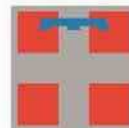




Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



AIPo
Agenzia Interregionale per il fiume Po



**REGIONE
PIEMONTE**

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR)

MISSIONE 2 COMPONENTE 4 INVESTIMENTI 2.1.b

"Misure per la gestione del rischio di alluvione e per la riduzione del rischio idrogeologico"

LAVORI DI CHIUSURA FORNICI IN DESTRA IDRAULICA FIUME BORMIDA IN CORRISPONDENZA DEL RILEVATO FERROVIARIO DELLA LINEA TORINO-GENOVA TRA I COMUNI DI ALESSANDRIA E FRUGAROLO (AL)

Finanziato dall'Unione Europea - Nextgenerationeu
OGGETTO: (AL-E-1797) - CUP: B66F22000030001

PROGETTO DEFINITIVO

OGGETTO:

RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA SULLE
INDAGINI - MODELLAZIONE SISMICA

ELABORATO N.

03

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDAZIONE	REVISIONE
00	Prima Emissione	Agosto 2023	Rolfo	Rolfo
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

I PROGETTISTI:

Ing. Sergio Sordo
Corso Langhe 10 - Alba (CN)
tel: 0173 364823
email: sordosergio@srstudio.info

Geol. Sergio Rolfo
Via Trento e Trieste 8/c - Bra (CN)
tel: 0172 421933
email: sergio.rolfo@geologipiemonte.it

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Luca Franzì

INDICE CAPITOLI

1	PREMESSA	1
2	GEOLOGIA	2
2.1	Inquadramento geografico	2
2.2	Inquadramento geologico	2
2.2.1	Assetto geologico locale.....	7
2.3	Inquadramento geomorfologico	10
2.3.1	Assetto geomorfologico locale.....	11
2.4	Inquadramento geoidrologico	16
2.4.1	Assetto geoidrologico locale.....	17
3	MODELLAZIONE SISMICA	18
3.1	Macrozonizzazione sismica	19
3.2	Microzonizzazione sismica	23
3.3	Azione sismica.....	25
3.3.1	Pericolosità sismica di base del sito	25
3.3.2	Categoria del suolo di fondazione	29
3.3.3	La tecnica impiegata	31
3.3.4	Metodologia di analisi.....	33
3.3.5	Risultati ottenuti.....	34
4	GEOTECNICA.....	35
5	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	43

INDICE FIGURE

FIGURA 1 – STRALCIO (NON IN SCALA) DELL'ALLESTIMENTO CARTOGRAFICO DI RIFERIMENTO BDTRE B/N (HTTPS://WWW.GEOPORTALE.PIEMONTE.IT). IL TRATTO ROSSO COMPRENDE L'AREA IN ESAME.	2
FIGURA 2 – STRALCIO (NON IN SCALA) DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA 1970 – SECONDA EDIZIONE (FOGLIO 70 ALESSANDRIA - SCALA 1: 100.000). L'ELLISSE DI COLORE ROSSO COMPRENDE L'AREA IN ESAME. LA LINEA BLU RAPPRESENTA UNA PORZIONE DELLA SEZIONE I GEOLOGICA.	3
FIGURA 3 - ESTRATTO (NON IN SCALA) DELLA SEZIONE I GEOLOGICA DEL FOGLIO 70 "ALESSANDRIA" DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA. LA GRAFFA DI COLORE ROSSO COMPRENDE L'AREA IN ESAME.	4
FIGURA 4 - ESTRATTO (NON IN SCALA) DELLE MINUTE DEL FOGLIO 70 "ALESSANDRIA" DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA (FOGLIO 70 - QUADRANTE IV - ORIENTAMENTO S.E. ALESSANDRIA). IL CERCHIO ROSSO COMPRENDE L'AREA IN ESAME.....	4

FIGURA 5 - SCHEMA GEOLOGICO SEMPLIFICATO DELLA REGIONE PIEMONTE, IN CUI SONO RAPPRESENTATE LE UNITÀ METAMORFICHE DELLA CATENA ALPINA, LE UNITÀ ADRIATICHE (SUBALPINE), LE UNITÀ LIGURI-APPENNINICHE, LE SUCCESSIONI OLIGOCENICO-MIOCENICHE, PLIOCENICHE E QUATERNARIE AFFIORANTI E I DEPOCENTRI PLIO-QUATERNARI SEPOLTI IN CUI RISIEDONO I PRINCIPALI ACQUIFERI DELLA REGIONE (MODIFICATO DA BIGI ET AL., 1990).	5
FIGURA 6 - PROFILI GEOLOGICI SCHEMATICI ATTRAVERSO I PRINCIPALI ELEMENTI STRUTTURALI DELLA PIANURA PADANA OCCIDENTALE (MODIFICATO DA: CASSANO ET ALII, 1986; FALLETTI ET ALII, 1995; MOSCA, 2006).	7
FIGURA 7 - SCHEMA SEMPLIFICATO DELL'ORGANIZZAZIONE INTERNA DI UN SISTEMA PROGRADANTE (MODIFICATO DA: IRACE ET ALII, 2009).	9
FIGURA 8 - CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE DELLA SUCCESSIONE PLIOCENICA (DA BOTTINO ET AL. 1991)	10
FIGURA 9 – UBICAZIONE SULL'ALLESTIMENTO CARTOGRAFICO DI RIFERIMENTO BDTRE B/N DEI FORNICI.	11
FIGURA 10 – STRALCIO, NON IN SCALA, DALLA CARTA GEOMORFOLOGICA DEI DISSESTI, DELLA DINAMICA FLUVIALE E DEL RETICOLO IDROGRAFICO MINORE ALLEGATA AL PRGC (ANNO 2011) DEL COMUNE DI FRUGAROLO. L'ELLISSE DI COLORE VIOLA COMPRENDE L'AREA IN ESAME.	12
FIGURA 11 - STRALCIO DA GEOPIEMONTE (REGIONE PIEMONTE) CON INDICATE LE FASCE FLUVIALI. L'ELLISSE DI COLORE ROSSO COMPRENDE L'AREA IN ESAME.	13
FIGURA 12 - STRALCIO DA ESTENSIONE DELL'AREA ALLAGABILE (PGRA 2021) GEOPORTALE NAZIONALE – MINISTERO DELL'AMBIENTE. L'ELLISSE DI COLORE ROSSO COMPRENDE L'AREA IN ESAME.	14
FIGURA 13 - STRALCIO DA CLASSI DI RISCHI - ELEMENTI AREALI (PGRA 2021) GEOPORTALE NAZIONALE – MINISTERO DELL'AMBIENTE. L'ELLISSE DI COLORE VERDE COMPRENDE L'AREA IN ESAME.	15
FIGURA 14 - STRALCIO DEGLI ELEMENTI A RISCHIO (PGRA 2021) GEOPORTALE NAZIONALE – MINISTERO DELL'AMBIENTE. L'ELLISSE DI COLORE VERDE COMPRENDE L'AREA IN ESAME.	15
FIGURA 15 – STRALCIO, NON IN SCALA, DALLA CARTA GEOIDROLOGICA ALLEGATA AL PRGC (ANNO 2011) DEL COMUNE DI FRUGAROLO. L'ELLISSE DI COLORE VERDE COMPRENDE L'AREA IN ESAME.....	17
FIGURA 16 - ZONIZZAZIONE SISMOGENETICA ZS9.....	19
FIGURA 17 - CARTA DI PERICOLOSITÀ SISMICA DEL TERRITORIO REGIONALE ESPRESSE IN ACCELERAZIONE ORIZZONTALE DI PICCO PGA CON PERIODO DI RITORNO DI 475 ANNI (PARI ALLA PROBABILITÀ DI NON ECCEDENZA DEL 90% IN 50 ANNI). LE AREE A DIVERSO PGA SONO DIFFERENZiate IN BASE A COLORAZIONI DIVERSE CORRISPONDENTI ALLE DIVERSE CLASSI.....	21
FIGURA 18 - NUOVA CLASSIFICAZIONE AI SENSI DELLA DGR N. 6-887 DEL 30 DICEMBRE 2019.	22
FIGURA 19 - UBICAZIONE DELL'AREA IN ESAME E IDENTIFICATIVO / COORDINATE / DISTANZA DEI SITI DI RIFERIMENTO DALL'AREA IN ESAME.	27
FIGURA 20 - MODELLI STANDARD DEL RUMORE SISMICO MASSIMO (IN VERDE) E MINIMO (IN BLU) PER LA TERRA (SECONDO USGS). GLI SPETTRI DI POTENZA SONO ESPRESSI IN TERMINI DI ACCELERAZIONE E SONO RELATIVI ALLA COMPONENTE VERTICALE DEL MOTO.	32
FIGURA 21 - ESTRATTO DEL "RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE" CONTENUTO NELL'ALLEGATO A.....	34

FIGURA 22 - ESTRATTO DA BANCA DATI ISPRA ARCHIVIO NAZIONALE DELLE INDAGINI NEL SOTTOSUOLO (LEGGE 464/1984) ISPRA - HTTP://SGI2.ISPRAMBIENTE.IT). IL CERCHIO ROSSO INDICA LA POSIZIONE DEL POZZO MENTRE L'ELLISSE VERDE COMPRENDE L'AREA D'INTERVENTO.....	35
FIGURA 23 – ESTRATTO, NON IN SCALA, DELLA CARTA DELLA CARATTERIZZAZIONE LITOTECNICA DEI TERRENI ALLEGATA AL PRGC (ANNO 2011) DEL COMUNE DI FRUGAROLO. L'ELLISSE VERDE COMPRENDE L'AREA D'INTERVENTO.	36
FIGURA 24 – ESTRATTO DA BANCA DATI GEOTECNICA (<i>GEOPORTALE DI ARPA PIEMONTE</i>). L'ELLISSE ARANCIO COMPRENDE L'AREA D'INTERVENTO.	37

INDICE TABELLE

TABELLA 1 – “INGV - DATABASE MACROSISMICO ITALIANO - DBMI15 - SISMI DAL 1000 AL 2020”. DATI RELATIVI AI TERREMOTI CON RELATIVA MAGNITUDO CHE HANNO INTERESSATO IL COMUNE DI ALESSANDRIA.	24
TABELLA 2 – “INGV - DATABASE MACROSISMICO ITALIANO - DBMI15 - SISMI DAL 1000 AL 2020”. DATI RELATIVI AI TERREMOTI CON RELATIVA MAGNITUDO CHE HANNO INTERESSATO IL COMUNE DI FRUGAROLO.	25
TABELLA 3 – STRATIGRAFIA SEMPLIFICATA DEL SONDAGGIO S1 – 105894 CON ANALISI GRANULOMETRICA DEI TERRENI (<i>GEOPORTALE ARPA PIEMONTE</i>).....	37
TABELLA 4 – STRATIGRAFIA SEMPLIFICATA CON PROVE GEOTECNICHE (NsPT) NEL SONDAGGIO 100155 (<i>GEOPORTALE ARPA PIEMONTE</i>).	38
TABELLA 5 – STRATIGRAFIA SEMPLIFICATA STRATIGRAFIA SEMPLIFICATA CON PROVE GEOTECNICHE SPT NEL SONDAGGIO 107487 (<i>GEOPORTALE ARPA PIEMONTE</i>).	38
TABELLA 6 – ANDAMENTO DEI VALORI NsPT NELL'INTORNO DI 500 M DAL SONDAGGIO D1 - 107487 (<i>GEOPORTALE ARPA PIEMONTE</i>).	39
TABELLA 7 – VALORE DI F PER TIPO DI SUOLO (OHTA E GOTO, 1978).....	41

INDICE ALLEGATI

Allegato A	Risultati indagine geofisica
------------	------------------------------

1 PREMESSA

La presente relazione illustra lo studio geologico, geoidrologico, geotecnico sulle indagini pregresse e modellazione sismica, condotto nell'ambito dei *Lavori di Chiusura Fornici in destra idraulica Fiume Bormida in corrispondenza del Rilevato Ferroviario della Linea Torino-Genova tra i Comuni di Alessandria e Frugarolo (Al)* - che l'Agenzia Interregionale per il Fiume Po intende realizzare.

In particolare, i lavori prevedono la chiusura dei quattro fornici presenti nel rilevato ferroviario che risultano la causa dell'allagamento delle aree a tergo dello stesso in caso di eventi di piena del Fiume Bormida.

L'esigenza di definire in modo completo l'assetto dell'ambiente fisico in cui si collocano gli interventi, con riferimento sia alla configurazione attuale sia a quella di progetto, ha comportato lo sviluppo di un'indagine articolata, svolta in più fasi condotte attraverso la raccolta della documentazione scientifica e d'archivio con successiva elaborazione di quanto richiesto dal:

- D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni".
- N.T.A. allegate al P.R.G.C. dei Comuni di Alessandria e Frugarolo.

Il *Capitolo 2* illustra l'assetto geologico generale analizzando anche le componenti geomorfologiche e geoidrologiche.

Il *Capitolo 3* fornisce indicazioni sulla modellazione sismica per l'area in esame.

Il *Capitolo 4* descrive le indagini geognostiche pregresse reperite per l'area in esame.

Le considerazioni conclusive sono esposte nel *Capitolo 5*.

2 GEOLOGIA

2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'opera in progetto è sita (Figura 1) nell'ambito dei limiti amministrativi dei comuni di Alessandria e Frugarolo, nel tratto del Fiume Bormida che si colloca a valle della confluenza del Torrente Orba e poco più a monte del ponte ferroviario della linea Torino – Genova.

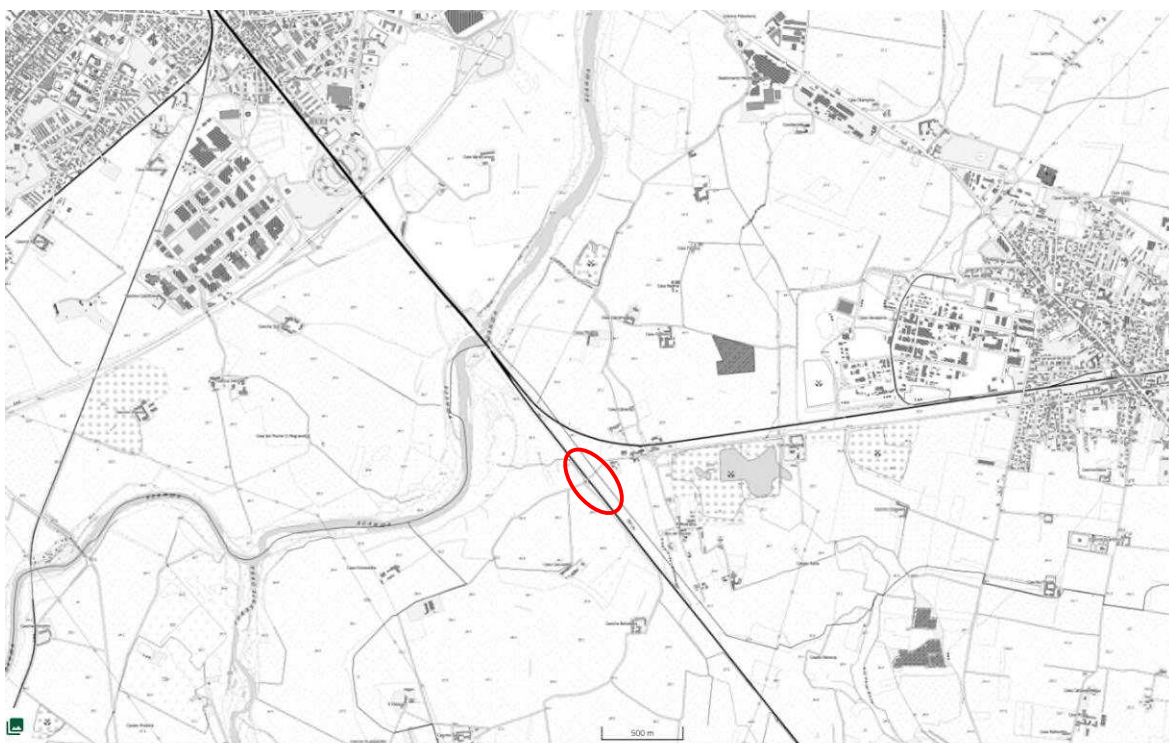


Figura 1 – Stralcio (non in scala) dell'allestimento Cartografico di riferimento BDTRE b/n (<https://www.geoportale.piemonte.it>). Il tratto rosso comprende l'area in esame.

Il Fiume Bormida, nella tratta considerata, presenta le classiche caratteristiche dei corsi d'acqua a regime fluviale di pianura in un contesto morfologico pianeggiante; si modella nei depositi alluvionali avendo al contorno superfici terrazzate in più ordini e numerosi alvei abbandonati con forma relitta ben conservata.

2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La ricostruzione geologica della zona collinare a sud del Po, comprendente le aree alessandrine e del fondo valle del fiume Tanaro, è stata oggetto di numerosi lavori sia a carattere specialistico (paleontologico, stratigrafico, sedimentologico), sia a

carattere più generale, relativamente alla ricostruzione degli eventi deposizionali e deformativi che si sono succeduti nel corso del Terziario in questo ampio bacino.

Fra i lavori a carattere generale si ricordano quelli di *Sacco (1889)*, *Gelati (1968)*, *Boni (1970)*, *Gelati & Gnaccolini (1982; 1988, 2002)* relativi alla stratigrafia del *Bacino Terziario Piemontese (B.T.P.)*, oltre al Foglio n° 70 “Alessandria” della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 100.000 (Figura 2) e la sezione I (Figura 3) sono disponibili le “note di terreno” alla scala 1:25.000 (Figura 4).

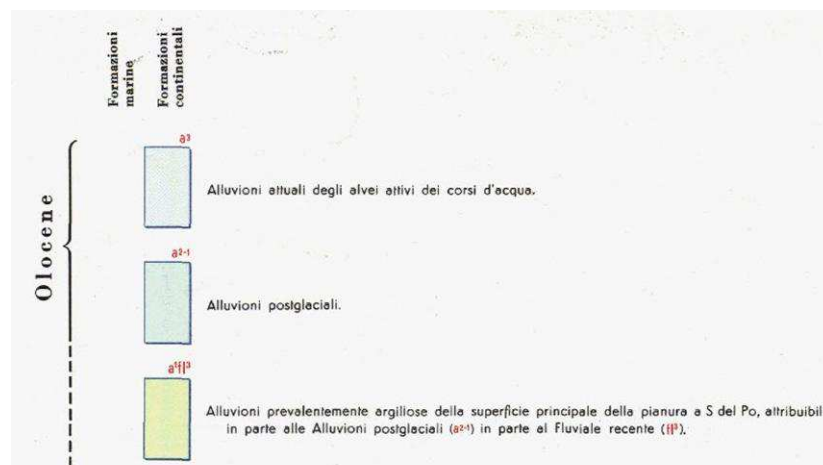
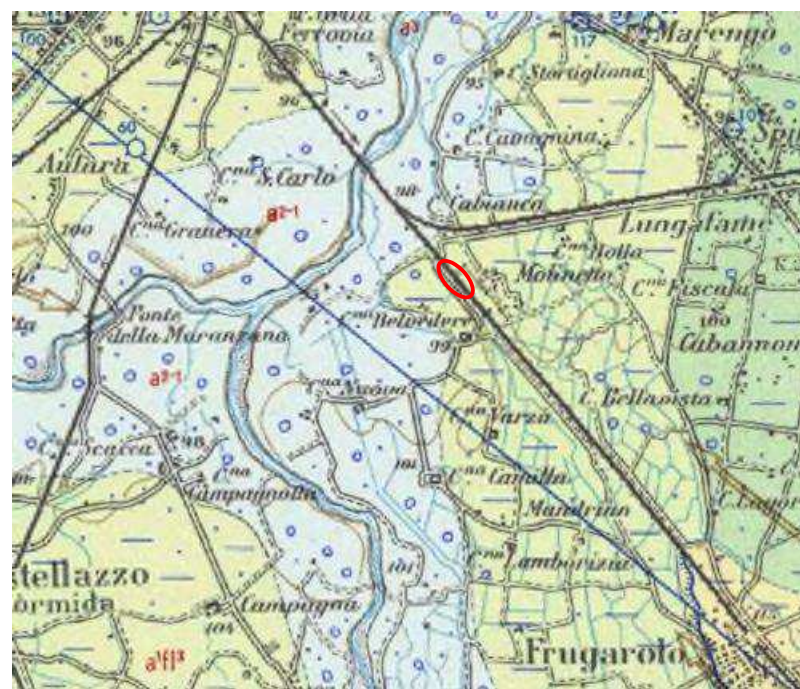


Figura 2 – Stralcio (non in scala) della Carta Geologica d'Italia 1970 – Seconda Edizione (Foglio 70 *Alessandria* - Scala 1: 100.000). L'ellisse di colore **rosso** comprende l'area in esame. La linea **blu** rappresenta una porzione della Sezione I geologica.

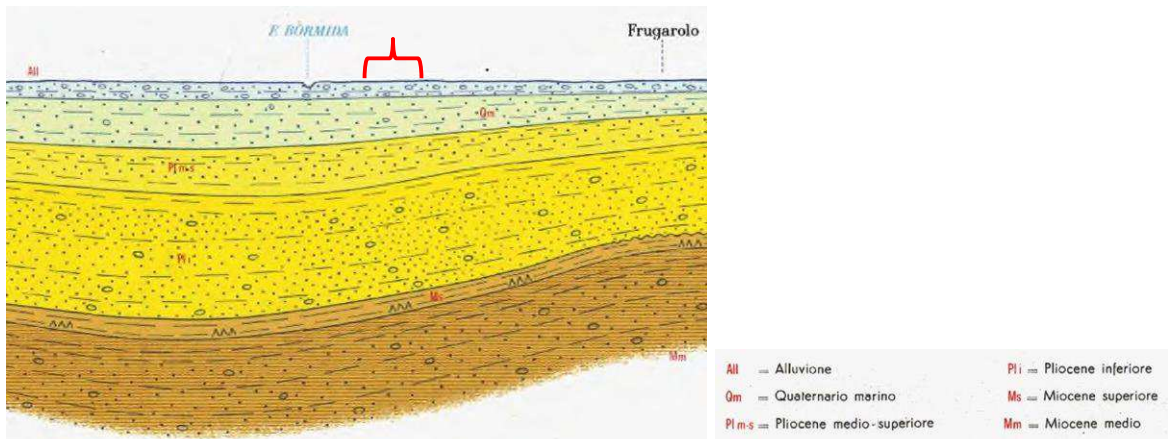


Figura 3 - Estratto (non in scala) della Sezione I geologica del Foglio 70 "Alessandria" della Carta Geologica d'Italia. La graffa di colore rosso comprende l'area in esame.



Figura 4 - Estratto (non in scala) delle minute del Foglio 70 "Alessandria" della Carta Geologica d'Italia (Foglio 70 - Quadrante IV - Orientamento S.E. Alessandria). Il cerchio rosso comprende l'area in esame.

Alcuni lavori dell'ultimo ventennio (*Clari et al. 1995, Piana 2000*) hanno rivisto le teorie classiche relative all'assetto stratigrafico e strutturale del *B.T.P.*, individuando una serie di unità tettonostratigrafiche deposte in bacini relativamente indipendenti fra loro.

In particolare la *Regione Piemonte - Direzione Ambiente*, il *C.N.R. Istituto di Geoscienze e Georisorse - Unità Operativa di Torino* e l'*Università degli Studi di Torino*

- *Dipartimento di Scienze della Terra* hanno, attraverso l'integrazione delle competenze geologico-stratigrafiche, geologico-strutturali, micropaleontologiche e idrogeologiche, fornito, per la prima volta in Piemonte, un modello geologico tridimensionale regionale della geometria e struttura interna degli acquiferi "profondi" e "molto profondi" (oltre a quelli superficiali) e sviluppato i conseguenti modelli geologici e idrogeologici e di flusso. In questo lavoro si evidenzia che differenti successioni di età oligocenico-miocenica, prevalentemente terrigene e di ambiente marino, sono esposte nel settore meridionale del Bacino Terziario Piemontese (suddiviso in Langhe, Alto Monferrato e Borbera-Grue) ed a nord nella Collina di Torino e del Monferrato (Figura 5).

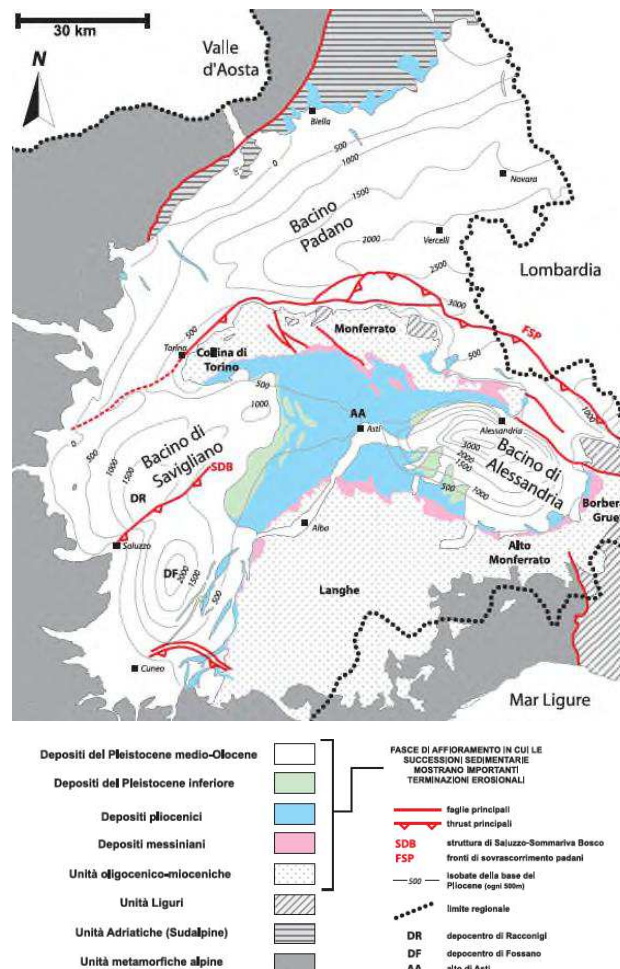


Figura 5 - Schema geologico semplificato della Regione Piemonte, in cui sono rappresentate le unità metamorfiche della catena alpina, le unità Adriatiche (Subalpine), le unità Liguri-Appenniniche, le successioni oligocenico-mioceniche, plioceniche e quaternarie affioranti e i depocentri plio-quaternari sepolti in cui risiedono i principali acquiferi della Regione (modificato da Bigi et al., 1990).

Da quanto sopra esposto si osserva come a partire dall'Eocene superiore e fino a tutto l'Oligocene inferiore al di sopra della parte interna del prisma orogenico alpino si è sviluppato un bacino (Bacino Terziario epi-mesoalpino, MUTTI et al., 1995) che può essere considerato come un bacino di *retroforeland* alpino. Alla fine dell'Oligocene inferiore, il contesto geodinamico regionale viene modificato dall'apertura del Bacino Ligure-Provenzale coevo all'individuazione, nel B.T.P., di bacini localizzati sede di una sedimentazione da terrigena grossolana (F. di Molare nel B.T.P. s.s., F. di Cardona in Monferrato) di ambiente da continentale a marino-marginale, evolvente verso l'alto a una sedimentazione pelitico-marnosa di piattaforma e/o scarpata.

Successivamente, tra l'Oligocene superiore e il Miocene medio, la cinematica di questa parte della catena alpina viene influenzata dagli eventi tettonici coevi alla costruzione della catena appenninica e la parte occidentale del bacino di *retroforeland* alpino viene incorporato in una nuova catena, ora a vergenza appenninica, differenziandosi in diversi domini tettono-stratigrafici costituiti da successioni sedimentarie solo parzialmente confrontabili: la Collina di Torino, l'Alto Monferrato e il bacino delle Langhe, sviluppati su un substrato costituito da unità metamorfiche; il Monferrato e la zona Borbera-Grue, le cui successioni si sono deposte su unità liguri non metamorfiche (PIANA e PELINO, 1995; BIELLA et al., 1997).

A partire dal Serravalliano, le successioni del B.T.P. sono coinvolte nella tettonica nord-vergente padana (FALLETTI et al., 1995).

I vari domini tettono-stratigrafici prima individuatisi sono stati interpretati come bacini satellite (Figura 6) al di sopra del *thrust belt* sud-padano (LAUBSCHER et al., 1992; PIANA, 2000; MOSCA, 2006), che è attualmente sovrascorso sull'avanfossa padana lungo il thrust frontale padano, impostatesi in età messiniano-pliocenica. In posizione interna rispetto a questo fronte, si individuano due settori in subsidenza (Alessandria e Fossano/Moretta), in cui sono stati riconosciuti oltre 3000 metri di sedimenti plio-quadernari (PIERI e GROPPi, 1981; MOSCA, 2006). La loro evoluzione è da mettere in relazione a strutture compressive da tardo mioceniche ad attuali.

Come osservabile nella le successioni a sud del sistema Collina di Torino-Monferrato ed i loro compositi substrati definiscono un bacino di *piggy-back* sovrascorso verso nord sulle successioni terziarie del Bacino Padano.

La dorsale Tortona-Montecastello rappresenta in quest'ottica la culminazione assiale di uno di questi thrust separando il bacino di Alessandria (a S della dorsale) dal bacino della pianura tortonese (posto a N della dorsale) che si raccorda più a N con la Pianura Padana. In corrispondenza della parte apicale di tale dorsale, i sedimenti marini sono stati in parte erosi.

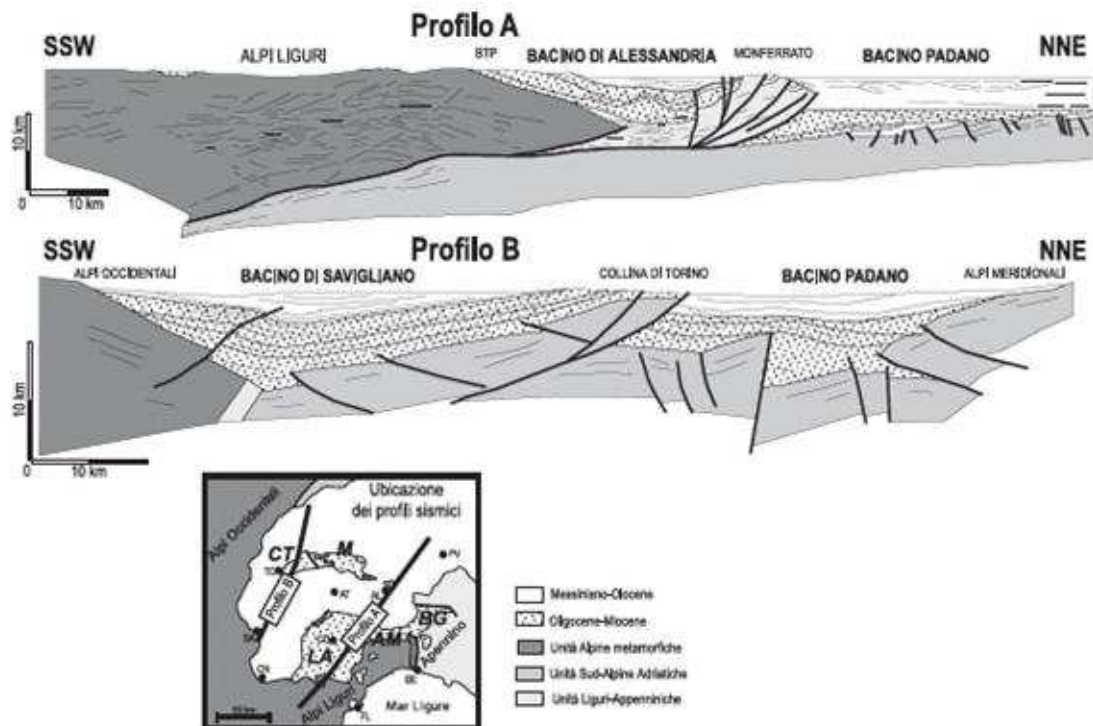


Figura 6 - Profili geologici schematici attraverso i principali elementi strutturali della Pianura Padana occidentale (modificato da: Cassano et alii, 1986; Falletti et alii, 1995; Mosca, 2006).

2.2.1 ASSETTO GEOLOGICO LOCALE

L'assetto dell'area è quindi quello di un profondo solco erosionale sul fondo del quale è stata depositata una sottile coltre di depositi alluvionali (la potenza dei depositi tende ad aumentare in direzione dei rilievi collinari e a ridursi in direzione dell'alveo del Fiume Bormida e del Torrente Orba, la cui geometria interna è definita da interdigitazioni di lenti allungate e separate da superfici erosive, leggermente concave, mentre la granulometria è decrescente verso l'alto con ghiaie alla base, sabbie prevalenti e limi con sabbia a tetto) passanti a sottostanti depositi sabbioso argillosi con livelli ghiaiosi e marnosi.

Secondo il F. n. 70 "Alessandria" alla scala 1:100.000 della Carta Geologica d'Italia e dalle relative note illustrative il territorio alessandrino è caratterizzato prevalentemente da depositi alluvionali che occupano il territorio di pianura e in subordine dai terreni tardo-terziari della collina.

I depositi di pianura alluvionale, nel settore in esame, sono riconducibili a:

- **a¹fi³** "*Alluvioni prevalentemente argillose della superficie principale della pianura a S del Po, attribuibili in parte alle Alluvioni postglaciali, in parte al Fluviale recente*". Sono leggermente sospese rispetto alle alluvioni recenti e attuali e sono attribuibili all'Olocene ed in parte al Pleistocene Superiore, occupano la fascia esterna del conoide quaternario Tanaro-Bormida come sottolineato nelle "minute di terreno" (Figura 4) del Foglio 70 "Alessandria" redatte alla scala 1:25.000.

Al disotto sono presenti:

- **fi¹** "*Fluviale e fluvio-lacustre antichi*" Depositi alluvionali ghiaioso, sabbiosi e siltoso-argillosi con presenza alla base di ghiaie alterate alternate ad argille attribuibili al Villafranchiano che si collegano ai depositi tardo-terziari pliocenici del BTP affioranti nel settore collinare di Alessandria.
- **P3-2** "*Sabbie d'Asti*" costituite da tipiche litofacies di ambiente litorale e di mare poco profondo con presenza di sabbie argillose, sabbie gialle con livelli ghiaiosi e intercalazioni marnose, banchi di calcareniti e calciruditi. Questa formazione è attribuibile al Pliocene Superiore-Medio. Le calcareniti affiorano anche in prossimità della confluenza tra Tanaro e Bormida dove determinano una soglia competente che condiziona il flusso delle acque.
- **P** "*Argille di Lugagnano*" sono rappresentate da argille e argille marnose omogenee grigio azzurre con livelli sabbiosi nella parte alta. La formazione è attribuita al Pliocene

I depositi del pliocene medio-inferiore corrispondono ad un prisma sedimentario con geometria progradazionale, caratterizzato al suo interno da clinostratificazioni ben riconoscibili nei profili sismici. Esso è verosimilmente connesso alla migrazione verso il largo di sistemi deposizionali di margine di bacino e di sistemi deposizionali deltizi. Nelle interpretazioni classiche, (ad es. Mitchum et al., 1977) il profilo

deposizionale dei prismi progradanti risulta diviso in tre grosse porzioni, che corrispondono ad ambienti distinti associati lateralmente, in cui si sviluppano depositi coevi e lateralmente equivalenti (Figura 7).

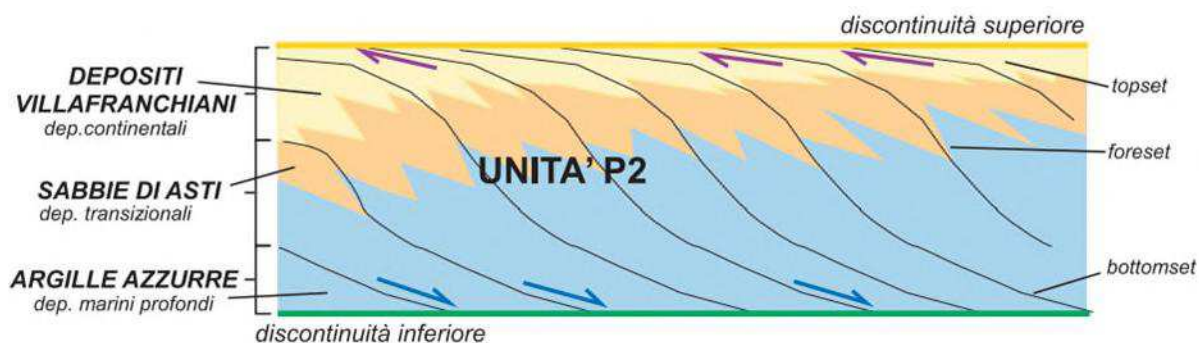


Figura 7 - Schema semplificato dell'organizzazione interna di un sistema progradante (modificato da: Irace et alii, 2009).

La successione pliocenica (Figura 8) inizia con depositi argillosi e marnosi con intercalazioni sabbiose, trasgressivi su quelli del Miocene, legati a sedimentazione di mare piuttosto profondo (*facies piacentiana Auct.*), i cui termini più rappresentativi sono le argille marnose di colore grigio azzurro appartenenti alla Formazione delle *Argille di Lugagnano*, la cui potenza si mantiene mediamente sui 40-50 metri ma può localmente, nella parte assiale della sinclinale, superare anche i 200 metri.

La formazione è costituita da argille limose di colore grigio-azzurro in genere omogenee e senza stratificazione evidente. Nella metà superiore si intercalano livelletti decimetrici di sabbia a grana fine, interpretati come tempestiti. Si tratta di argille di piattaforma (*offshore*) che dal punto di vista paleobiocenotico, in base al contenuto paleontologico, possono essere ricondotte alla biocenosi dei "fanghi terrigeni costieri" dei bionomi mediterranei (*Pérès & Picard, 1964*).



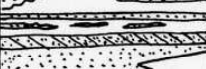



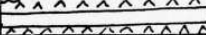
ETA'	AMBIENTE	COLONNA LITOSTRATIGRAFICA	LITOLOGIE	FORMAZIONE
Pleistocene	Pianura alluvionale interna		Conglomerati, ghiaie, sabbie, siltiti, peliti	Alluvioni quaternarie
	Pianura alluvionale costiera		Peliti, siltiti, sabbie	Villafranchiano Auct.
	Piana di marea		Sabbie, peliti	Sabbie d'Asti
Pliocene	Piattaforma interna		Sabbie	Sabbie d'Asti
	Piattaforma esterna		Peliti, siltiti, intercalazioni sabbiose	Argille di Lugagnano
	Delta conoide lagunare		Conglomerati, arenarie, peliti, siltiti	Conglomerati di Cassano Spinola
Messiniano	Lagunare-evaporitico		Gessi, peliti	Formazione gessoso solfifera

Figura 8 - Caratteristiche litostratigrafiche della successione pliocenica (da Bottino et al. 1991)

2.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'assetto geomorfologico è conseguente alle divagazioni del Fiume Bormida, come testimoniato dalle diffuse tracce di modellamento fluviale visibili sul terreno, si possono riconoscere, infatti, vecchi alvei abbandonati, mentre, più generalmente, anche la semplice tessitura agraria, con le sue diverse geometrie, permette di distinguere le fasce di terreno, progressivamente abbandonate dal fiume ed insediate da colture agricole.

Per il corso d'acqua in esame e la sua piana alluvionale di fondovalle le caratteristiche fisiche legate all'evoluzione idrografica risultano interdipendenti con i processi di:

- variabilità dell'assetto morfologico della piana alluvionale, determinata dalla impostazione geostrutturale di tipo regionale;
- variabilità d'andamento fluviale lungo il percorso e nel tempo, connessa a parametri geometrici della piana e a fattori idrodinamici dell'alveo, condizionati dagli interventi antropici;
- variabilità di distribuzione dei banchi di sedimento in alveo (barre fluviali), conseguente alle locali disponibilità di corpi sedimentari più o meno erodibili lungo il percorso.

2.3.1 ASSETTO GEOMORFOLOGICO LOCALE

Come indicato nella Relazione Illustrativa la zona di esondazione del Fiume Bormida viene intersecata dal rilevato ferroviario della linea Torino – Genova, che funge anche da barriera all'acqua. Questa barriera non è continua ma sono presenti dei fornici con varie funzioni antropiche e ciò non permette di preservare dall'allagamento i territori che si trovano a tergo del rilevato ferroviario.

In particolare, sono quattro i fornici (Figura 9) che determinano l'allagamento a tergo del rilevato:

- il fornice n.1 è costituito da una galleria con volta ad arco di dimensioni 80 x 115 cm, realizzata in mattoni pieni;
- il fornice n.2 ha una struttura a ponte con spalle in mattoni e soletta realizzata con travi in acciaio accostate su cui è stata realizzata una caldana in c.a.;
- il fornice n.3 è costituito da una galleria con volta ad arco di dimensioni 140 x 115 cm, realizzata in mattoni pieni;
- il fornice n.4 è costituito da una galleria con volta ad arco di dimensioni 200 x 245 cm, realizzata in mattoni pieni.

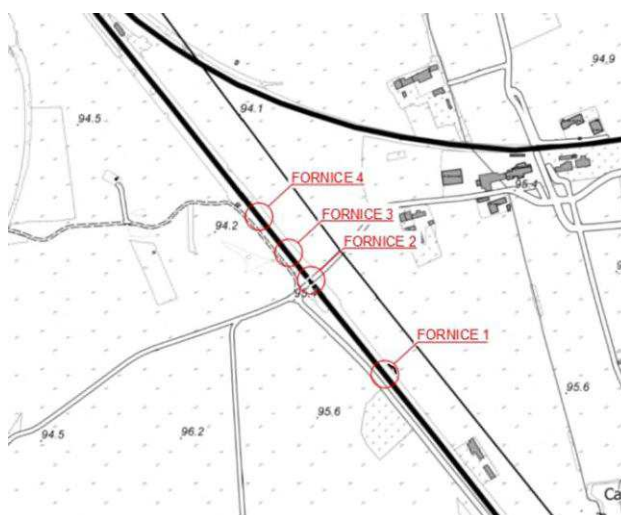


Figura 9 – Ubicazione sull'allestimento Cartografico di riferimento BDTRE b/n dei fornici.

La morfologia dei luoghi è sostanzialmente pianeggiante, con una lieve digradazione verso il Torrente Orba ed il Fiume Bormida, ma presenta un settore topograficamente depresso in corrispondenza del fornice 2, oltre il quale si materializza un

quadrivio che attraverso Strada Bolla e Strada Mandrino collega Località Spinetta Marengo al Comune di Frugarolo.

Per una caratterizzazione generale della pericolosità dell'area in esame si è fatto riferimento ad una serie di documenti, a carattere geomorfologico disponibili presso le Pubbliche Amministrazioni.

- *Comune di Frugarolo*

Nella Carta Geomorfologica dei dissesti, della dinamica fluviale e del reticolo idrografico minore allegata al PRGC (anno 2011) del Comune di Frugarolo l'area in esame si inserisce all'esterno del limite di progetto tra la Fascia B e la Fascia C (Figura 10).

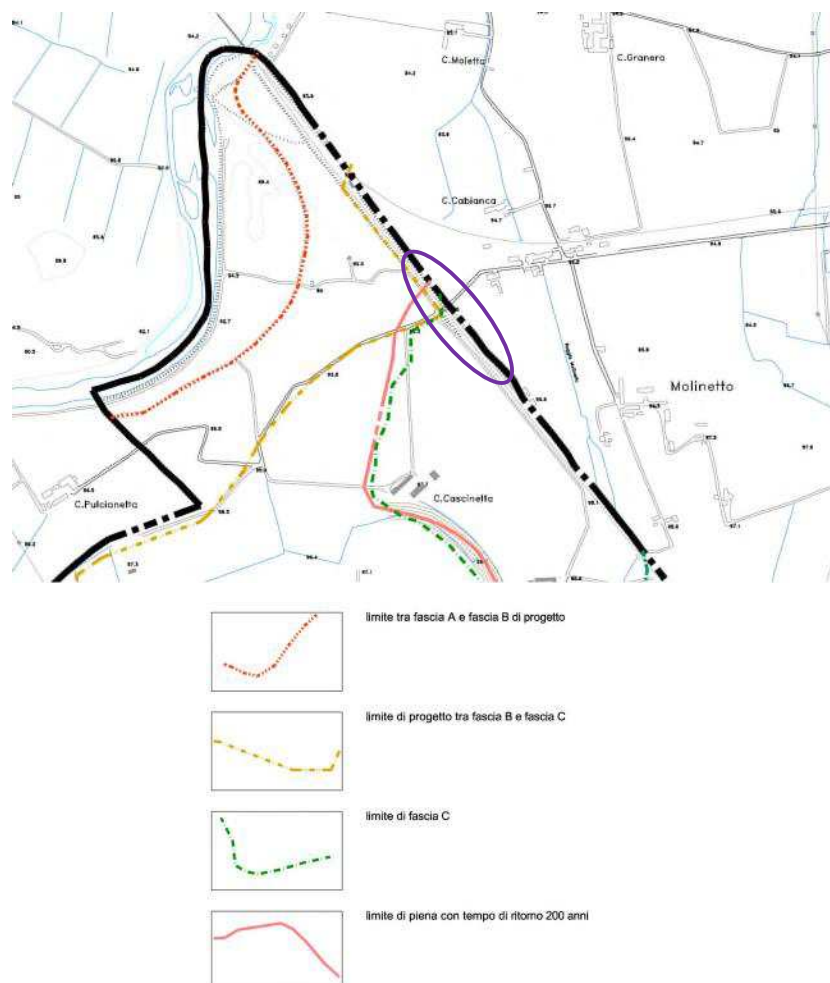


Figura 10 – Stralcio, non in scala, dalla Carta Geomorfologica dei dissesti, della dinamica fluviale e del reticolo idrografico minore allegata al PRGC (anno 2011) del Comune di Frugarolo. L'ellisse di colore **viola** comprende l'area in esame.

- **Regione Piemonte**

Nel servizio online del GeoPiemonte (<https://www.geoportale.piemonte.it>) sono indicate le fasce fluviali.

L'area in esame si inserisce all'esterno della Fascia A e della Fascia B di progetto (Figura 11).

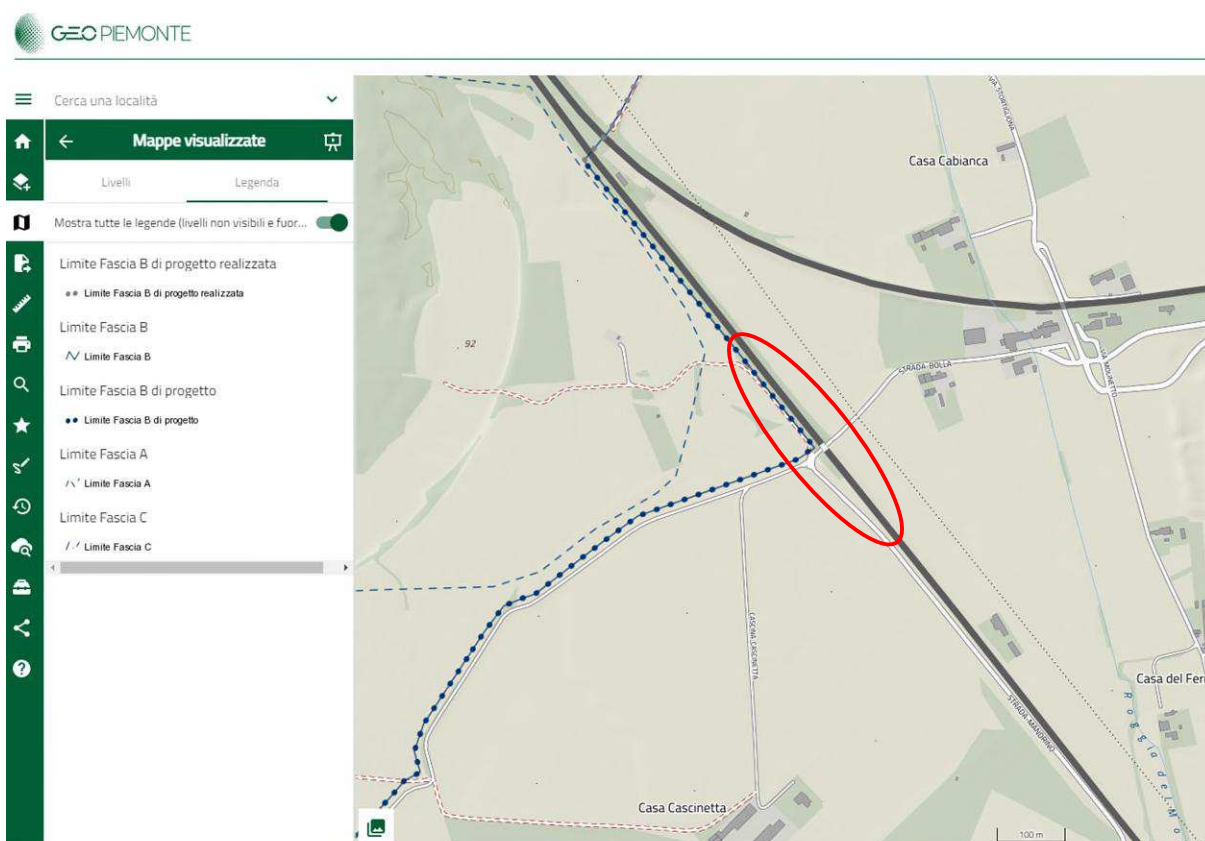


Figura 11 - Stralcio da GeoPiemonte (Regione Piemonte) con indicate le fasce fluviali. L'ellisse di colore rosso comprende l'area in esame.

- **Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA)**

Il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, nella seduta del 17 dicembre 2015 con deliberazione n. 4 e relativo allegato, ha adottato il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) nel quale è riportata la mappatura delle aree potenzialmente interessate da alluvioni, classificate in base alla pericolosità (aree allagabili) e al rischio.

Come osservabile in Figura 12, l'area in esame nell'aggiornamento della PGRA all'Anno 2021, è caratterizzata da limite netto del rilevato ferroviario che separa

i settori con una media probabilità di alluvione (tempo di ritorno compreso tra 100 e 200 anni – M – in direzione del Fiume Bormida /Torrente Orba, passante a una probabilità scarsa di alluvione (tempo di ritorno di 500 anni – L – in direzione di Spinetta Marengo).

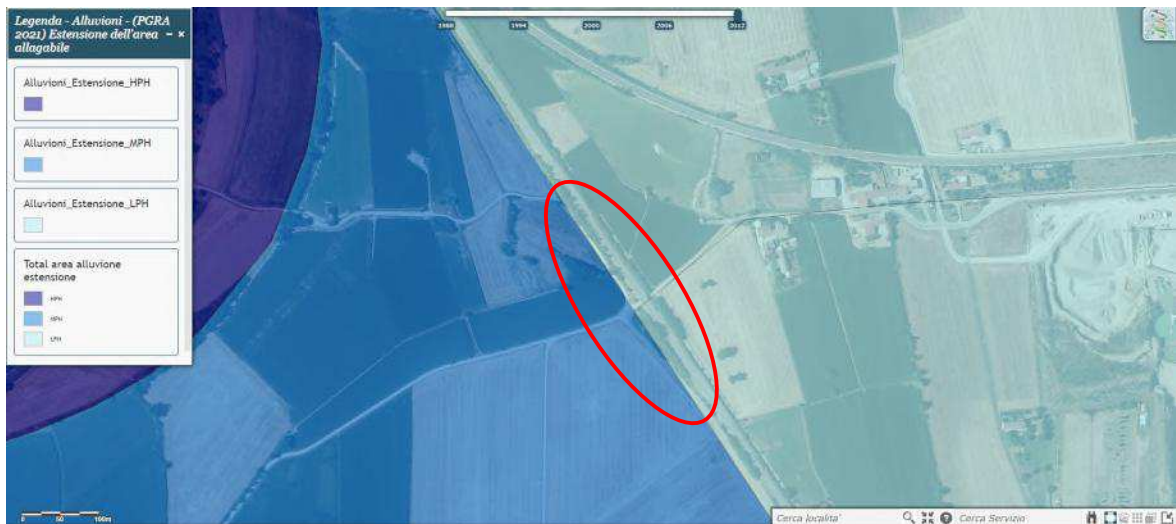


Figura 12 - Stralcio da Estensione dell'Area Allagabile (PGRA 2021) Geoportale Nazionale – Ministero dell'Ambiente. L'ellisse di colore rosso comprende l'area in esame.

La cartografia:

- delle Classi di Rischi corrispondente livello di rischio, distinto in 4 classi: R1 – Rischio moderato o nullo, R2 – Rischio medio, R3 – Rischio elevato, R4 – Rischio molto elevato (Figura 13);
- degli Elementi a Rischio indica elementi potenzialmente esposti agli allagamenti quali popolazione, attività economiche e culturali (Figura 14).

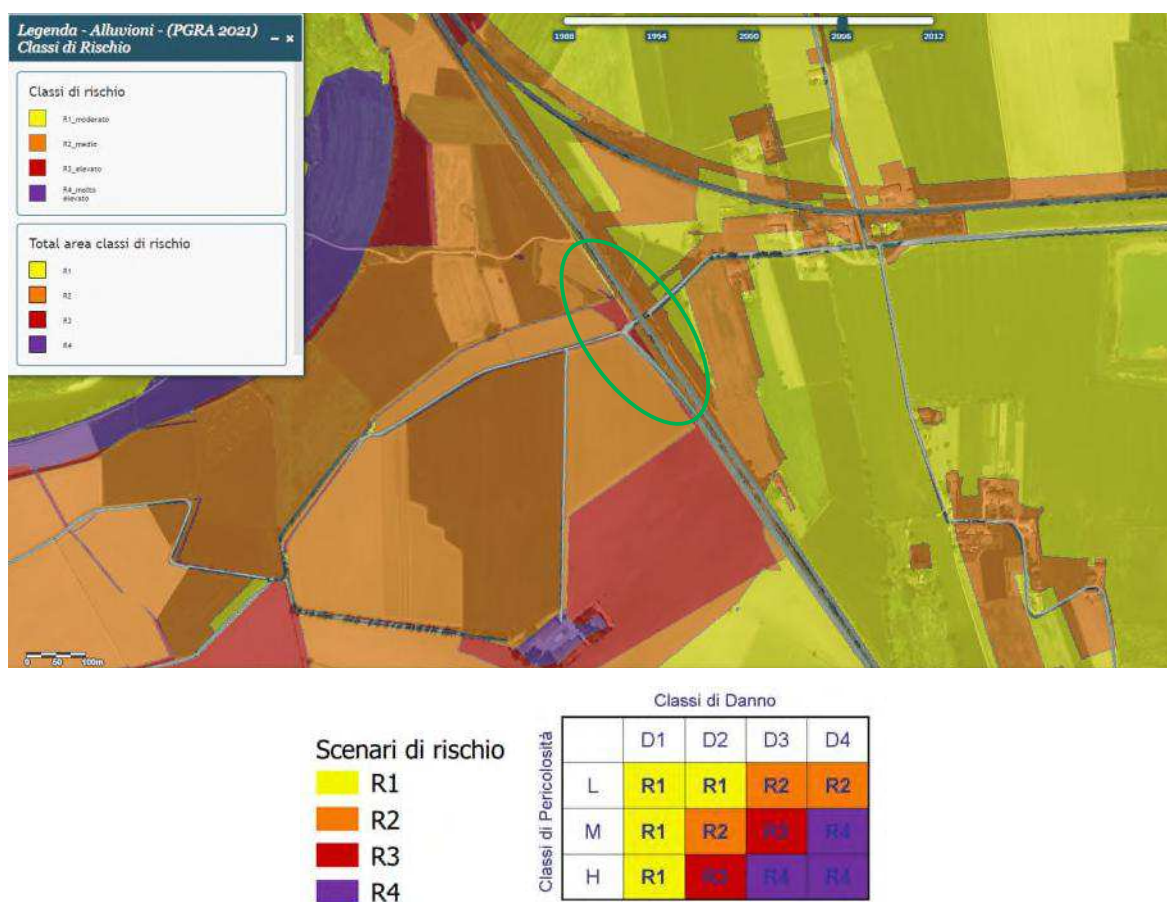


Figura 13 - Stralcio da Classi di Rischi - Elementi areali (PGRA 2021) Geoportale Nazionale – Ministero dell'Ambiente. L'ellisse di colore verde comprende l'area in esame.

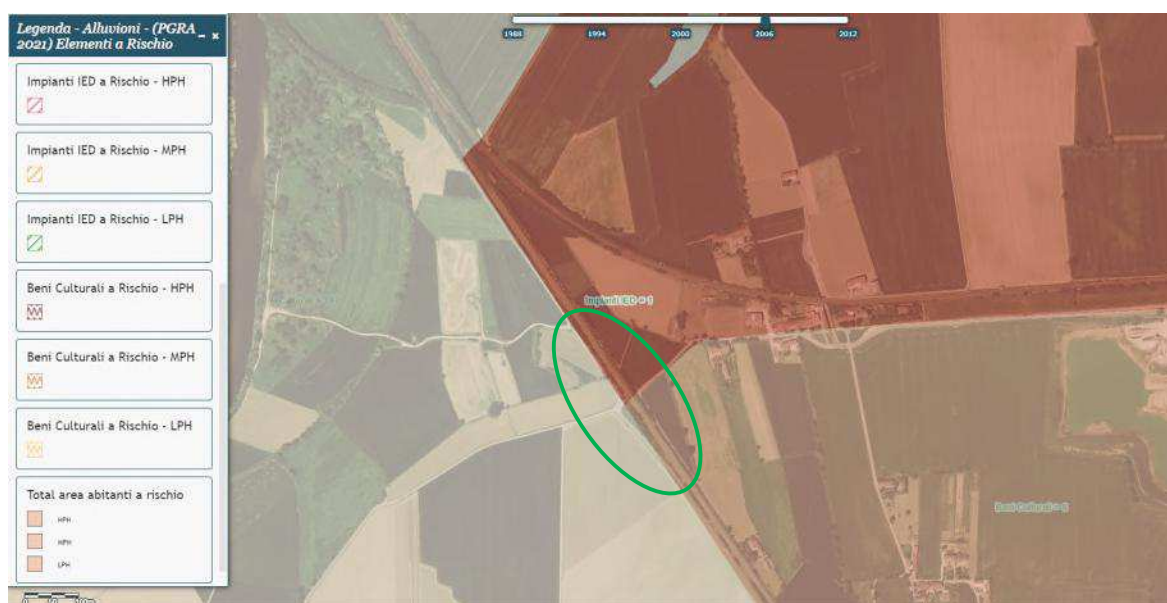


Figura 14 - Stralcio degli Elementi a Rischio (PGRA 2021) Geoportale Nazionale – Ministero dell'Ambiente. L'ellisse di colore verde comprende l'area in esame.

2.4 INQUADRAMENTO GEOIDROLOGICO

Sotto questo profilo, l'area è compresa nel *Bacino Terziario Piemontese (B.T.P.)* costituito, nel sito in esame, da una successione di sedimenti marini, di età compresa tra il Miocene ed il Pliocene medio, e di sedimenti fluvio-palustri, di età compresa tra il Pliocene superiore e il Pleistocene inferiore. Su questa successione, troncata da evidenti superfici di erosione, si sviluppa una sottile e diffusa copertura di depositi fluviali.

Tale area costituisce la parte orientale del B.T.P., che presenta una struttura sinclinale con fianchi debolmente inclinati ed asse Est-Ovest.

Le litologie presenti nell'area in esame, sulla base delle caratteristiche geoidrologiche, sono state raggruppate in unità geoidrologiche.

L'assetto geoidrologico è stato quindi ricostruito individuando Serie Geoidrologiche, differenziate per genesi e per età.

L'assetto della circolazione idrica sotterranea è stato strutturato su due serie idrogeologiche principali soggiacenti, elencate secondo il loro ordine di sovrapposizione:

- **Serie Quaternaria.** Nel settore in esame è presente il Complesso dei depositi alluvionali del fondovalle e dei terrazzi annessi, caratterizzato da depositi originati da vari cicli di alluvionamento, strutturati dall'interdigitazione tra le conoidi postglaciali del settore meridionale ed in particolare di Bormida e Orba prevalentemente grossolane con i materiali più fini del Tanaro. Lo spessore di questi depositi supera i 50 metri presso la confluenza Torrente Orba – Fiume Bormida.
- **Serie dei depositi di transizione del Villafranchiano.** Sono depositi di transizione tra l'ambiente continentale di tipo fluviale ad alta energia e l'ambiente palustre-lacustre a bassa energia; ne deriva l'alternanza di livelli ghiaioso-sabbiosi, sabbie da fini a grossolane e di argille limoso-sabbiose e argille e torbe. Il Villafranchiano Superiore è caratterizzato in generale da un ambiente a più alta energia di tipo tipicamente fluviale, mentre il Villafranchiano Inferiore presenta caratteri di bassa energia con deposizione di prevalenti sabbie fini, argille limose, argille marnose grigio-verdi.

2.4.1 ASSETTO GEOIDROLOGICO LOCALE

L'assetto geoidrologico della pianura, entro cui si sviluppa l'area d'intervento corrispondente al settore laterale dell'incisione del F. Bormida, è improntato sulla presenza, in affioramento, di un Complesso dei depositi alluvionali. Tale elemento costituisce l'acquifero libero principale e ospitante la falda libera superficiale la quale presenta una soggiacenza compresa tra 6 ÷ 8 m come indicato nella Carta Geoidrologica (Figura 15) allegata al PRGC (anno 2011) del Comune di Frugarolo.

Normalmente la superficie piezometrica supera quella del livello idrometrico fluviale, la falda libera risulta così drenata dall'asta fluviale del Fiume Bormida e dal Torrente Orba; è ipotizzabile, però, che in corrispondenza degli eventi di piena di tipo catastrofico il livello idrometrico possa superare il livello medio di falda invertendo così la direzione di flusso, che risulterebbe comunque molto rallentata. La durata di un evento di questo tipo non supera i due o tre giorni, poiché l'ascesa ed il decremento dei livelli dovuti all'onda di piena sono estremamente concentrati nel tempo.

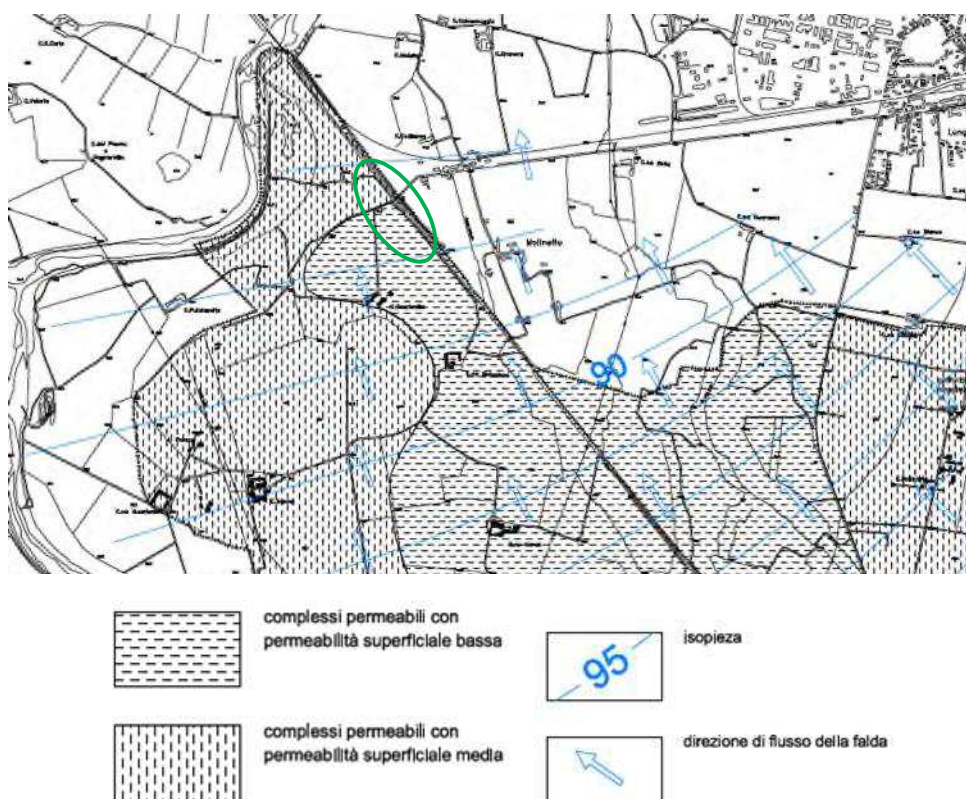


Figura 15 – Stralcio, non in scala, dalla Carta Geoidrologica allegata al PRGC (anno 2011) del Comune di Frugarolo. L'ellisse di colore verde comprende l'area in esame.

3 MODELLAZIONE SISMICA

Il rischio sismico è il risultato dell'interazione tra il fenomeno naturale e le principali caratteristiche della comunità esposta. Si definisce come l'insieme dei possibili effetti che un terremoto di riferimento può produrre in un determinato intervallo di tempo, in una determinata area, in relazione alla sua probabilità di accadimento ed al relativo grado di intensità (severità del terremoto). La determinazione del rischio è legata a tre fattori principali:

- **Pericolosità** - Esprime la probabilità che, in un certo intervallo di tempo, un'area sia interessata da terremoti che possono produrre danni. Dipende dal tipo di terremoto, dalla distanza tra l'epicentro e la località interessata nonché dalle condizioni geomorfologiche. La pericolosità è indipendente e prescinde da ciò che l'uomo ha costruito.
- **Esposizione** - È una misura dell'importanza dell'oggetto esposto al rischio in relazione alle principali caratteristiche dell'ambiente costruito. Consiste nell'individuazione, sia come numero che come valore, degli elementi componenti il territorio o la città, il cui stato, comportamento e sviluppo può venire alterato dall'evento sismico (il sistema insediativo, la popolazione, le attività economiche, i monumenti, i servizi sociali).
- **Vulnerabilità** - Consiste nella valutazione della possibilità che persone, edifici o attività subiscano danni o modificazioni al verificarsi dell'evento sismico. Misura da una parte la perdita o la riduzione di efficienza, dall'altra la capacità residua a svolgere ed assicurare le funzioni che il sistema territoriale nel suo complesso esprime in condizioni normali. Ad esempio, nel caso degli edifici la vulnerabilità dipende dai materiali, dalle caratteristiche costruttive e dallo stato di manutenzione ed esprime la loro resistenza al sisma.

Le indagini per la valutazione del rischio sismico possono quindi essere suddivise in due fasi:

- Macrozonizzazione sismica.
- Microzonizzazione sismica.

3.1 MACROZONIZZAZIONE SISMICA

Negli ultimi anni il punto di riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica è stato rappresentato dalla zonazione sismogenetica ZS9 (Scandone *et al.* 1996 - 2000), riportata nella Figura 16, che rappresenta la traduzione operativa del modello sismotettonico riassunto in Meletti *et al.* (2000). In seguito all'emanazione dell'O.P.C.M. 20.3.2003, n. 3274 è stato redatto a cura di un gruppo di lavoro dell'INGV un documento denominato *“Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall' O.P.C.M. 20-3-2003, n. 3274. Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici”*.

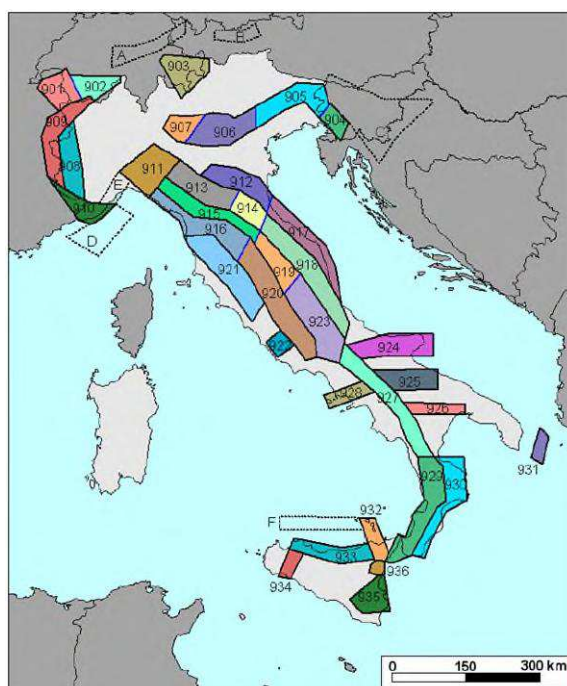
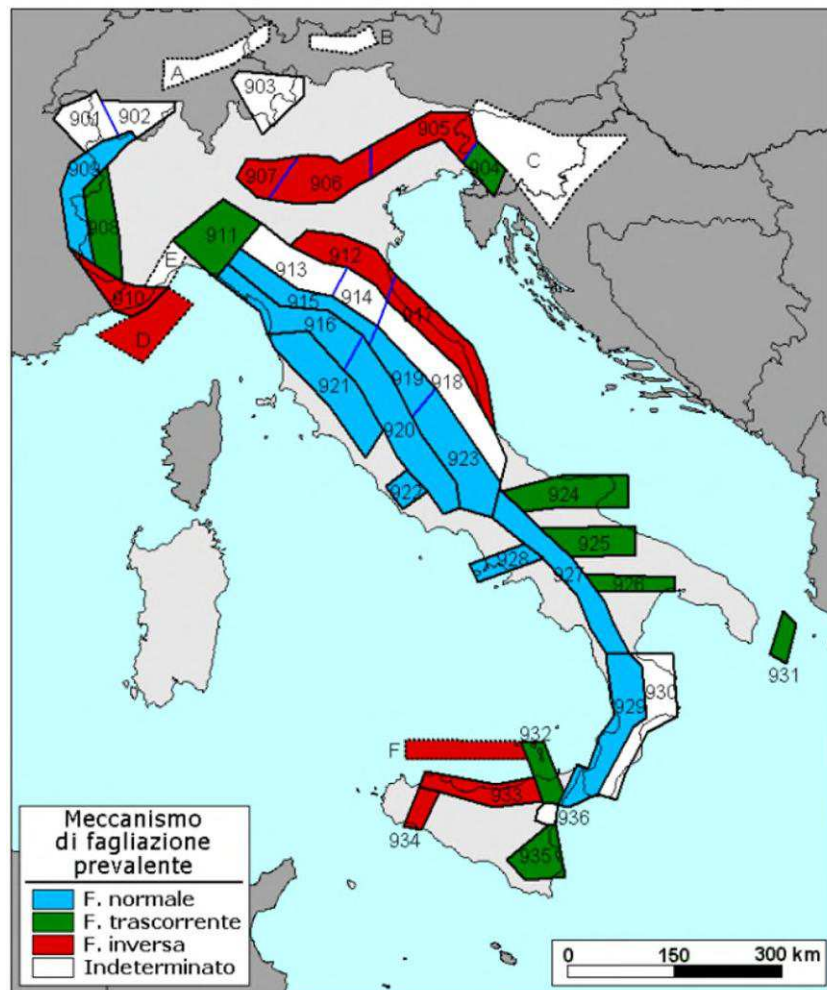


Figura 16 - Zonizzazione sismogenetica ZS9.

La zona sismogenetica che interessa parte dell'alessandrino e arriva a lambire la porzione più ad E del comune di Alessandria è la zona denominata 911 facente parte del blocco definito “Appennino settentrionale e centrale”. Tale zona delimita a N l'arco appenninico e comprende quello che viene definito “arco di Pavia” e le strutture ad esso relative. In particolare la zonazione ZS9 attribuisce alle strutture appartenenti alla zona 911 una funzione di svincolo cinematico tra il sistema alpino e quello appenninico.

La ZS9 definisce anche qual è il meccanismo di fagliazione prevalente per ogni zona, ovvero quello che ha la massima probabilità di caratterizzare i futuri terremoti significativi. Alla zona 911 viene attribuito un meccanismo di fagliazione prevalente trascorrente.



Come accennato in precedenza, 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*", pubblicata sulla G.U. n. 105 dell'8 maggio 2003 Supplemento ordinario n. 72, vengono individuate, in prima applicazione, le zone sismiche sul territorio nazionale, e fornite le normative tecniche da adottare per le costruzioni nelle zone sismiche stesse. Secondo tale ordinanza il territorio nazionale è

suddiviso 4 zone sismiche, ciascuna delle quali è stata definita in funzione di determinati intervalli dei valori dell'accelerazione orizzontale massima del suolo, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (a_g , a_{\max} o PGA - *Peak Ground Acceleration*) riferita ad un substrato rigido assimilabile al *bedrock* ("suolo di categoria A") e associata ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, cioè ad un tempo di ritorno di 475 anni. L'accelerazione massima di riferimento, per il sito oggetto di studio, raggiunge valori massimi di PGA pari a 0,05g.

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni a_g/g	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) a_g/g
1	$> 0,25$	0,35
2	0,15 - 0,25	0,25
3	0,05 - 0,15	0,15
4	$< 0,05$	0,05

La classificazione vista sopra è stata successivamente integrata dall'Ordinanza PCM. n. 3519/2006 con la pubblicazione della mappa della pericolosità sismica di riferimento (Figura 17) e della seguente tabella che attribuisce i valori di a_g orizzontale massima da utilizzarsi per la costruzione degli spettri di risposta.

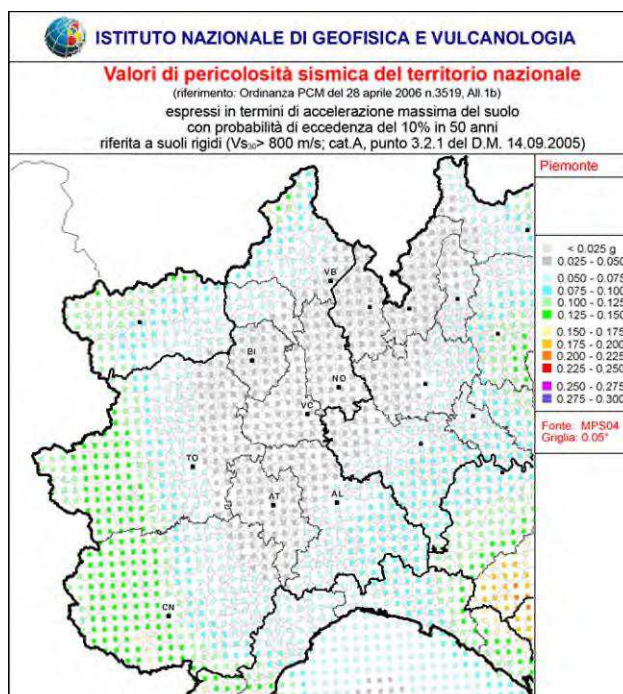


Figura 17 - Carta di pericolosità sismica del territorio regionale espressa in accelerazione orizzontale di picco PGA con periodo di ritorno di 475 anni (pari alla probabilità di non eccedenza del 90% in 50 anni). Le aree a diverso PGA sono differenziate in base a colorazioni diverse corrispondenti alle diverse classi.

La “*Deliberazione della Giunta Regionale 30 dicembre 2019, n. 6-887 OPCM 3519/2006. Presa d'atto e approvazione dell'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte, di cui alla D.G.R. del 21 maggio 2014, n. 65-7656*” provvede all'aggiornamento ed adeguamento dell'elenco delle zone sismiche in virtù delle disposizioni dell'O.P.C.M. 3519/2006 e stabilisce che i comuni di Alessandria e Frugarolo appartengono alla zona 3 (Figura 18).

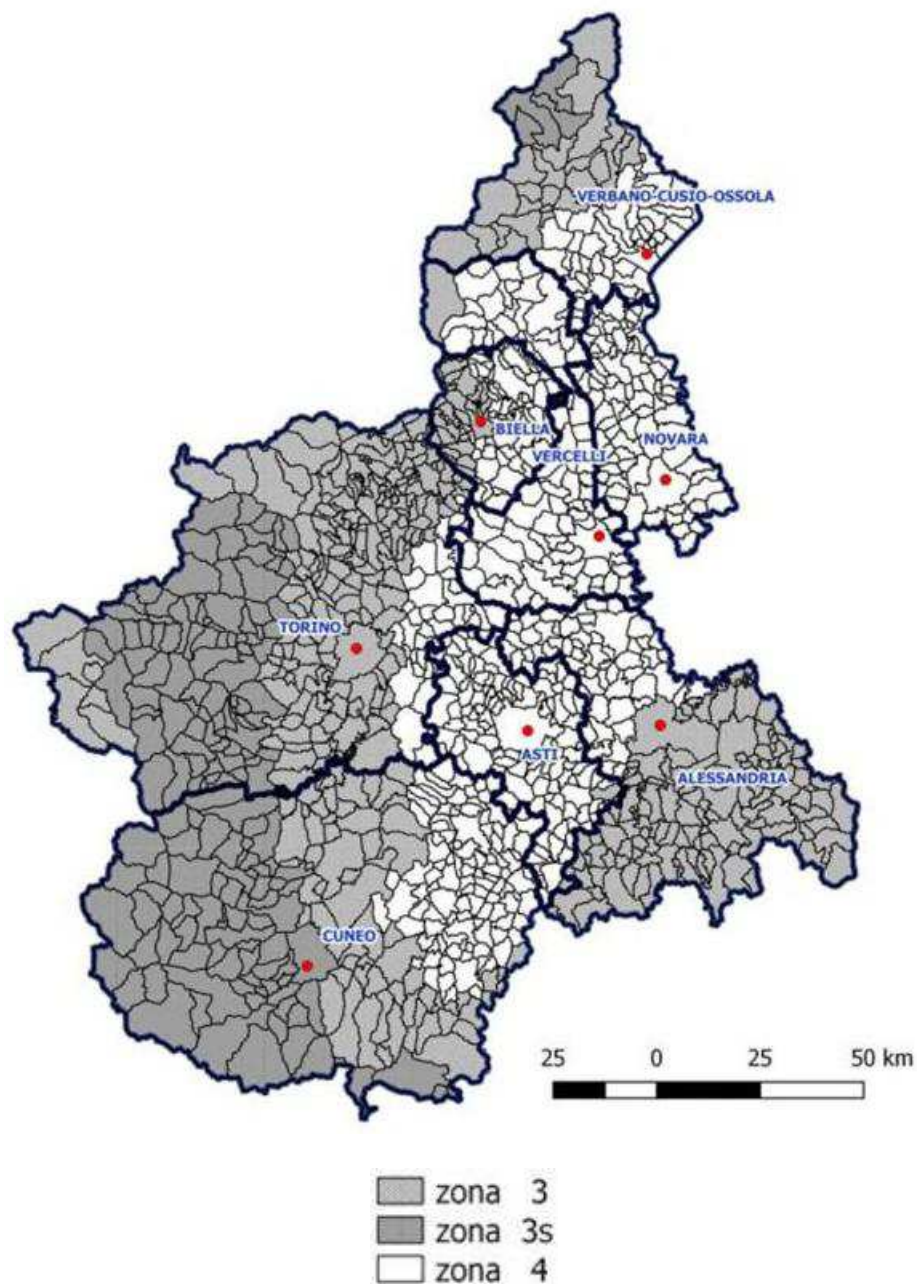


Figura 18 - Nuova classificazione ai sensi della DGR n. 6-887 del 30 dicembre 2019.

3.2 MICROZONIZZAZIONE SISMICA

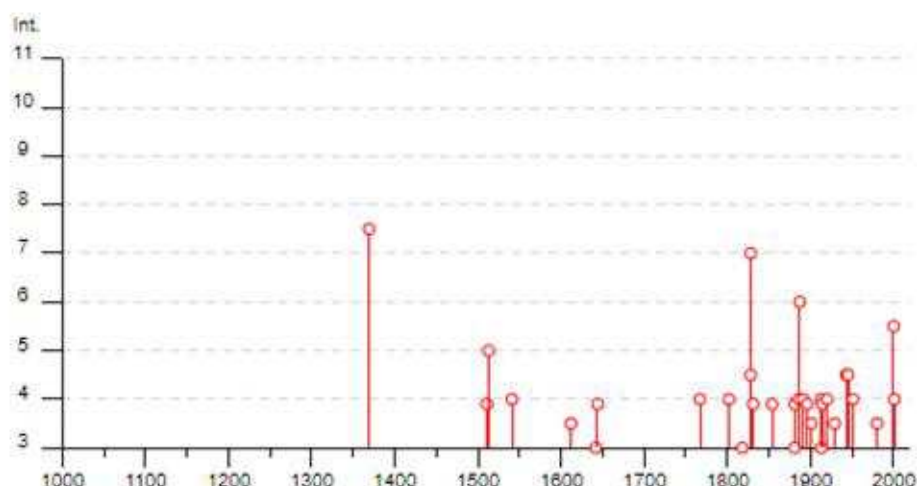
La microzonazione deve sostanzialmente individuare la presenza di terreni dinamicamente instabili e stimare le accelerazioni che si possono determinare sui terreni dinamicamente stabili. Esistono infatti particolari situazioni geologiche e geomorfologiche che determinano variazioni nella risposta sismica locale (amplificazione e attenuazione delle onde sismiche, fenomeni di liquefazione) e quindi condizioni di pericolosità indotta.

Sulla base di informazioni raccolte in bibliografia sono disponibili i dati di “**INGV - Database Macrosismico Italiano - DBMI15 - Sismi dal 1000 al 2020**”. Questo database fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani aggiornato alla finestra temporale 1000 ÷ 2020 (Tabella 1 - Tabella 2). I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

Alessandria



PlaceID	IT_08062
Coordinate (lat, lon)	44.913, 8.615
Comune (ISTAT 2015)	Alessandria
Provincia	Alessandria
Regione	Piemonte
Numero di eventi riportati	44



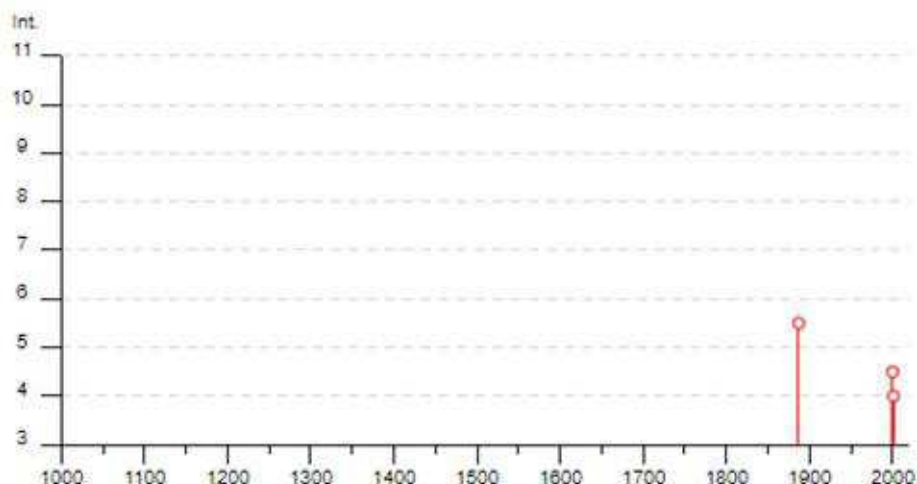
Effetti	In occasione del terremoto del							
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP Io Mw
7-8	1369	02	01				Alessandria	2 6-7 4.86
F	1511	03	26	15	30		Friuli-Slovenia	120 8 6.32
5	1513	02	10				Alessandria	1 5 4.16
4	1541	10	22	18			Valle Scrivia	8 7 5.26
3-4	1612	01	31				Liguria occidentale	6 6-7 4.86
3	1642	06	13				Pianura lombarda	8 6 4.92
F	1644	02	15	04	30		Alpes Nivoises	29 8 5.74
4	1787	02	07	03	48		Genovese	10 6 4.98
4	1802	05	12	09	30		Valle dell'Oglio	94 8 5.60
3	1818	02	23	18	10		Liguria occidentale	45 7 5.32
7	1828	10	09	02	20		Oltrepò Pavese	110 8 5.72
4-5	1828	10	10	01	30		Oltrepò Pavese	18
F	1831	05	26	10	30		Liguria occidentale	33 8 5.56
F	1854	12	29	01	48		Liguria occidentale	86 7-8 5.72
2	1873	03	12	20	04		Appennino marchigiano	136 8 5.85
F	1881	07	22	02	48		Belledonne-Pelvoux	145 7 5.39
3	1881	08	03	14	42		Alessandrino	3 4 3.70
NF	1884	09	12	07	23		Pianura lombarda	34 6 4.70
4	1886	09	05				Torinese	101 7 5.22
6	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511 9 6.27
4	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403 8-9 5.87
NF	1892	03	05				Valle d'Aosta	86 7 4.98
NF	1892	08	09	07	58		Valle d'Alpone	160 6-7 4.91
F	1896	10	16				Liguria occidentale	55 6 4.91
2-3	1900	12	30	23	36	2	Alto Monferrato	36 5 4.35
3-4	1901	01	23	00	17	1	Oltrepò Pavese	90 5 4.23
NF	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867 6-7 5.36
NF	1912	05	31	21	40		Canavese	51 5-6 4.71
3	1913	03	27	02	25	4	Val Trebbia	58 4-5 4.24
4	1913	12	07	01	28		Valle Scrivia	56 5 4.57
F	1914	10	26	03	43	2	Torinese	63 7 5.24
2	1914	10	27	09	22		Lucchese	660 7 5.63
4	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750 10 6.53
2	1927	10	28	21	49		Alta Val di Taro	39 6 4.66
3-4	1929	04	19	04	16		Bolognese	82 6-7 5.13
4-5	1943	10	16	19	18		Langhe	4 4-5 3.93
4-5	1945	12	15	05	27		Oltrepò Pavese	12 6 4.72
4	1951	05	15	22	54		Lodigiano	179 6-7 5.17
2	1960	03	23	23	10		Vallese	178 7 5.00
3-4	1990	12	23	12	01	0	Piacentino	69 6-7 4.57
2-3	1993	11	09	16	29	5	Parmense	850 6-7 5.04
5-6	2000	08	21	17	14		Monferrato	595 6 4.94
4	2001	07	18	22	47	1	Monferrato	253 5 4.23
NF	2005	04	18	10	59	1	Valle del Trebbia	284 4 3.97

Tabella 1 – “INGV - Database Macrosismico Italiano - DBMI15 - Sismi dal 1000 al 2020”. Dati relativi ai terremoti con relativa magnitudo che hanno interessato il comune di Alessandria.

Frugarolo



PlaceID IT_08547
 Coordinate (lat, lon) 44.839, 8.681
 Comune (ISTAT 2015) Frugarolo
 Provincia Alessandria
 Regione Piemonte
 Numero di eventi riportati 5



► Personalizza il diagramma

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5-6	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9	6.27
4-5	2000	08	21	17	14		Monferrato	535	6	4.94
4	2001	07	18	22	47	1	Monferrato	253	5	4.23
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21
NF	2005	04	18	10	59	1	Valle del Trebbia	284	4	3.97

Tabella 2 – “INGV - Database Macrosismico Italiano - DBMI15 - Sismi dal 1000 al 2020”. Dati relativi ai terremoti con relativa magnitudo che hanno interessato il comune di Frugarolo.

3.3 AZIONE SISMICA

3.3.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE DEL SITO

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2 delle NTC 2018), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} come definite nel § 3.2.1 (NTC 2018), nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4 (NTC 2018). In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione. Per velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio si intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati, nei primi metri di profondità dal piano di posa della fondazione, secondo la relazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore h (strato) e dalla velocità delle onde S V_s (strato).

Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

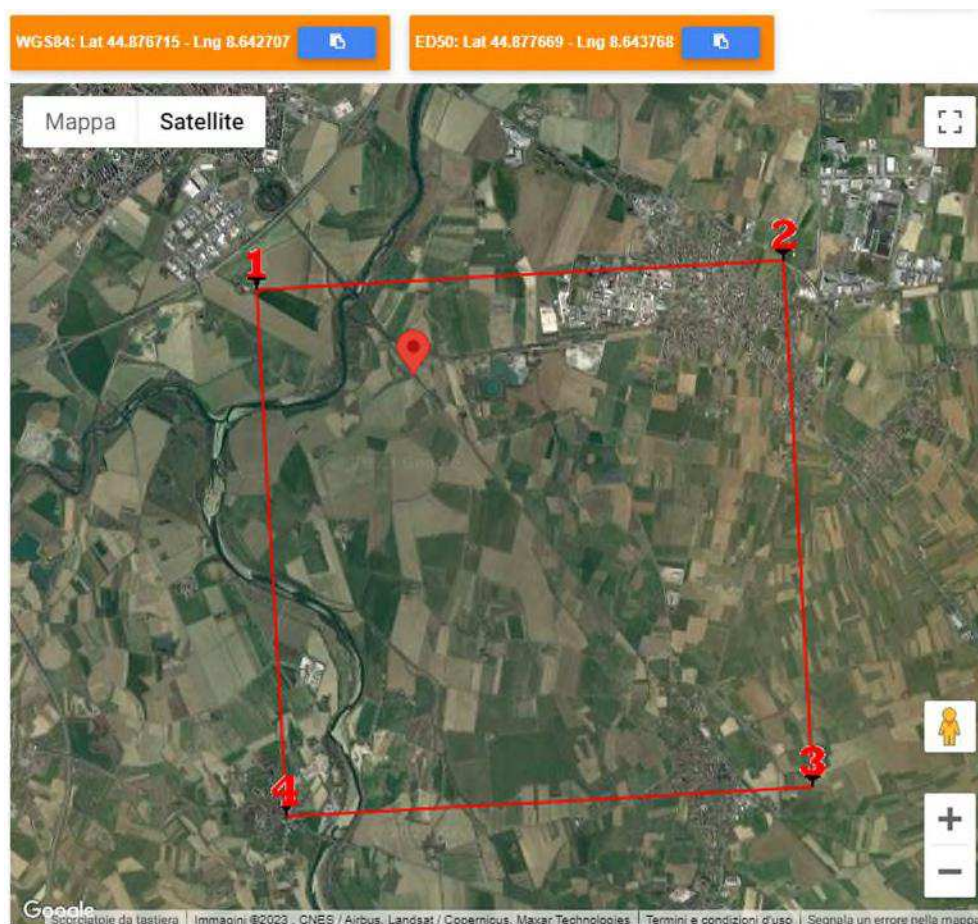
Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Ai fini delle NTC 2018 le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione massima sul sito;
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_c valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per i valori di a_g , F_o e T_c^* , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti. Tali parametri sono forniti per i 10751 nodi del reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio italiano e per 9 valori del periodo di ritorno T_R .

Il primo passo dell'analisi è quindi quello di calcolare le coordinate geografiche del sito di intervento in modo da acquisire successivamente le azioni sismiche locali (proprie del sito specifico) sulla base di un reticolo di riferimento (Figura 19).



Siti di riferimento

Sito 1	ID: 14694	Lat: 44,8859	Lon: 8,6227	Distanza: 1892,420
Sito 2	ID: 14695	Lat: 44,8887	Lon: 8,6932	Distanza: 4085,193
Sito 3	ID: 14917	Lat: 44,8388	Lon: 8,6972	Distanza: 6030,987
Sito 4	ID: 14916	Lat: 44,8360	Lon: 8,6267	Distanza: 4825,157

Figura 19 - Ubicazione dell'area in esame e identificativo / coordinate / distanza dei siti di riferimento dall'area in esame.

- **Vita nominale di progetto**

La vita nominale di progetto V_N di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella seguente tabella:

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

- **Classi d'uso**

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe 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.

Classe 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.

Classe 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.

- **Periodo di riferimento per l'azione sismica**

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \times C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella seguente tabella:

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

- **Condizioni topografiche**

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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 $i > 30^\circ$

Le su esposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza > 30 m.

In riferimento all'intervento in esame per la determinazione di tutti questi valori si rimanda alla documentazione progettuale.

3.3.2 CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 delle NTC 2018. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II delle NTC 2018, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2 delle NTC 2018.

I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni

empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore h (strato) e dalla velocità delle onde S V_s (strato).

Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Il D.M. 17.1.2018, in accordo con la ridetta Ordinanza n. 3274/2003 propone l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica del profilo stratigrafico del suolo, mediante cinque (A - B - C - D - E) tipologie di suoli, da individuare in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio (V_s).

In particolare, è consentito un *approccio semplificato* per la determinazione dell'azione sismica, qualora si utilizzino i metodi di *analisi lineare statica* per le verifiche di sicurezza. Essa è determinata come *risposta sismica locale*, attraverso l'individuazione delle *Categorie di sottosuolo* e delle *Categorie topografiche* elementi in grado di valutare l'influenza locale delle caratteristiche stratigrafiche e topografiche.

Al fine di ottenere informazioni indirette sulla velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio, sono state eseguite analisi sismiche passive (All. A) basata sulla tecnica delle misure del microtremore ambientale.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>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.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>Depositi 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.</i>
D	<i>Depositi 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.</i>
E	<i>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>

3.3.3 LA TECNICA IMPIEGATA¹

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre.

Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro. Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato in Figura 20, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo "minimo" di riferimento mentre la curva verde rappresenta il "massimo" di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono prodotti delle onde oceaniche sulle coste.

Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di *guida d'onda*. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S (Lachet e Bard, 1994), il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime.

¹ Mulargia F., Castellaro S., Rossi P.L.M, *Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica*, «IL GEOLOGO», 2007, 25, pp. 25 - 38.

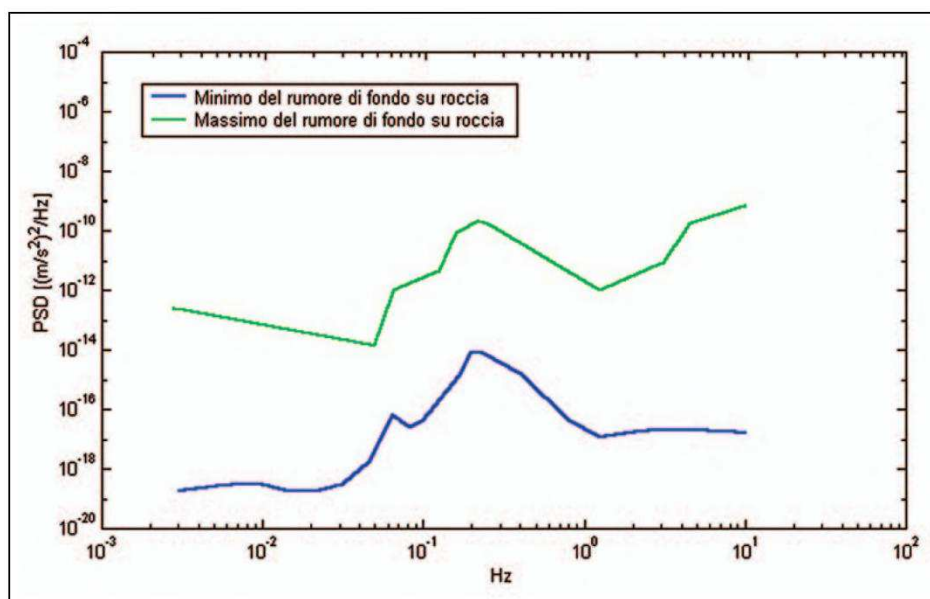


Figura 20 - Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra (secondo USGS). Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (**Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVS**R o **H/V**), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970).

La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo (Field e Jacob, 1993; Lachet e Bard, 1994; Lermo e Chavez-Garcia, 1993, 1994; Bard, 1998; Ibs-von Seht e Wohlenberg, 1999; Fah et al., 2001).

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un sistema bistrato del tipo sedimenti + bedrock in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D) e variano solo con la profondità. Nei sistemi multistrato, teoricamente l'effetto di risonanza è sommabile, ma non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando la sottostante equazione.

$$f_r = \frac{V_{st}}{4H}$$

L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli "sintetici", cioè con quelli calcolati relativamente ad un modello. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini (si rimanda alla letteratura per le basi teoriche).

3.3.4 METODOLOGIA DI ANALISI

La misura di microtremore ambientale, della durata di 14 minuti, è stata effettuata con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente e senza cavi esterni.

I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate le curve H/V, ottenute col software Grilla in dotazione al tromografo TROMINO, secondo la procedura descritta in Castellaro S. (2010)², con parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 20 s;
- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale;
- rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore ad 2;
- rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.

² Tecniche di sismica passiva a stazione singola - Micromed 15/12/2011

Nei casi multistrato più complessi le curve H/V si invertono invece creando una serie di modelli sintetici, da confrontare con quello sperimentale, fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali.

3.3.5 RISULTATI OTTENUTI

L'indagine è stata svolta eseguendo n° 1 misura di microtremore ambientale a stazione singola (HVSR) nelle vicinanze del quadrivio in cui è presente il fornice 2, la cui ubicazione è riportata nella Figura 9.

Nella prova HVSR la curva H/V mostra alcuni picchi (Figura 21); l'analisi degli spettri singoli mette in evidenza che i picchi sono di natura stratigrafica (Allegato A).

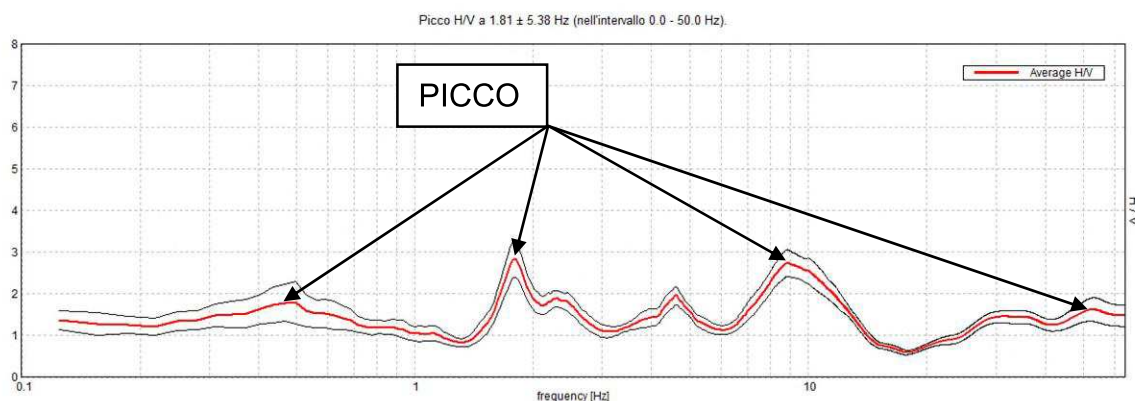


Figura 21 - Estratto del "Rapporto spettrale orizzontale su verticale" contenuto nell'Allegato A.

Nel sito, sulla base del modello derivato, si ottiene la stima del V_{seq} in questi termini:

Categoria C di sottosuolo (Cap. 3.2.2 del D.M. 17/01/2018): *Depositi 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.*

4 GEOTECNICA

Il presente capitolo presenta i dati di sottosuolo resi disponibili nella:

- Banca Dati Archivio Nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984) in cui sono riportate le perforazioni con la stratigrafia. Per rappresentatività (Figura 22) si riporta la stratigrafia di un pozzo collocato a circa 2 km di distanza ad Est dell'area d'intervento.



STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	1,50	1,50		TERRENO DI RIPORTO
2	1,50	4,00	2,50		ARGILLA CON POCA GHIAIA
3	4,00	20,30	16,30		GHIAIA MISTA CON ARGILLA
4	20,30	24,50	4,20		ARGILLA
5	24,50	30,50	6,00		ARGILLA E GHIAIA MOLTO SPORCA
6	30,50	31,30	0,80		ARGILLA E GHIAIA COMPATTA
7	31,30	33,00	1,70		CONGLOMERATO
8	33,00	43,00	10,00		GHIAIA
9	43,00	48,00	5,00		CONGLOMERATO
10	48,00	50,50	2,50		GHIAIA
11	50,50	52,00	1,50		ARGILLA
12	52,00	60,00	8,00		ARGILLA CON GHIAIA
13	60,00	64,00	4,00		ARGILLA CON GHIAIA DURA
14	64,00	73,00	9,00		ARGILLA
15	73,00	78,00	5,00		SABBIA E GHIAIA
16	78,00	80,00	2,00		ARGILLA DURISSIMA

Figura 22 - Estratto da Banca Dati ISPRA Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984) ISPRA - <http://sgi2.isprambiente.it>). Il cerchio rosso indica la posizione del pozzo mentre l'ellisse verde comprende l'area d'intervento.

- Carta della Caratterizzazione Litotecnica dei terreni allegata al PRGC (anno 2011) del Comune di Frugarolo (Figura 23).

Si tratta di terreni che da un punto di vista geotecnico sono granulari con suoli a comportamento misto da coesivo a granulare.

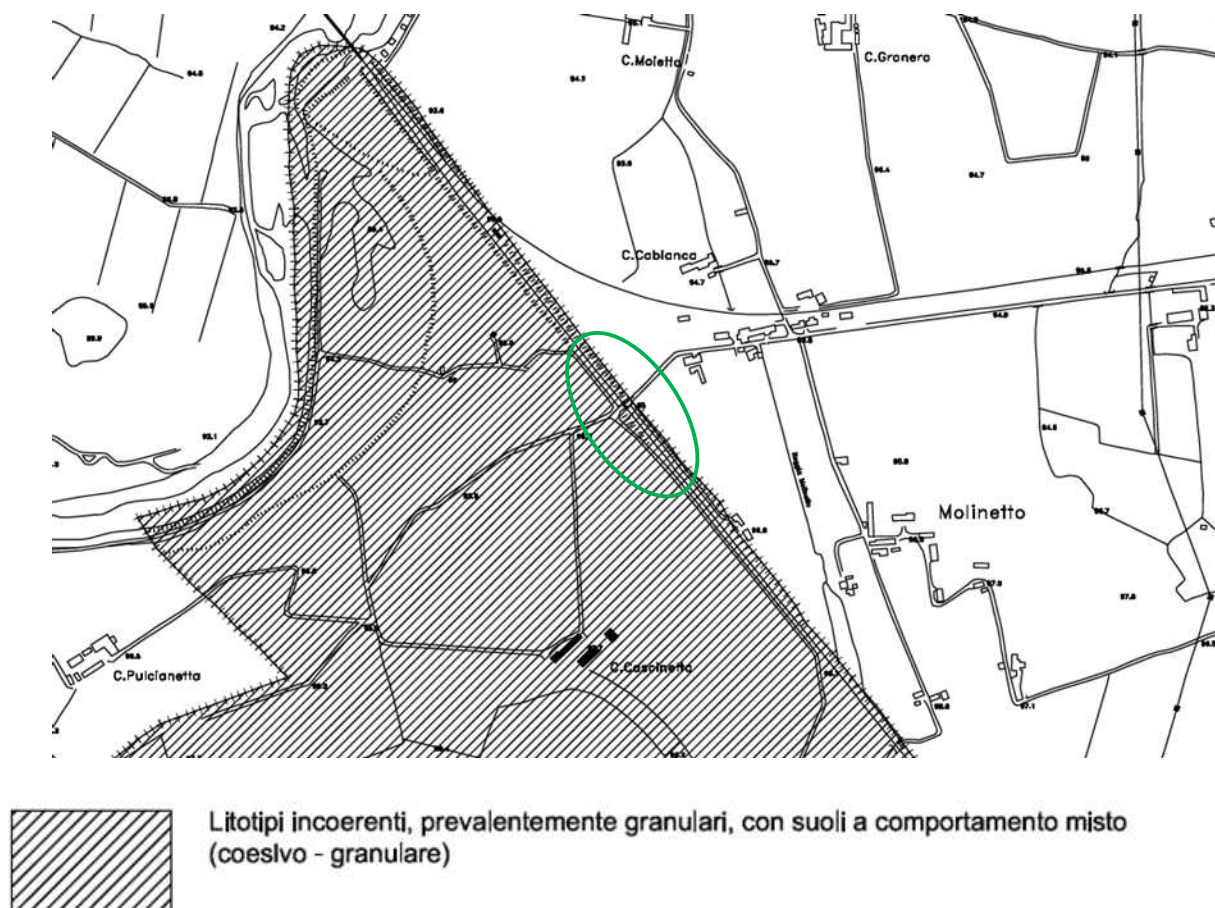


Figura 23 – Estratto, non in scala, della Carta della Caratterizzazione Litotecnica dei terreni allegata al PRGC (anno 2011) del Comune di Frugarolo. L'ellisse verde comprende l'area d'intervento.

- Banca Dati Geotecnica (Geoportale di ARPA Piemonte) in cui sono evidenziati sondaggi, prove penetrometriche, pozzetti esplorativi e prelievo di campioni per indagini di laboratorio.

Per rappresentatività dell'area d'intervento (Figura 24) si riporta la stratigrafia semplificata del sondaggio S1 (Codice Perforazione: 105894) ubicato a circa 0.8 km dai fornici in esame.

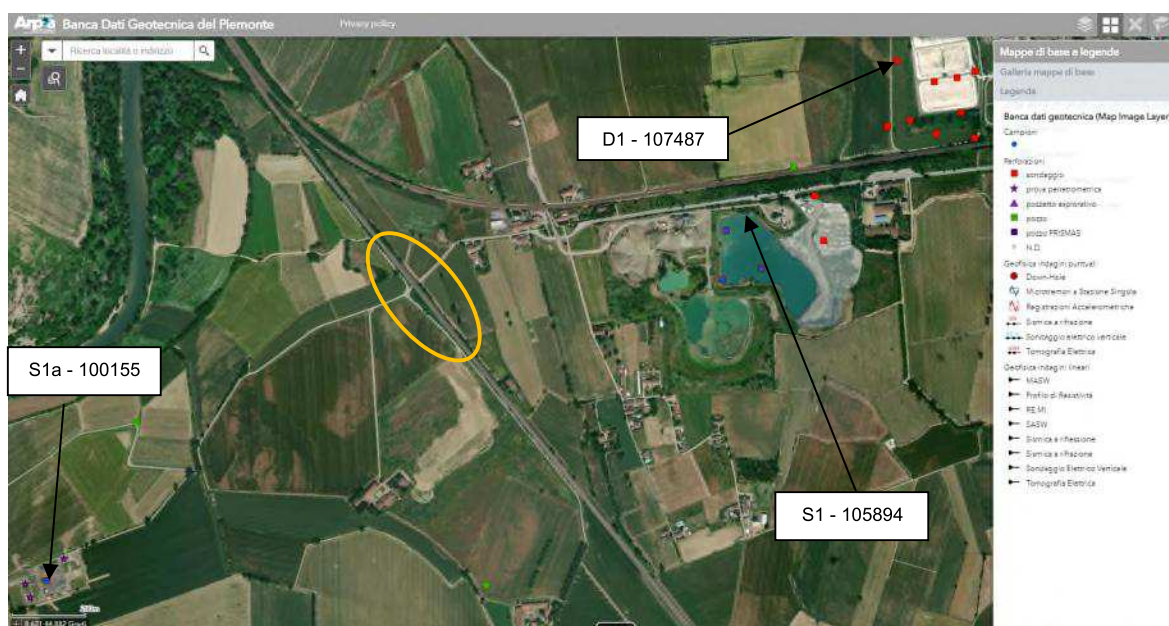


Figura 24 – Estratto da Banca Dati Geotecnica (*Geoportale di ARPA Piemonte*). L'ellisse arancio comprende l'area d'intervento.

Nome perforazione	Comune	Provincia	Località
S1	ALESSANDRIA	AL	Spinetta Marengo-Cascina Bolla
Data inizio perforazione	Data fine perforazione	Profondità (m)	Cantiere
7/10/1998	7/10/1998	11.00	Attività estrattive: cava di tout venant * C-M1438A

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
105894	0.50	terreno vegetale
105894	1.00	ghiaie in matrice argilloso limosa
105894	5.00	sabbie e ghiaie poligeniche in matrice limosa rari ciottoli
105894	11.00	ghiaie e ciottoli con sabbie in scarsa matrice limosa

Codice campione	Nome campione	Data prelievo	Profondità (m)	Tipo prelievo	Grado di disturbo	Campionatore	Tipologia campione	Peso naturale (kN/m ³)	Peso secco (kN/m ³)	Peso specifico grani (kN/m ³)	Ciottoli (%)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Passante al setaccio 200 (%)
103489	1	14/10/1998	1.03	da sondaggio	non conosciuto	non conosciuto	prevalente terreno	0.00	0.00	0.00	0.00	39.40	29.41	0.00	0.00	31.19
103490	2	14/10/1998	3.00	da sondaggio	non conosciuto	non conosciuto	prevalente terreno	0.00	0.00	0.00	0.00	58.06	22.54	0.00	0.00	19.40
103491	3	14/10/1998	5.00	da sondaggio	non conosciuto	non conosciuto	prevalente terreno	0.00	0.00	0.00	0.00	47.68	26.49	0.00	0.00	25.83
103492	4	14/10/1998	7.00	da sondaggio	non conosciuto	non conosciuto	prevalente terreno	0.00	0.00	0.00	6.12	54.92	16.45	0.00	0.00	22.51
103493	5	14/10/1998	9.50	da sondaggio	non conosciuto	non conosciuto	prevalente terreno	0.00	0.00	0.00	9.31	58.41	18.65	0.00	0.00	13.63

Codice campione	Nome campione	Data prelievo	Profondità (m)	Contenuto d'acqua (%)	Limite liquido %	Limite plastico %	Indice plastico %	Classificazione USCS	Prova edometrica
103489	1	14/10/1998	1.03	0.00	0.0	0.0	0.0	"SM = sabbie con fine a bassa plasticità"	Prova non realizzata
103490	2	14/10/1998	3.00	0.00	0.0	0.0	0.0	"SM = sabbie con fine a bassa plasticità"	Prova non realizzata
103491	3	14/10/1998	5.00	0.00	0.0	0.0	0.0	"SM = sabbie con fine a bassa plasticità"	Prova non realizzata
103492	4	14/10/1998	7.00	0.00	0.0	0.0	0.0	"GM = ghiaie con fine a bassa plasticità"	Prova non realizzata
103493	5	14/10/1998	9.50	0.00	0.0	0.0	0.0	"GM = ghiaie con fine a bassa plasticità"	Prova non realizzata

Tabella 3 – Stratigrafia semplificata del Sondaggio S1 – 105894 con analisi granulometrica dei terreni (*Geoportale ARPA Piemonte*).

Al fine di caratterizzare da un punto di vista geotecnico i materiali presenti si riporta, per rappresentatività dell'area (Figura 24), la stratigrafia semplificata ed i risultati (Nspt) delle indagini svolte (Tabella 4 - Tabella 5) nei sondaggi S1a

(Codice Perforazione: 100155) e D1 (Codice Perforazione: 107487) collocati rispettivamente a circa 1.2 km e 1.5 km dall'area in esame.

Nome perforazione	Comune	Provincia	Località
S1a	Frugarolo	AL	C. Pulcianetta
Data inizio perforazione	Data fine perforazione	Profondità (m)	Cantiere
20/6/1994	20/6/1994	15.00	I tronco Metanodotto Alessandria - Torino e Area Trappole di Alessandria

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
100155	0.80	terreno vegetale di ghiaia media e sabbia medio fine
100155	1.00	limo sabbioso con ghiaia
100155	2.00	ghiaia medio grossolana e sabbia medio fine
100155	2.80	sabbia media con ghiaia media
100155	3.30	sabbia medio fine con rara ghiaia
100155	5.00	ghiaia media grossolana e sabbia media
100155	10.00	ghiaia medio grossolana con sabbia medio grossolana
100155	15.00	ghiaia medio grossolana passante a ciottoli poligenici con sabbia medio grossolana e/o fine

Codice Perforazione	Profondità (m)	N1	N2	N3	NSPT
100155	2.00	2	3	3	6
100155	4.00	11	12	16	28
100155	6.00	19	18	16	34
100155	9.00	13	26	22	48
100155	13.00	-999	0	0	-999

NOTA: il valore -999 indica un rifiuto.

Tabella 4 – Stratigrafia semplificata con prove geotecniche (Nspt) nel Sondaggio 100155 (*Geoportale ARPA Piemonte*).

Nome perforazione	Comune	Provincia	Località
D1	ALESSANDRIA	AL	Spinetta Marengo
Data inizio perforazione	Data fine perforazione	Profondità (m)	Cantiere
1/3/1990	3/3/1990	25.00	Discarica Via-04-2001 *

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
107487	0.80	terreno vegetale
107487	2.00	sabbia grossolana da limosa a debolmente limosa con abbondante ghiaia
107487	3.00	sabbia grossolana debolmente limosa inglobante ghiaietto
107487	5.00	sabbia grossolana debolmente limosa , localmente limosa , con ghiaia
107487	8.60	sabbia media molto limosa con ghiaia
107487	14.00	ghiaia grossolana e ciottoli in matrice sabbiosa limosa con interlivelli di limo argilloso inglobante ghiaia piccola
107487	14.50	limo debolmente sabbioso inglobante ghiaia media
107487	17.00	non definita
107487	18.20	ghiaia grossolana in matrice limosa sabbiosa con interlivelli di limo argilloso inglobante ghiaia media
107487	20.50	ghiaia grossolana e rari ciottoli in matrice sabbiosa grossolana molto limosa
107487	22.50	ghiaia grossolana in debole matrice sabbiosa grossolana debolmente limosa
107487	24.00	sabbia medio grossolana molto limosa , localmente debolmente argillosa , con ghiaia
107487	25.00	ghiaia grossolana in matrice sabbiosa grossolana molto limosa

Codice Perforazione	Profondità (m)	N1	N2	N3	NSPT
107487	1.45	8	9	11	20
107487	3.10	10	12	9	21
107487	4.60	10	8	6	14
107487	5.90	11	12	14	26
107487	7.50	11	9	19	28
107487	9.10	10	12	13	25
107487	10.50	8	10	12	22
107487	16.00	7	5	7	12
107487	17.50	7	3	4	7
107487	21.00	11	11	12	23
107487	22.70	7	11	3	14

NOTA: il valore -999 indica un rifiuto.

Tabella 5 – Stratigrafia semplificata con prove geotecniche SPT nel Sondaggio 107487 (*Geoportale ARPA Piemonte*).

I valori di Nspt dei due sondaggi analizzati (S1a e D1), seppur collocati ad una distanza reciproca superiore a 2.5 km, presentano un trend comparabile. Questo assetto è ancor più evidenziato nell'analisi circoscritta a 500 m nell'intorno del sondaggio D1 - 107487 (Tabella 6).

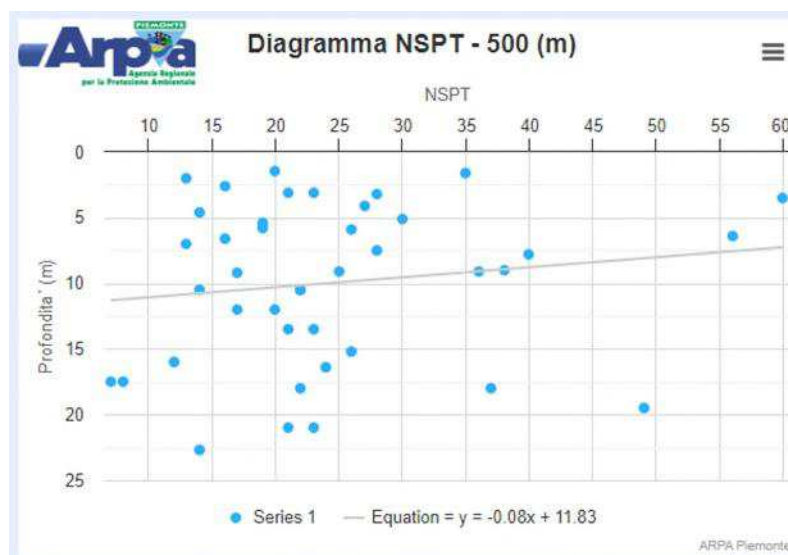


Tabella 6 – Andamento dei valori Nspt nell'intorno di 500 m dal Sondaggio D1 - 107487 (*Geoportale ARPA Piemonte*).

I terreni di copertura, aventi nell'area in esame potenza plurimetrica, sono riferibili ad un'alternanza di sabbie e sabbie limose a livelli più limosi, spesso associati a ghiaie poligeniche. Si tratta di materiali granulari il cui comportamento meccanico è controllato principalmente dall'angolo di attrito interno che aumenta con il grado di addensamento.

Questi depositi eterogenei possono essere classificati come SM (miscela di sabbia e limo) a medio/basso indice di addensamento.

In riferimento alle N.T.C. per *valore caratteristico del parametro geotecnico* deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato ma in accordo con quanto previsto dall'EC7 è necessaria la seguente distinzione:

- volume del terreno coinvolto molto esteso, rispetto al campo delle variazioni possibili delle proprietà geomeccaniche del terreno;

- volume del terreno coinvolto modesto rispetto al campo delle variazioni possibili delle proprietà geomeccaniche del terreno.

Nel primo caso, ricorrendo a fondazioni superficiali con ampia superficie di appoggio (platea rigida o travi rovesce) o nel caso di verifiche di stabilità globale, si assume in generale che il comportamento sia governato dal valore medio del parametro geotecnico, per cui il valore caratteristico risulta una stima cautelativa del valore medio. In altri termini viene considerato accettabile il riferimento a valori prossimi a quelli medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità in esso presenti o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di sufficiente rigidità a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

Nel secondo caso, ricorrendo a fondazioni superficiali di piccola dimensione o fondazioni profonde su pali, o verifiche a scorrimento dei muri di sostegno; in questi casi, si assume che il comportamento del terreno sia governato da valori locali bassi, per cui si assume come valore caratteristico il valore relativo al 5° percentile della popolazione (metodo non parametrico).

Con una ridotta popolazione il valore caratteristico (X_k) si ottiene dal metodo classico semplificato: $X_k \approx X_{medio} (1 - 0.5 COV)$

dove:

Table 3. Ranges of typical COV values for soil parameters and recommended values (Schneider and Schneider 2013).

Soil parameter	Symbol	Range of typical COV values	Recommended COV values
Weight density	γ	0.01–0.10	0
Angle of internal friction	$\tan\phi'$	0.05–0.15	0.1
Cohesion	c'	0.30–0.50	0.4
Undrained shear strength	c_u	0.30–0.50	0.4
Compressibility modulus	m_v	0.20–0.70	0.4

Ciò premesso, una prima valutazione, delle caratteristiche granulometriche può essere eseguita definendo il tipo di suolo (o fattore F) tramite una delle correlazioni proposta da Ohta e Goto (1978)³, ed in particolare quella in funzione della velocità delle onde di

³ Ohta Y. e Goto N. (1978), Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes. Earthquake Eng. Structural Dynamics, 6, 167-187

taglio (V_s), ricavate dall'indagine geofisica, e della profondità (z), attraverso la seguente relazione: $F = V_s / 78.98 * z^{0.312}$

Profondità alla base dello strato (m)	Spessore (m)	V_s (m/s)	F
4.5	4	172	1,41
49.5	45	329	1,27

La relazione proposta fornisce un valore di F compreso tra 1.41 e 1.27 identificativi di terreni a granulometria sabbiosa da fine a grossolana.

F	Tipo di Suolo
1.000	Argilla
1.260	Sabbia fine
1.282	Sabbia media
1.422	Sabbia grossa
1.641	Sabbia e ghiaia
2.255	Ghiaia

Tabella 7 – Valore di F per tipo di suolo (Ohta e Goto, 1978).

Per una valutazione granulometrica si può fare riferimento anche all'indice del tipo di comportamento del terreno I_c^4 (Soil behavior type index) di Robertson e Wride (1997) attraverso la seguente relazione:

$$I_c = -0.7174 * \ln \left[\frac{V_s^2}{9.81 * z} \right] + 6.3211$$

Dove per valori di $I_c < 2.6$ vengono identificati i tipi di terreno a comportamento granulare, mentre per valori di $I_c > 2.6$ i tipi di terreno a comportamento coesivo.

Nel caso specifico, per la profondità media relativa al primo sismostrato identificato, pari a 4.5 m e V_s di 172 m/s l'indice I_c è pari a 1.56, per spessori di 45 m nel sismostrato

⁴ Robertson P.K. e Wride C.E. (1997), *Cyclic liquefaction and its evaluation based on the SPT and CPT*. Proc. NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, Salt Lake City (Utah).

con velocità pari a 329 m/s I_c risulta pari a 2.37 ovvero i terreni rientrano tra quelli a comportamento granulare.

L'applicazione di tali correlazioni empiriche indica la presenza di terreni granulari coerentemente con il modello geologico precedentemente definito.

Per le tipologie di materiale sopra descritto si potrà fare riferimento ai seguenti valori indicativi dei parametri geotecnici nei primi 5 metri di profondità:

Volume di terreno coinvolto	Peso dell'unità di volume (γ) kN/m ³	Angolo di resistenza al taglio (ϕ) °
Molto esteso	18	34 ÷ 36
Modesto	18	30 ÷ 32

5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente lavoro costituisce parte integrante dei *Lavori di Chiusura Fornici in destra idraulica Fiume Bormida in corrispondenza del Rilevato Ferroviario della Linea Torino-Genova tra i Comuni di Alessandria e Frugarolo (AI)*, come meglio descritto nella documentazione progettuale.

L'assetto stratigrafico locale, desunto dalle informazioni bibliografiche reperite, indica la presenza di depositi, originati da vari cicli di alluvionamento e strutturati dall'interdigitazione tra le conoidi postglaciali del Fiume Bormida e del Torrente Orba, prevalentemente grossolane. Lo spessore di questi depositi supera i 50 metri presso la confluenza Torrente Orba – Fiume Bormida. La soggiacenza della falda freatica, nel settore in esame, è compresa tra 6 ÷ 8 m da piano campagna.

I dati disponibili dalla bibliografia (Geologia e idrostratigrafia profonda della Pianura Padana occidentale - *Irace et al., 2009*) indicano che al di sotto dei depositi alluvionali sono presenti dei depositi di transizione del Villafranchiano. Si tratta di depositi di transizione tra l'ambiente continentale di tipo fluviale ad alta energia e l'ambiente palustre-lacustre a bassa energia; ne deriva l'alternanza di livelli ghiaioso-sabbiosi, sabbie da fini a grossolane e di argille limoso-sabbiose e argille e torbe.

L'attendibilità di questo Modello Geologico può essere considerata sufficiente.

Da quanto precedentemente esposto l'opera in progetto risulta compatibile con il contesto naturale ospitante in quanto non risultano criticità geologiche, geoidrologiche, geotecniche e sismiche tali da non consentirne la realizzazione.

ALLEGATO A

ALESSANDRIA/FRUGAROLO

Lavori di Chiusura Fornici in destra idraulica Fiume Bormida

Strumento: TRZ-0154/01-11

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 28/06/2023 10:58:59 Fine registrazione: 28/06/2023 11:12:59

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h14'00".

Analizzato 69% tracciato (selezione manuale)

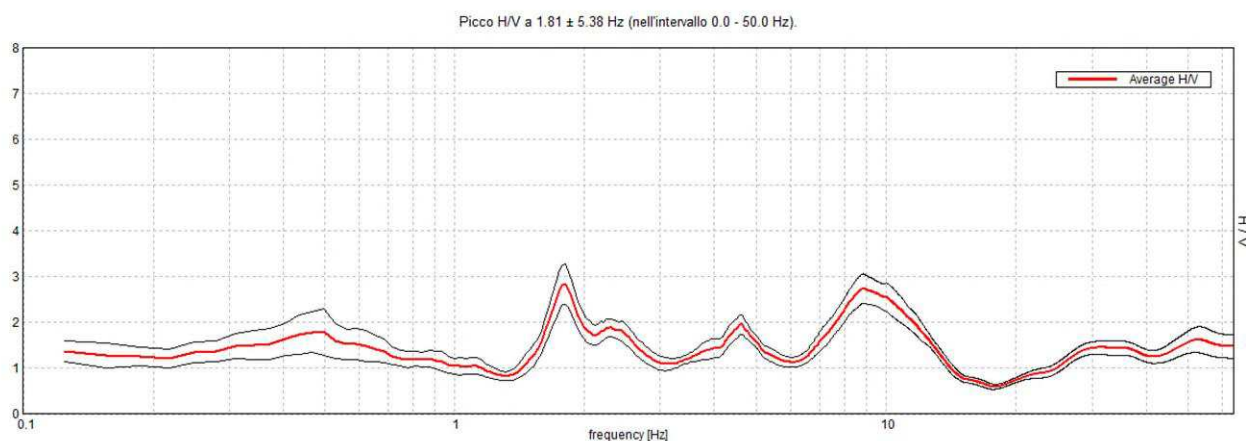
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

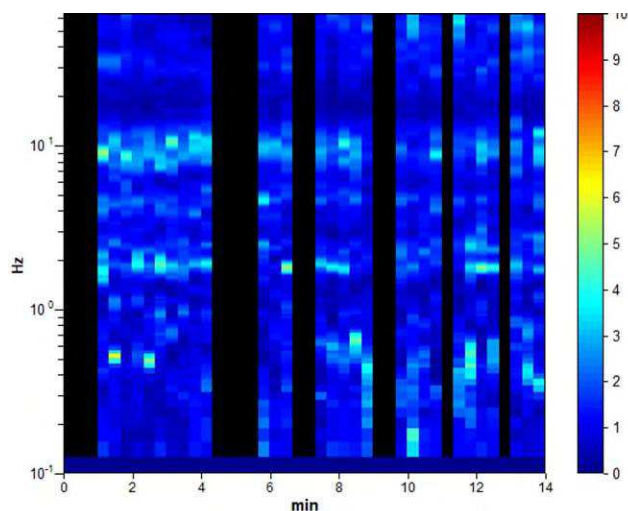
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

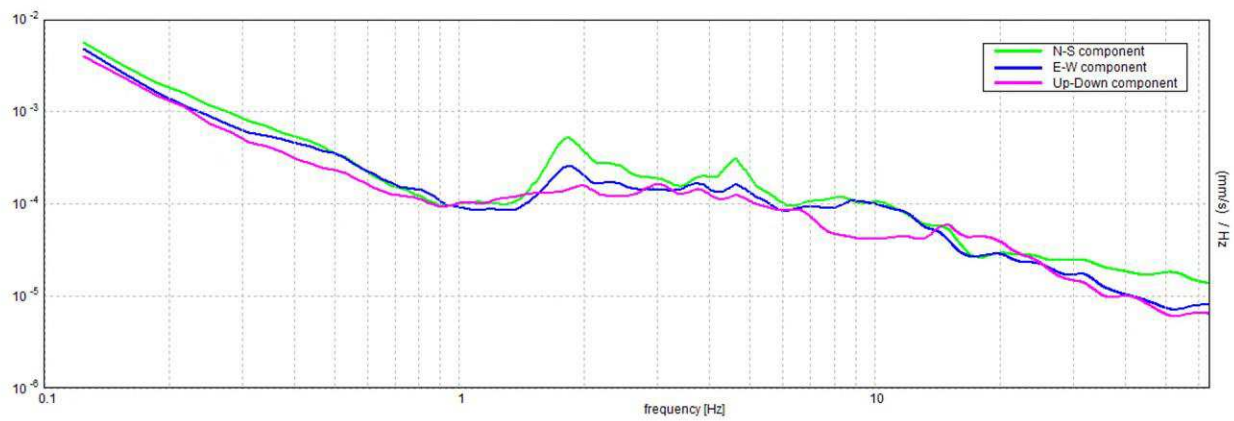
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



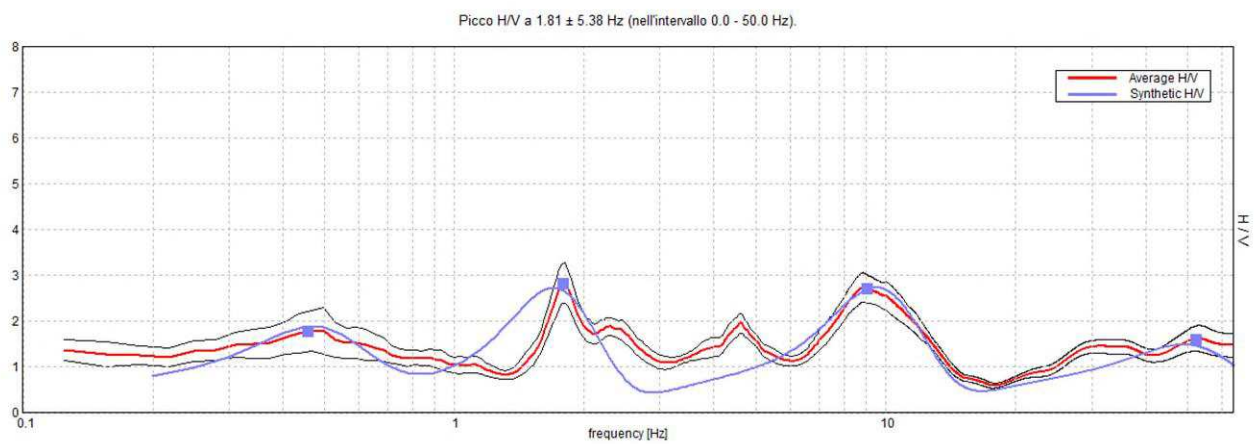
SERIE TEMPORALE H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

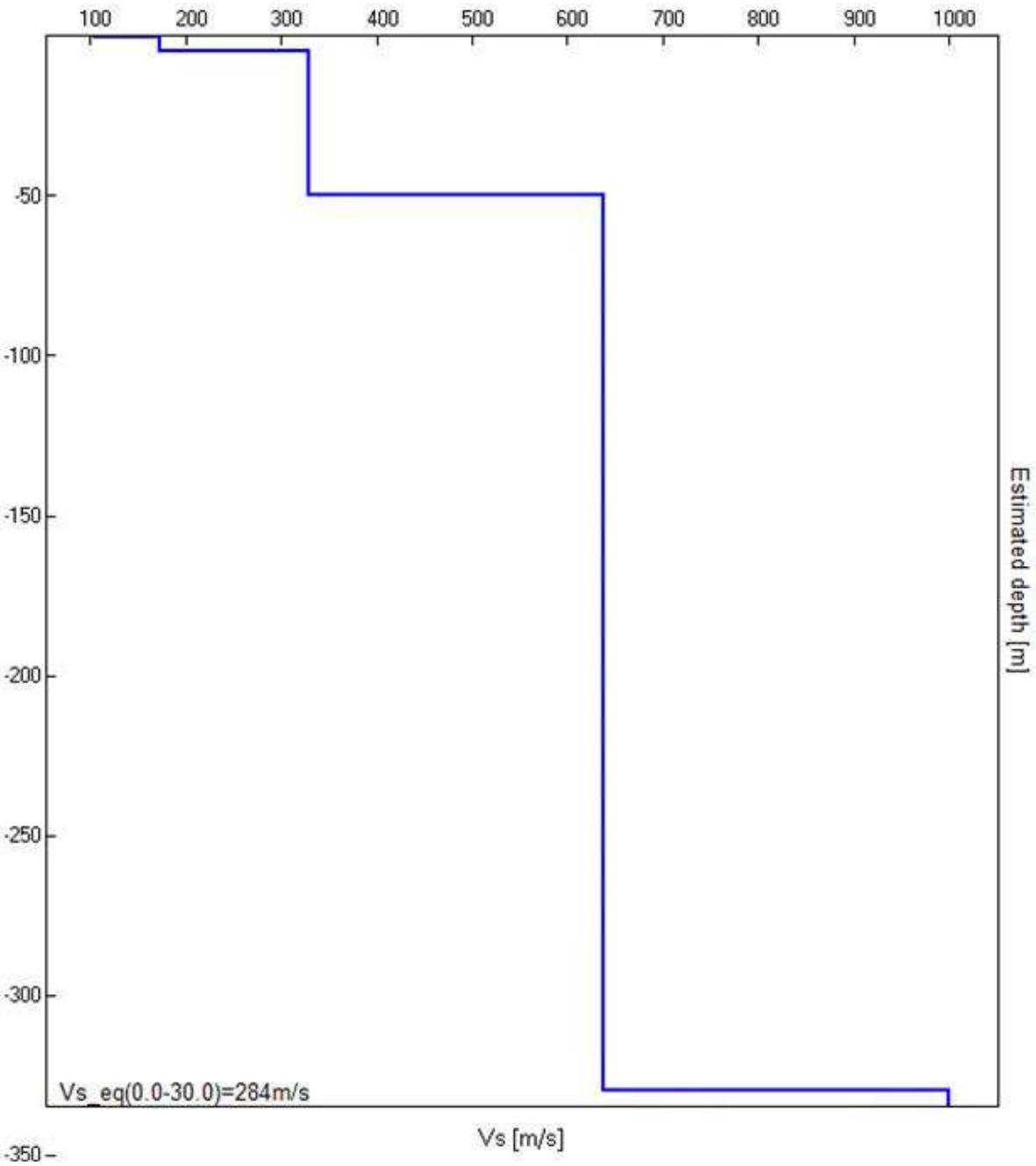


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.50	0.50	104	0.45
4.50	4.00	172	0.42
49.50	45.00	329	0.45
329.50	280.00	638	0.42
inf.	inf.	1001	0.42

$Vs_{eq}(0.0-0.0)=284\text{m/s}$



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 1.81 ± 5.38 Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.81 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1051.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 88	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.563 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.688 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.83 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 2.96578 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$5.37547 < 0.18125$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4391 < 1.78$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20