguiti dall'impresa Vicenzetto di Villa Estense (PD) nella tratta San Lorenzo-Andora, nell'ambito della campagna del 1999;
- 6) n. 8 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU 1÷8) eseguite dall'impresa Imprefond di Trento – Trieste, campagna dell'ottobre 2001. Ai fini della interpretazione dei profili geotecnici, sono state considerate solamente quelle ubicate nelle planimetrie "ubicazione indagini" fornite come dati di base;
- 7) n. 9 profili sismici a rifrazione con tecnica tomografica (vedi doc. L371 00 D 69 IG GE0005 007),
- 8) n. 50 sondaggi (serie SAR21) e n. 25 MASW eseguiti dall'impresa Georicerche di Artigianale Cornegliana (PD).
- 9) N.25 MASW ad opera dell'impresa Socotec di Castel Baronia (AV).

In particolare, l'ubicazione dei punti relativi alla campagna di indagini integrative del 2021 è mostrata in Figura 3.

Ai fini della caratterizzazione geotecnica dei terreni e delle rocce, sono stati utilizzati i dati relativi alle prove in sito realizzate durante le perforazioni ed alle prove geotecniche di laboratorio. In particolare, durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati effettuati:

- prelievo di campioni disturbati (rimaneggiati o semi-disturbati) ed indisturbati, sottoposti successivamente a

	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	IV01	00	D09	GE VI0000 001	A	6 di 38

- prove geotecniche di laboratorio;
- prove SPT (Standard Penetration Test) con punta aperta e recupero del campione rimaneggiato e punta chiusa;
- prove speditive sul materiale carotato con pocket penetrometer e vane test;
- rilievo del livello di risalita dell'acqua durante le operazioni di perforazione;
- prove di permeabilità in foro tipo Lefranc e tipo Lugeon, in funzione del tipo di terreno incontrato (si segnala che, relativamente alle prove eseguite nell'ambito delle campagne Imprefond 2001, Vicenzetto 2001 e Georicerche 2021);
- rilievo stratigrafico dei terreni e delle rocce carotati;
- rilievo geomeccanico delle carote nei tratti lapidei;
- documentazione fotografica delle carote dei sondaggi (si dispone unicamente della documentazione relativa alle campagne di indagini Promogeo 2005 e Georicerche 2021).

La posizione dei sondaggi è indicata nei profili geotecnici (Doc. rif. [14]).

Sui campioni di terreno prelevati durante le campagne delle indagini in sito sono state effettuate le seguenti prove di laboratorio:

determinazioni delle caratteristiche fisiche

- riconoscimento stratigrafico, descrizione geotecnica e fotografia;
- misura speditiva della resistenza non drenata con pocket penetrometer e vane test;
- analisi granulometrica;
- limiti di Atterberg w_p e w_L ;
- contenuto d'acqua w ;
- peso dell'unità di volume γ ;
- peso specifico dei grani γ_s ;
- indice dei vuoti n e grado di saturazione S ;

	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	IV01	00	D09	GE VI0000 001	A	7 di 38

determinazione delle caratteristiche meccaniche

- prova triassiale consolidata non drenata (TxCU);
- prova triassiale non consolidata non drenata (TxUU);
- prova triassiale consolidata drenata (TxCD);
- prova di taglio diretto (TD);
- prova edometrica.

Sui campioni di roccia lapidea prelevati dalle cassette catalogatrici sono state eseguite prove di laboratorio finalizzate alla caratterizzazione dell'ammasso roccioso, in particolare:

- determinazioni della massa volumica apparente e reale;
- determinazioni del contenuto di carbonato di calcio;
- prove dinamiche atte a determinare la velocità delle onde ultrasoniche;
- prove di compressione monoassiale (ELL);
- prove di trazione indiretta (brasiliana);
- prove di carico puntuale (point load test PLT).

Per la classificazione dell'ammasso roccioso, si è fatto riferimento anche ai certificati delle prove di laboratorio sui campioni di roccia prelevati.

Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	IV01	00	D09	GE VI0000 001	A	8 di 38

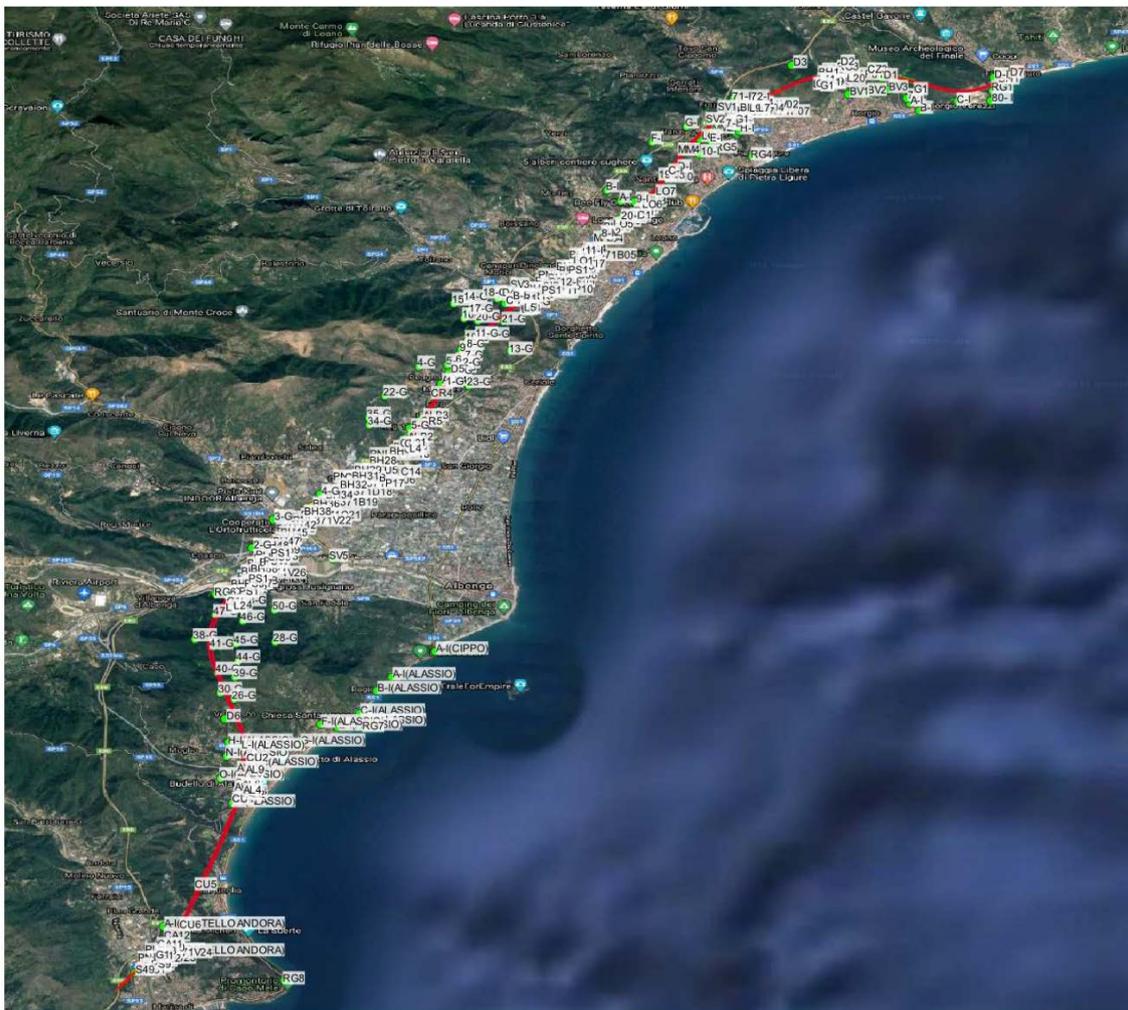


Figura 2 - Campagne di indagini pregresse

Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	IV01	00	D09	GE VI0000 001	A	9 di 38

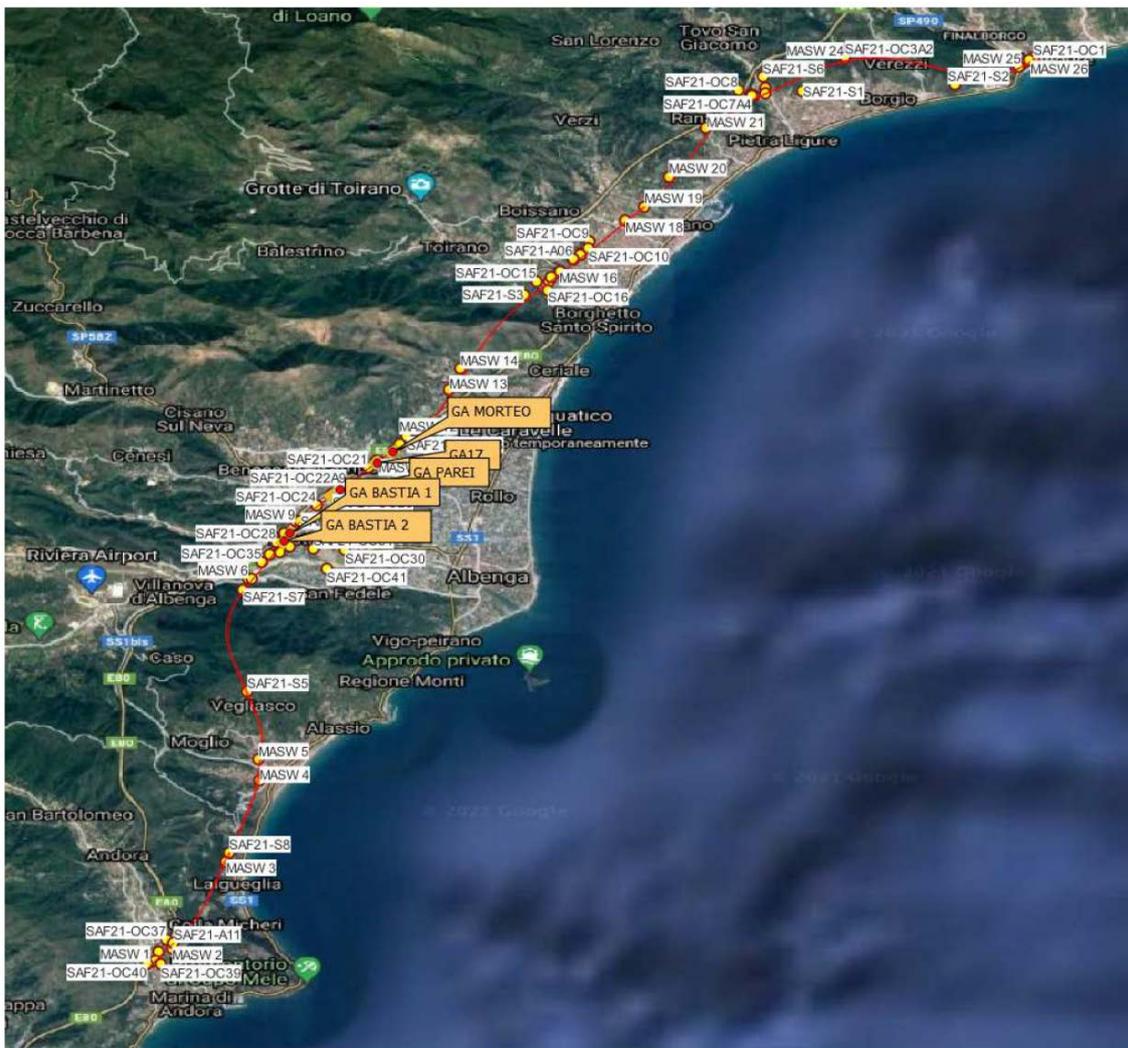


Figura 3 – Campagna di indagini del 2021

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	IV01	00	D09	GE VI0000 001	A	10 di 38

4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

4.1 Inquadramento generale

Il tracciato ferroviario di progetto si sviluppa lungo la costa ligure occidentale interamente all'interno della provincia di Savona, tra le località di Finale Ligure e Andora.

Le Alpi Liguri sono formate da un insieme di unità tettoniche, trasportate ed accumulate verso la parte esterna dell'arco alpino, successivamente retroflesse e poi coinvolte nelle deformazioni di età e direzione appenninica. In esse sono presenti complessi rocciosi derivati dal continente paleoeuropeo (dall'esterno all'interno: Domini Delfinese–Provenzale; Sub–Brianzonese; Brianzonese Esterno, Intermedio, Interno), dal suo margine s.s. (Dominio Piemontese s.l., la cui parte più esterna è detta Prepiemontese) e dall'Oceano Piemontese–Ligure (rappresentato da due grandi gruppi: Successioni Ofiolitifere Pre–Flysch e successioni dei Flysch); deve ancora essere chiarito se vi siano o meno coinvolti anche elementi di pertinenza insubrica o di un ipotetico microcontinente intraoceanico.

In una visione geologica di insieme dell'area Savonese, è possibile riconoscere due zone distinte sulla base di caratteri geologici e geomorfologici: una ubicata a Sud della Linea Aquila d'Arroscia – Ceriale, morfologicamente più depressa e più uniforme, occupata da terreni "flyschoidi" ed una posta a Nord di detta linea, molto più ampia e dalla morfologia più varia e accidentata, in cui affiorano i terreni della serie del Castellermo, delle serie brianzonesi, delle serie ad affinità brianzonese e della serie di Montenotte.

4.1.1 Unità geotecniche principali

Si riassumono di seguito le unità geotecniche principali individuate lungo la tratta e, in particolar modo, nelle aree di futura realizzazione dei viadotti e dei cavalcavia. Per maggiori informazioni in merito alla distribuzione delle unità geotecniche ed alle loro proprietà, si rimanda alla Relazione Geotecnica Generale (Doc. rif. 3) ed ai Profili Geotecnici (Doc. rif. [8]).

UNITÀ 1

Terreno vegetale e materiale di riporto di varia natura composto generalmente da sabbia e ghiaia da debolmente limosa a limosa, di colore variabile da marrone rossastro a grigio verdastro. Si

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	IV01	00	D09	GE VI0000 001	A	11 di 38

rinvengono saltuariamente frammenti di laterizi, materiale organico e plastico ed elementi lapidei maggiori di 10cm.

UNITÀ 2

Depositi alluvionali incoerenti, costituiti prevalentemente da sabbia, da pulita a limosa, con grado di addensamento da medio ad elevato (solo localmente si osserva sabbia sciolta), di colore ocra-nocciola, giallo-ocra, marrone e grigio-marrone, con clasti eterometrici e poligenici da angolari a sub-arrotondati. Ghiaia sabbiosa limosa molto addensata, eterometrica, poligenica, per lo più angolare, di colore marrone, nocciola, ocra e grigio-verde. Sono presenti blocchi e trovanti (generalmente quarziticci) talora di dimensioni metriche.

UNITÀ 3

Depositi alluvionali coesivi, costituiti prevalentemente da Limo argilloso, sabbioso e con sabbia, da poco a molto consistente, di colore nocciola, rossastro, marrone, giallo, ocra, grigio scuro e verde. Argilla limosa a tratti sabbiosa, generalmente a medio-bassa plasticità, da poco a estremamente consistente, di colore marrone, grigio, talora giallastro con laminazioni grigio-nerastre e ossidazioni di colore arancio. Localmente si rinvengono frustoli torbosi nerastri. Sono presenti elementi lapidei generalmente quarzosi, sub-angolari e sub-arrotondati.

ARGILLE DI ORTOVERO (ORV)

Argilla limosa e limo argilloso, debolmente sabbioso, consistente, di colore grigio scuro, a tratti alternati a livelli sabbiosi.

CONGLOMERATI DI MONTE VILLA (CMV)

Conglomerato poligenico a tratti poco cementato, localmente alterato con livelli a componente sabbioso ghiaiosa e limosa argillosa. I clasti, di forma arrotondata ed allungata, sono di natura prevalentemente calcarea.

FORMAZIONE DI ALBENGA (ALN)

Depositi torbiditici costituiti da arenarie grossolane e calcari scistosi. Nei primi metri si presentano come alterati o completamente destrutturati.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	IV01	00	D09	GE VI0000 001	A	12 di 38

FLYSCH DI S.REMO (ELM)

Depositi torbidity costituiti da marne ed arenarie calcaree. La porzione superficiale è alterata e fratturata.

4.1.2 Caratteristiche zonali

Nell'ambito della caratterizzazione geotecnica di linea, sulla base dei dati geognostici a disposizione si è provveduto ad individuare delle macroaree all'interno delle quali è stato possibile definire modelli geotecnici descritti da caratteristiche stratigrafiche e meccaniche relativamente omogenee.

Borgio Verezzi

Il substrato litoide è rappresentato dalle dolomie calcaree e calcari dolomitici di San Pietro dei Monti. In corrispondenza dell'asta del torrente Bottassano, al di sopra delle dolomie calcaree e calcari dolomitici di San Pietro dei Monti, si rinvergono i depositi alluvionali incoerenti (Unità 2) e coesivi (Unità 3). Il versante interessato dall'imbocco della galleria Monte Grosso presenta uno spessore di detrito di falda quantificabile in alcuni metri, che aumentano verso la base. Il detrito di falda è debolmente cementato ed è costituito per lo più da elementi lapidei calcarei a spigoli vivi in matrice sabbioso limosa di colore rosso mattone.

Pietra Ligure

I sondaggi eseguiti non incontrano il substrato litoide fino alle massime profondità indagate (40 m). I terreni sono di natura prevalentemente sabbioso-ghiaiosa per spessori variabili da 20 a 30 m circa. Terreni più coesivi (prevalenza di limi da argillosi a sabbiosi) si rinvergono a profondità generalmente superiori ai 15 m pc ed in piccole lenti discontinue a varie profondità. I riporti antropici sono per lo più legati alla presenza di infrastrutture viarie.

Borghetto Santo Spirito

L'area di Borghetto S. Spirito è caratterizzata dalla presenza delle valli del torrente Varatello. In questa zona, i sondaggi geognostici disponibili non raggiungono il substrato roccioso. L'imbocco della galleria Croce interessa le Dolomie di San Pietro dei Monti (SPM) ed in corrispondenza dell'asta valliva del torrente Varatello, le argille di Ortovero ORV sono sormontate dai conglomerati di Monte Villa (CMV-i) rinvenuti come sabbia limosa, debolmente ghiaiosa, di colore variabile dal

	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	IV01	00	D09	GE VI0000 001	A	13 di 38

giallastro al marrone; a tratti si rinvencono frammenti di conglomerato poligenico.

Ceriale

I terreni sono di varia natura ed andamento geometrico complesso, spesso diverso in funzione della verticale investigata. Sotto una coltre superficiale di terreno vegetale e di riporto con spessore variabile, in corrispondenza dell'asta valliva del Rio Carenda si riscontrano i terreni alluvionali, talora di natura incoerente (Unità 2) ed in altri casi coesiva (Unità 3) fino a profondità massime maggiori di 20m pc. Inferiormente, ed in corrispondenza di tutte le perforazioni, si intercetta la facies incoerente (CMV-i) dei conglomerati di Monte Villa. Localmente, si riscontra la presenza anche della componente coesiva CMV-c o di alternanze di conglomerati argillosi debolmente sabbiosi e sabbiosi ghiaiosi.

Albenga

L'area d'interesse è caratterizzata dalla presenza dell'ampia sede del torrente Arroscia ed è interessata da depositi alluvionali perlopiù incoerenti (Unità 2), aventi spessori variabili tra 15m e 35m circa e ricoprenti le argille di Ortovero ORV o la Formazione di Albenga ALN, in corrispondenza dell'asta del torrente Arroscia. Localmente, gli strati più superficiali sono costituiti da materiale di riporto (o materiale da rilevato), con spessori fino a 3m

Andora

Superficialmente si rinviene materiale di riporto eterogeneo costituito da ghiaia con sabbia limosa, al di sotto del quale si alternano depositi incoerenti composti da ghiaia e sabbia debolmente limosa (Unità 2) e limo sabbioso ghiaioso moderatamente consistente (Unità 3). Nelle aree più vicine allo sbocco della galleria Alassio il substrato è costituito dal Flysch di S. Remo (ELM), calcare marnoso da parzialmente destrutturato a poco fratturato, mentre nella zona più occidentale si evidenzia la presenza di limi argillosi molto consistenti appartenenti alle Argille di Ortovero (ORV).

4.2 Criteri di caratterizzazione

Le proprietà fisico meccaniche delle unità geotecniche descritte nei precedenti capitoli sono state definite coerentemente a quanto fatto nella Relazione Geotecnica Generale (Doc. rif. [7]), interpretando l'esito delle indagini in situ e delle prove di laboratorio ed impiegando le medesime correlazioni di letteratura, richiamate in Tabella 1.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	IV01	00	D09	GE VI0000 001	A	14 di 38

Tabella 1 - Correlazioni geotecniche utilizzate per l'interpretazione delle prove SPT

Parametro ricavato	Autori	Parametri di base
Coesione non drenata	Terzaghi e Peck (1967), Stroud (1974)	N _{SPT} , indice di plasticità
Modulo elastico non drenato	Stroud (1989)	N _{SPT} , litologia
Angolo di resistenza al taglio	API (1987) Peck (1953) Meyerhof (1965)	N _{SPT} , densità relativa, contenuto di fini
Densità relativa	Skempton (1986), Cubrinovski & Ishihara (1998)	N _{SPT} , litologia, pressione litostatica efficace
Modulo di Young	Pasqualini (1983)	N _{SPT} , pressione litostatica efficace

A partire dal quadro generale delineato nella Relazione Geotecnica Generale e dai parametri medi stimati per le singole unità, si è provveduto ad esaminare nel dettaglio le indagini nelle vicinanze delle aree di realizzazione delle opere d'arte, per stimare le proprietà dei materiali costituenti in funzione delle condizioni locali riscontrate.

4.3 Opere d'arte

Nei capitoli che seguono si riportano le schede geotecniche definite per le singole opere sulla base delle informazioni descritte nel capitolo 3, dei risultati delle indagini menzionate e dei criteri definiti nel capitolo precedente. Per maggiori informazioni si rimanda alla Relazione Geotecnica Generale (Doc. rif. [7]).

Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	L371	00	D09	GE VI0000 001	A	15 di 38

4.3.1 VI01 – Viadotto sul Torrente Bottassano: pk 69+476 - 69+501

Sondaggi di riferimento: PNL371P01, BH1vincenzetto

MASW di riferimento: MASW24

Unità	Descrizione	Prof top m slm	γ kN/mc	ϕ °	c' kPa	E' MPa	ν -	σ_{cm} MPa
1	Sabbia con ghiaia eterometrica debolmente limosa	+25	19	28	0	10	0,3	
2	Ghiaia eterometrica, talora sabbiosa e limosa	+23	18,5	34	0	20-30 per $z > 21$ m slm 30-50 per $11 < z < 21$ m slm 50 per $z < 11$ m slm	0,3	-
SPM	Alternanza di calcari e dolomie grigie di San Pietro dei Monti	+6	28	33	400	2500	0,2	9

Falda: - quota piezometrica massima misurata pari a +21m slm circa e valore di progetto dipendente dalle condizioni idrauliche definite per il Torrente Bottassero;

- la misura freaticometrica eseguita a ottobre 2006 nel piezometro PNL371P01 si ritiene sia affetta da errori e, pertanto, è stata trascurata. Nell'ambito del Progetto Esecutivo, si provvederà a confermare tale assunzione sulla base dei più recenti dati di monitoraggio del livello di falda.

Note: - nelle vicinanze della Spalla A si potrà riscontrare una ridotta profondità dello strato SPM, affiorante lungo il pendio.

Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	L371	00	D09	GE VI0000 001	A	16 di 38

4.3.2 VI02 – Viadotto sui torrenti Maremola e Giustenice: pk 71+015 - 71+436

Sondaggi di riferimento: SAF21-OC6, SAF21-OC4-A2-A3, PNL371V02, PNL371V03, PNL371V04, BH6, BH7

MASW di riferimento: MASW22, MASW23

Unità	Descrizione	γ kN/mc	ϕ °	c' kPa	c_u kPa	E' MPa	ν -
1	Terreno di riporto costituito da ghiaia in matrice sabbio-limosa, con clasti da eterometrici a spigolosi	19	31	0	-	20	0,3
2	Sabbia con ghiaia debolmente limosa o ghiaia con sabbia limosa, con clasti prevalentemente angolari, eterometrici e poligenici	20	34	0	-	35-60*	0,3
3	Limo sabbioso ghiaioso	21	24	5	50	8	0,25

* *crescente con la profondità*

Falda: - quota piezometrica massima misurata compresa tra +3m slm e +7m slm; valore di progetto dipendente dalle condizioni idrauliche definite per i corsi d'acqua presenti nella zona.

Note: - riscontrata locale presenza di dolomia nella zona della Spalla A e della Pila 1, a profondità maggiori di 10m pc.

Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	L371	00	D09	GE VI0000 001	A	17 di 38

Stratigrafie VI02

<u>Spalla A</u>		<u>P1, P3 e P4</u>		<u>P2 e P11</u>	
Unità	Prof top m slm	Unità	Prof top m slm	Unità	Prof top m slm
-	-	-	-	-	-
1	+17	1	+11,5	1	+11,5
2	+16	2	+9	2	+9
3	-3,5	3	-4,3	3	-4,9
2	-5,5	2	-9,8	2	-10,4
3	-11,5	3	-15,8	3	-16,4

<u>P5, P6, P7, P8, P9, P10, P12</u>		<u>P13, P14, Spalla B</u>	
Unità	Prof top m slm	Unità	Prof top m slm
-	-	-	-
1	+11,5	1	+14
2	+9	2	+11,5
3	-4,3	3	-4,5
2	-9,8	2	-9,5
3	-21,8	3	-27,5

Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	L371	00	D09	GE VI0000 001	A	18 di 38

4.3.3 VI03 – Viadotto sul torrente Varatello: pk 77+427 - 77+473

Sondaggi di riferimento: SAF21-S10, PNL31P10, BH18, BH20

MASW di riferimento: MASW15, MASW16

Unità	Descrizione	Prof top m slm	γ kN/mc	ϕ °	c' kPa	c_u kPa	E' MPa	ν -
1	Terreno di riporto, ghiaia in matrice sabbiosa e sabbie ghiaiose debolmente limose	+16	19	28	0	-	10	0,3
2	Sabbia ghiaiosa limosa da poco a mediamente addensata	+14	19,5	32	0	-	30	0,3
3	Alternanza di limo sabbioso debolmente argilloso e sabbia limosa argillosa	+3,5	20	26	10	40	8	0,25
2	Sabbia ghiaiosa limosa da poco a mediamente addensata	+2	19,5	32	0	-	30	0,3
3	Alternanza di limo sabbioso debolmente argilloso e sabbia limosa argillosa	-1	20	26	10	40	8	0,25
2	Sabbia ghiaiosa limosa da poco a mediamente addensata	-8	19,5	32	0	-	30	0,3
3	Limo debolmente sabbioso debolmente argilloso	-18	20	26	10	90	8	0,25
CMV	Limo sabbioso con presenza di clasti e frammenti fossiferi	-30	19	33	0	-	>50	0,3

Falda: - quota piezometrica massima misurata +8m slm circa; valore di progetto dipendente dalle condizioni idrauliche definite per il Torrente Varatello.

Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	L371	00	D09	GE VI0000 001	A	19 di 38

4.3.4 VI04 – Viadotto sul torrente Varatello: pk 77+520 - 77+620

Sondaggi di riferimento: PNL371P11, PNL371O12

MASW di riferimento: MASW15

Unità	Descrizione	Prof top m slm	γ kN/mc	ϕ °	c' kPa	c_u kPa	E' MPa	ν -
1	Materiale di riporto eterogeneo, ghiaia sabbiosa debolmente limosa con clasti angolari e frammenti di laterizi	+15,5	19	28	0	-	10	0,3
2	Ghiaia eterometrica sabbiosa localmente limosa, sabbia e ghiaia in matrice limosa, da mediamente addensata a addensata, con presenza di clasti poligenici	+12,7	19,5	31	0	-	30	0,3
3	Limo da debolmente sabbioso o limo argilloso sabbioso, localmente ghiaioso, da mediamente consistente a consistente	+6,2	19	26	10	100	20	0,3
CMV	Conglomerati costituiti prevalentemente da sabbia limosa debolmente ghiaiosa e limo sabbioso debolmente ghiaioso, molto addensati	+1,2	20,5	33	5	-	40	0,3
ORV	Argilla limosa e limo argilloso, debolmente sabbioso, consistente e con intercalazioni sabbiose	-15,3	20	31	15	140	>50	0,25

Falda: - quota piezometrica massima misurata +10.5m slm; valore di progetto dipendente dalle condizioni idrauliche definite per i corsi d'acqua presenti nella zona.

Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	L371	00	D09	GE VI0000 001	A	20 di 38

4.3.5 VI05 – Torrente sul rio Carenda: pk 83+645 - 83+669

Sondaggi di riferimento: PNL371C15, PNL371P17, BH32

MASW di riferimento: MASW10, MASW11

Unità	Descrizione	Prof top m slm	γ kN/mc	ϕ °	c' kPa	c_u kPa	E' MPa	ν -
1	Terreno di riporto, sabbia con ghiaia limosa e presenza di materiale organico e frammenti di laterizi, plastica e vetro	+25	19	28	0	-	10	0,3
2	Ghiaia con sabbia limosa e sabbia limosa debolmente ghiaiosa, mediamente addensata, con locale presenza di clasti	+21,8	20	34	0	-	30-40	0.3
CMV-c	Conglomerati coesivi costituiti prevalentemente da argilla limosa e limo argilloso debolmente sabbioso, consistenti	+11,1	19,5	26	5	100	15	0,3
CMV	Conglomerati poligenici a tratti poco cementati o alterati, con livelli a componente sabbioso ghiaiosa e limosa argillosa	+5,6	20	36	0	-	70	0,25

Falda: - quota piezometrica massima misurata compresa tra +10m slm e +16m slm; valore di progetto dipendente dalle condizioni idrauliche definite per il rio Carenda.

Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	L371	00	D09	GE VI0000 001	A	21 di 38

4.3.6 VI06 – Viadotto sul torrente Neva: pk 84+888 – 85+349

Sondaggi di riferimento: SAF21-OC24, SAF21-OC25, PNL371O20, PNL371O21, PNL371V22, BH42, BH43, BH44, BH45

MASW di riferimento: MASW9

Unità	Descrizione	γ kN/mc	ϕ °	c' kPa	c_u kPa	E' MPa	ν -
1	Terreno vegetale o terreno di riporto costituito da ghiaia in matrice sabbiosa o sabbia con ghiaia limosa	19	28	0	-	10	0,3
2	Limo con sabbia fine moderatamente consistente	20	34	0	-	30-40	0,25
3	Sabbia con limo ghiaiosa addensata e ghiaia con sabbia limosa	20	25	5	50	5	0,3
CMV-c	Limo argilloso debolmente sabbioso da consistente a duro	20,5	25	10	100	15	0,25
CMV	Conglomerato con clasti poligenici ed eterometrici in matrice limo-sabbiosa	20	35	0	-	50	0,3

Falda: - quota piezometrica massima misurata +12.5m slm; valore di progetto dipendente dalle condizioni idrauliche definite per il torrente Neva.

Stratigrafie VI06

Spalla A e P1		P2, P3 e P4		P5, P6, P7, P8, P9 e Spalla B	
Unità	Prof top	Unità	Prof top	Unità	Prof top
-	m slm	-	m slm	-	m slm
1	+15	1	+15	1	+17,2
2	+14	2	+14	3	+15
CMVc	+3	CMV	-6	2	+9
CMV	+16	CMVc	-19	CMV	-4
		CMV	-24		

Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	L371	00	D09	GE VI0000 001	A	23 di 38

4.3.7 VI07 – Viadotto sul torrente Arroscia: pk 85+576 – 85+936

Sondaggi di riferimento: SAF21-OC35, PNL371V26, SAF21-OC36, BH57, BH62, BH63, BH64, BH65, BH66

MASW di riferimento: MASW6, MASW7

Unità	Descrizione	γ kN/mc	ϕ °	c' kPa	c_u kPa	E' MPa	ν -	σ_c MPa
1	Materiale di riporto ghiaioso sabbioso con ciottoli in matrice limosa	19	27	0	-	10	0,3	-
2	Ghiaia con sabbia limosa da addensata a molto addensata, con clasti calcarei e arenacei	20	35	0	-	40-70	0,3	-
3	Limo argilloso debolmente sabbioso e ghiaioso	19,5	24	0	40-90	5-10	0,25	-
ORV	Limo argilloso molto consistente	20,5	24	10	100	30	0,25	-
ALN/ALNalt	Formazione di Albenga, calcescisto costituito da calcare e calcare marnoso, molto compatto e nei primi metri completamente destrutturato	24,5	25	400	-	>400	0,25	10

Falda: - quota piezometrica massima misurata compresa tra +8.5m slm e +11m slm; valore di progetto dipendente dalle condizioni idrauliche definite per il torrente Arroscia.

Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	L371	00	D09	GE VI0000 001	A	24 di 38

Stratigrafie

<u>Spalla A</u>		<u>P1, P2, P3</u>	
Unità	Prof top m slm	Unità	Prof top m slm
-		-	
2	+18	2	+15
ORV	-12	ALN/ALNalt	-8,5

<u>P4, P5</u>		<u>Spalla B</u>	
Unità	Prof top m slm	Unità	Prof top m slm
-		-	
1/2	+15	1	+20
2	+13	3	+17,5
3	+6	2	+14
ALN/ALNalt	+1	ALN/ALNa	+5*

* *l'esito del sondaggio BH67, vicino all'area di realizzazione del viadotto, indica la possibilità di un maggiore spessore dei depositi incoerenti (fino a 36m pc). Pertanto, ai fini del progetto si valuterà l'eventualità che il substrato ALN giaccia ad una profondità maggiore di quanto riscontrato nei sondaggi più vicini alla Spalla B.*

Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	L371	00	D09	GE VI0000 001	A	25 di 38

4.3.8 VI08 – Viadotto sul torrente Merula: pk 97+02 – 97+174

Sondaggi di riferimento: SAF21-S9, PNL371OV24, PNL371V25

MASW di riferimento: MASW2

Unità	Descrizione	γ kN/mc	ϕ °	c' kPa	c_u kPa	E' MPa	ν -	σ_c MPa
1	Material di riporto eterogeneo composto da ghiaia con sabbia limosa	19	24	0	-	10	0,3	-
2	Ghiaia eterometrica sabbiosa debolmente limosa e moderatamente addensata	20	33 per $z > -10m$ slm 35 per $z < -10m$ slm	0	-	35 per $z > -10m$ slm 45 per $z < -10m$ slm	0,3	-
3	Limo sabbioso ghiaioso da moderatamente consistente a consistente	20	26	20	30-70	5-10	0,25	-
ORV	Limo argilloso molto consistente	20	24	10	100	3	0,25	-
ELM/ELMalt	Calcere marnoso da parzialmente destrutturato a poco fratturato	26	22	2000	-	2000	0,25	70

Falda: - quota piezometrica massima misurata compresa tra +4.5m sm e +7m slm; valore di progetto dipendente dalle condizioni idrauliche definite per il torrente Merula.

Stratigrafie

Spalla A		P1		Spalla B	
Unità	Prof top m slm	Unità	Prof top m slm	Unità	Prof top m slm
-		-		-	
1	+10	2	+6	2	+10
2	+9	3	+2	3	-4
3	+2	ELM/ELMalt	-16	2	-11
ELM/ELMalt	-10			3	-18
				ORV	-23

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	L371	00	D09	GE VI0000 001	A	27 di 38

5. CARATTERISTICHE SISMICHE

La verifica delle costruzioni sottoposte all'azione sismica sarà affrontata coerentemente a quanto previsto dalle NTC 2018 e sulla base delle mappe interattive di pericolosità sismica prodotte dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nell'ambito del Progetto S1.

Il sistema consente di visualizzare e interrogare mappe probabilistiche della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa con diversi parametri dello scuotimento su una griglia regolare a passo 0.05°. Le mappe riportano due parametri dello scuotimento, calcolati per diversi periodi e probabilità di superamento: $a(g)$ (accelerazione orizzontale massima del suolo, come definita dall'OPCM 3519/2006, corrispondente a quella che in ambito internazionale viene chiamata PGA) e $Se(T)$ (Spettro di risposta Elastico in funzione del periodo T , in accelerazione).

Per ogni nodo della griglia di riferimento è inoltre possibile ottenere i risultati dell'analisi di disaggregazione (vale a dire il contributo delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza alla pericolosità del nodo) della relativa $a(g)$, oltre ai valori medi di $M-D-\varepsilon$ (magnitudo, distanza, epsilon).

Per la tratta in esame si sono considerati i parametri di scuotimento caratteristici della pericolosità sismica di base riassunti nelle seguenti figure.

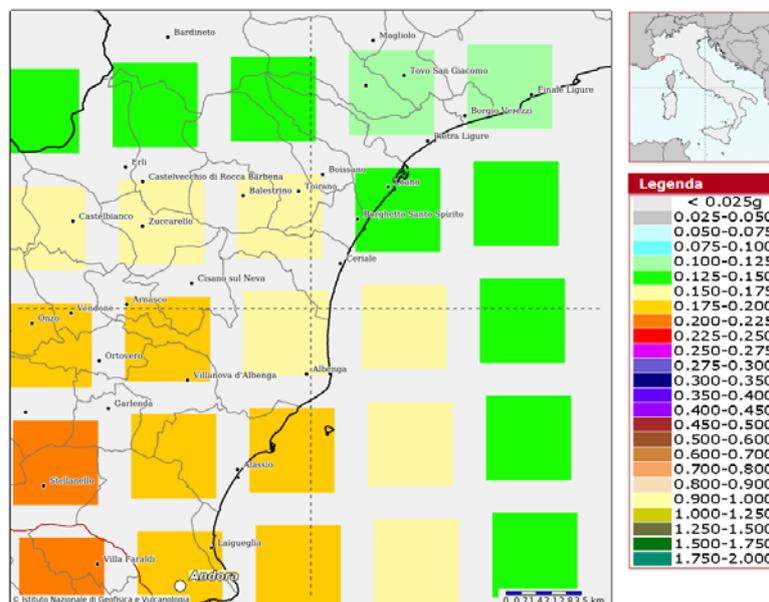


Figura 4 – accelerazione orizzontale massima con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale (a_g)

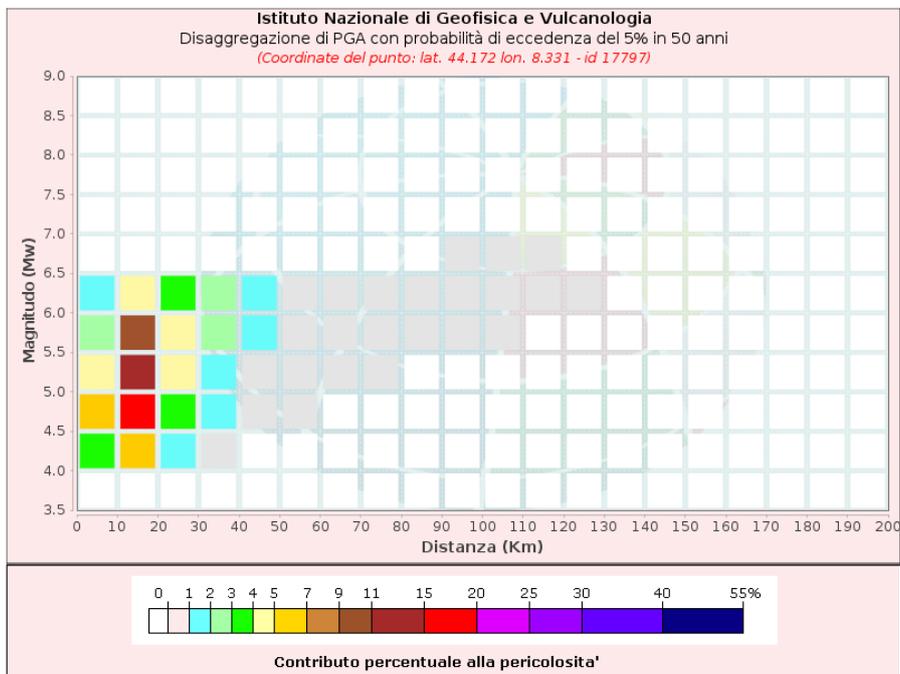


Figura 5 – Borgio Verezzi: Grafico di disaggregazione di a_g

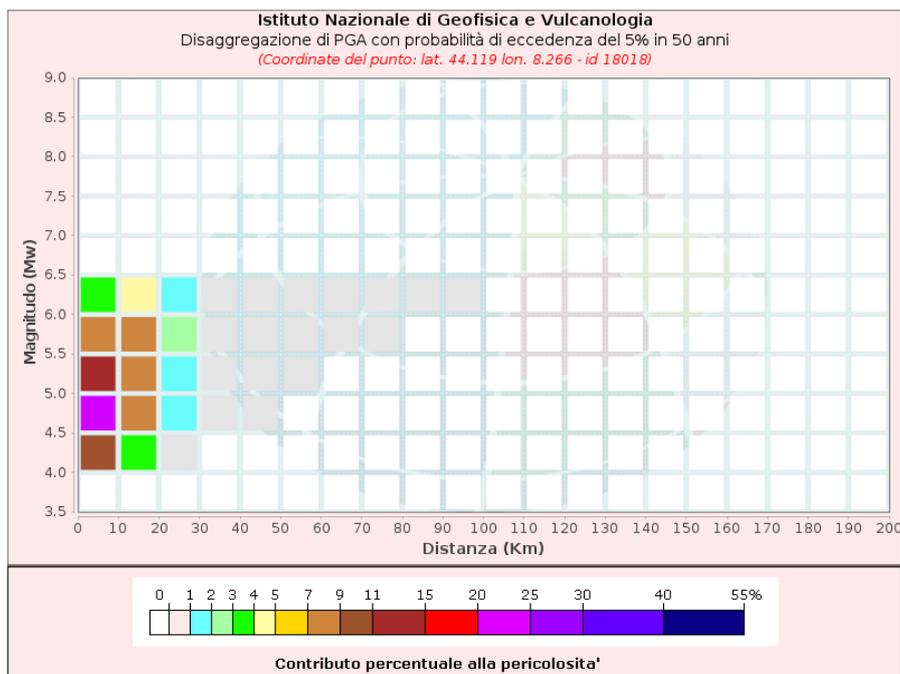


Figura 6 – Borghetto S. Spirito: Grafico di disaggregazione di a_g

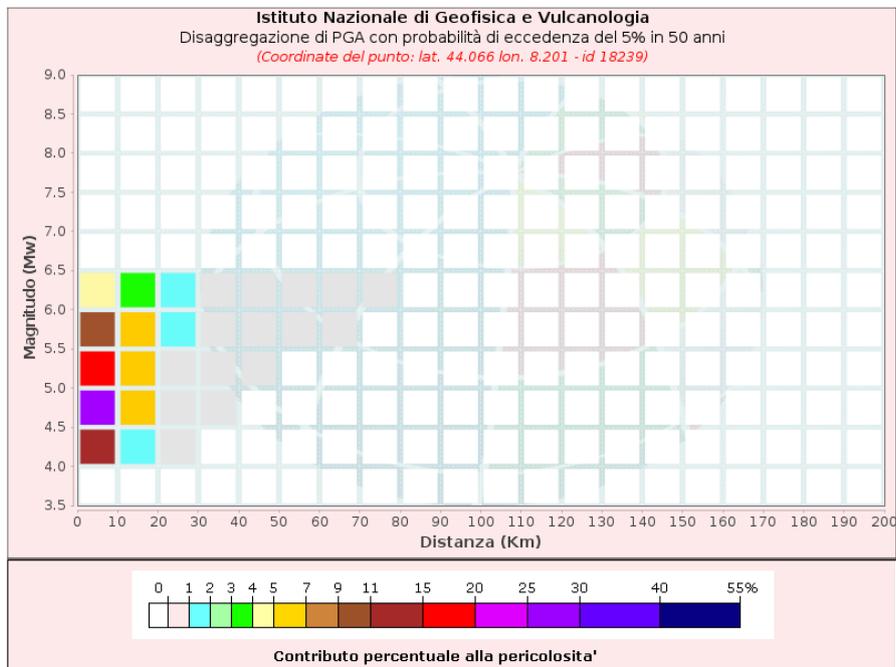


Figura 7 – Albenga: Grafico di disaggregazione di a_g

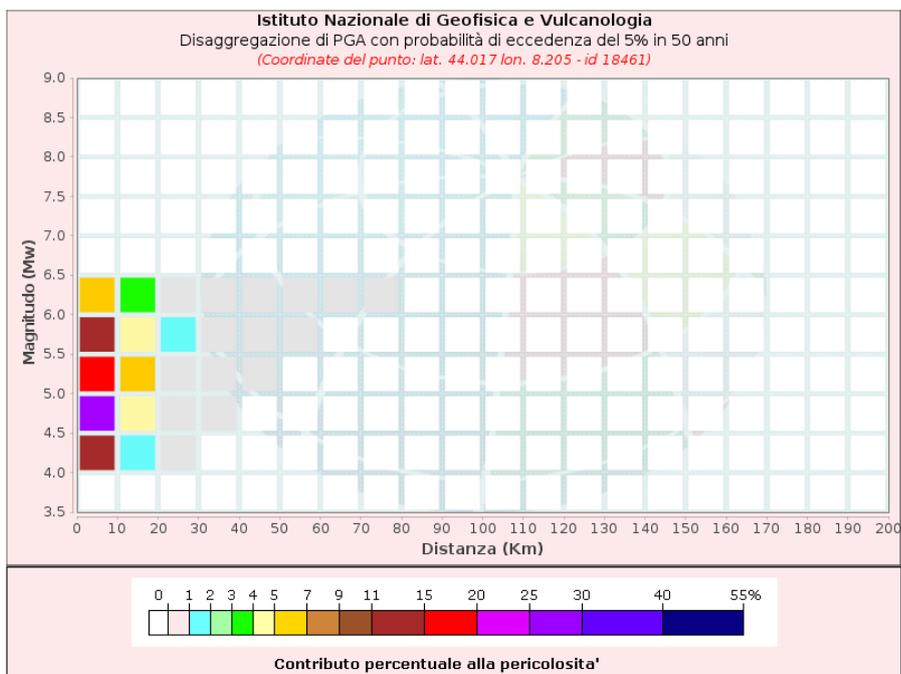


Figura 8 – Alassio: Grafico di disaggregazione di a_g

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	L371	00	D09	GE VI0000 001	A	30 di 38

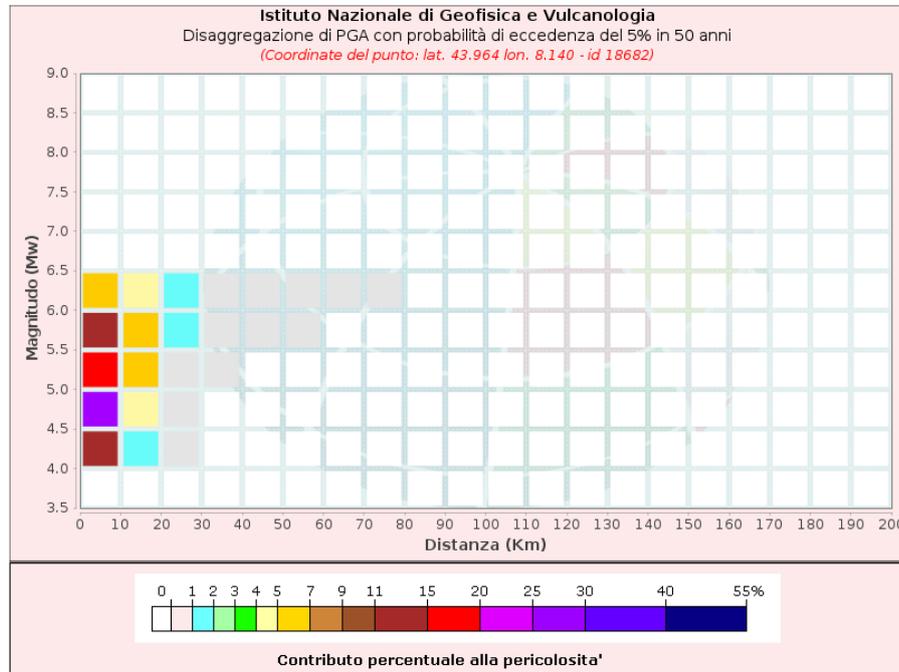


Figura 9 – Andora: Grafico di disaggregazione di a_g

5.1.1 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Le opere in esame appartengono alla seguente tipologia di costruzione

- 1 Costruzioni temporanee e provvisorie
- 2 Costruzioni con livelli di prestazioni ordinarie
- 3 Costruzioni con livelli di prestazione elevati,

e sono caratterizzate da una vita nominale pari a 75 anni.

5.1.2 Classe d'uso

È definita con riferimento alle possibili conseguenze di un sisma in termini di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso. Per le opere in esame si assume una classe d'uso III (Tabella §2.5.1.1.2.1 di RFI DTC SI PS MA IFS 001 E):

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	L371	00	D09	GE VI0000 001	A	31 di 38

- I Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- II Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- III Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- IV Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Il relativo coefficiente d'uso è pari a 1.50, coerentemente a quanto indicato nella Tab. 2.4. II delle NTC.

Tabella 2 – Valori del coefficiente di uso C_u

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente d'uso	0.7	1.0	1.5	2.0

5.1.3 Periodo di riferimento

Il periodo di riferimento $V_R = V_N \cdot C_U = 75 \cdot 1.5 = 112.5$ anni.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	L371	00	D09	GE VI0000 001	A	32 di 38

5.2 Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale.

Per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento in accordo a quanto indicato nel § 3.2.2 delle NTC2018 e in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio (V_s). Le categorie previste dalla normativa sono di seguito richiamate:

- A Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m;
- B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s;
- C Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s;
- D Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s;
- E Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove che, nel caso in esame, consistono nelle n. 25 MASW illustrate nella figura che segue, eseguite dall'impresa Socotec nel 2021 e descritte in dettaglio nel report delle indagini geofisiche (Doc. rif. [14]).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	L371	00	D09	GE VI0000 001	A	33 di 38

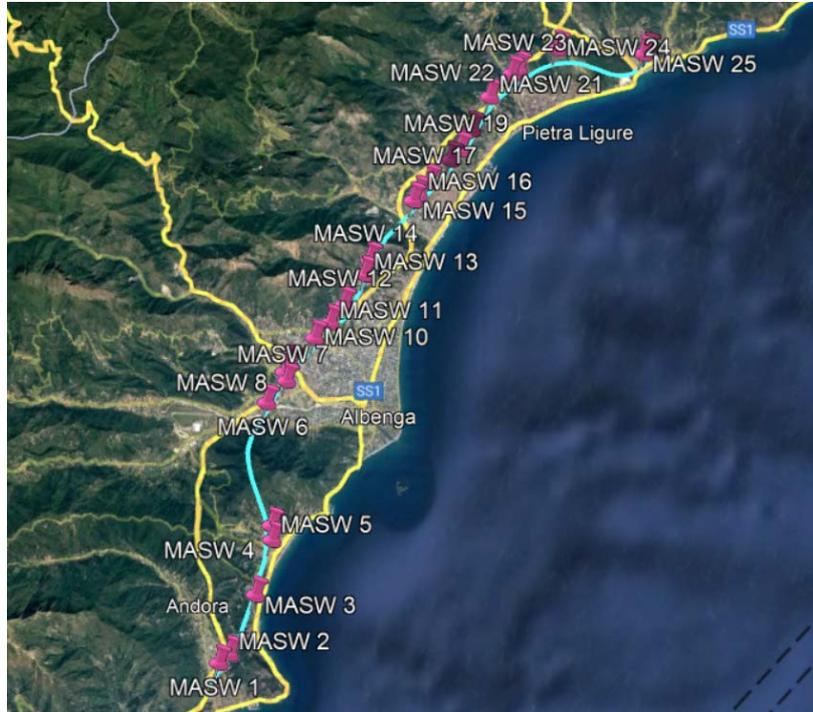


Figura 10 - MASW lungo la tratta

I risultati delle prove d'interesse, richiamate nel capitolo 4.3, sono di seguito riassunti; per maggiori informazioni si rimanda al report fattuale.

Tabella 3 – Sintesi dei risultati delle MASW

Area	Prova	Z_{min} m pc	Z_{max} m pc	V_s m/s	$V_{s,eq}$ m/s	ID opera
Albenga	MASW6	0	2	350	463	VI07
		2	11,9	360		
		11,9	23,6	550		
Albenga	MASW7	23,6	30	620	346	VI07
		0	2,3	300		
		2,3	7,8	370		
		7,8	23,7	980		
Albenga	MASW9	23,7	30	1310	429	VI06
		0	2,5	210		
		2,5	11,8	380		
		11,8	21,4	420		
		21,4	30	810		

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	L371	00	D09	GE VI0000 001	A	34 di 38

Area	Prova	Z _{min} m pc	Z _{max} m pc	V _s m/s	V _{s,eq} m/s	ID opera
Albenga	MASW10	0	2,4	220	337	VI05
		2,4	7,2	180		
		7,2	25,5	480		
		25,5	30	1170		
Ceriale	MASW11	0	2,5	340	404	VI05
		2,5	9,6	390		
		9,6	22,7	370		
		22,7	30	550		
Borghetto S. Spirito	MASW15	0	2,8	200	333	VI03 VI04
		2,8	8,7	220		
		8,7	26,5	410		
		26,5	30	610		
Borghetto S. Spirito	MASW16	0	2,5	260	512	VI03
		2,5	9,5	360		
		9,5	24,2	674		
		24,2	30	750		
Pietra Ligure	MASW22	0	2	260	412	VI02
		2	9,5	270		
		9,5	21,6	530		
		21,6	30	580		
Pietra Ligure	MASW23	0	2	260	398	VI02
		2	10	280		
		10	20,3	430		
		20,3	30	640		
Borgio Verezzi	MASW24	0	2,5	250	274	VI01
		2,5	13,5	280		
		13,5	22,6	920		
		22,6	30	1120		

Sulla base delle informazioni a disposizione, le categorie di sottosuolo individuate sono le seguenti:

Tabella 4 - Categorie di sottosuolo individuate

ID opera	Categoria sottosuolo
VI01	E
VI02	B
VI03	C
VI03	C

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	L371	00	D09	GE VI0000 001	A	35 di 38

ID opera	Categoria sottosuolo
VI04	C
VI05	E
VI06	B
VI07	E
VI08	C

5.3 Condizioni topografiche

Al fine di fornire indicazioni di carattere generale relative all'azione sismica di riferimento, in prima approssimazione per tutti i siti in esame si assume una categoria topografica T1.

T1 Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

T2 Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$.

T3 Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$.

T4 Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$.

Nell'ambito della progettazione delle singole opere, si dovrà provvedere a verificare tale assunzione in funzione del contesto morfologico in cui si inseriranno i manufatti ed a ricalcolare, laddove ritenuto necessario, l'accelerazione orizzontale di picco attesa.

5.4 Azione sismica di riferimento

Sulla base di quanto prescritto dalla normativa vigente, nei confronti delle azioni sismiche, sia gli Stati limite di esercizio (SLE) che gli Stati limite ultimi (SLU) sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli Stati limite di esercizio (SLE) comprendono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	L371	00	D09	GE VI0000 001	A	36 di 38

- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli Stati limite ultimi (SLU) comprendono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Nel periodo di riferimento V_R , le probabilità di superamento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 3.2.I delle NTC 2018. I relativi periodi di ritorno T_R sono calcolati con la seguente relazione:

$$T_R = - V_R / \ln (1 - P_{VR}) = - C_U V_N / \ln (1 - P_{VR})$$

Tabella 5 - Probabilità di superamento e periodi di ritorno in funzione dello stato limite considerato

Stati Limite		P_{VR} (%)	T_R (anni)
Stati limite di esercizio	SLO	81	68
	SLD	63	113

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	L371	00	D09	GE VI0000 001	A	37 di 38

Stati Limite		P_{VR} (%)	T_R (anni)
Stati limite ultimi	SLV	10	1068
	SLC	5	2193

Sulla base di quanto descritto nei capitoli precedenti, si riportano di seguito i valori dei parametri spettrali per le opere oggetto di studio:

Tabella 6 – Parametri spettrali opere

ID opera	Stato limite	a_g g	F₀ -	T_c[*] s	S_s -	S_t[*] -	a_{max} g
VI01	SLD	0.043	2.539	0.237	1.600	1	0.069
	SLV	0.122	2.513	0.306	1.600	1	0.195
VI02	SLD	0.044	2.528	0.240	1.200	1	0.053
	SLV	0.128	2.504	0.305	1.200	1	0.154
VI03	SLD	0.050	2.529	0.243	1.500	1	0.075
	SLV	0.155	2.468	0.301	1.471	1	0.228
VI04	SLD	0.050	2.531	0.243	1.500	1	0.076
	SLV	0.156	2.468	0.301	1.469	1	0.229
VI05	SLD	0.056	2.559	0.243	1.600	1	0.090
	SLV	0.179	2.461	0.300	1.515	1	0.271
VI06	SLD	0.057	2.561	0.244	1.200	1	0.069
	SLV	0.184	2.461	0.300	1.200	1	0.220
VI07	SLD	0.059	2.560	0.245	1.600	1	0.095
	SLV	0.188	2.462	0.300	1.490	1	0.280
VI08	SLD	0.063	2.552	0.246	1.500	1	0.095
	SLV	0.200	2.463	0.301	1.404	1	0.281

* v. assunzioni discusse nel capitolo 5.3

a_g accelerazione orizzontale massima, in condizioni di campo libero su suolo rigido e con superficie topografica orizzontale;

F₀ fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO					
	RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
Opere principali – Viadotti e cavalcavia	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
Relazione geotecnica e sismica viadotti ferroviari	L371	00	D09	GE VI0000 001	A	38 di 38

orizzontale;

T_c^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro;

S_t coefficiente di amplificazione stratigrafica;

S_s coefficiente di amplificazione topografica, assunto con valore unitario (v. cap. 5.3);

a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al suolo, $a_{max} = S_s * S_t * a_g$.