

AUTOSTRADA A10 GENOVA – VENTIMIGLIA DA PROGR. 10+025.50 A PROGR. 10+605.800

PIANO DI RISANAMENTO ACUSTICO AI SENSI DELLA LEGGE QUADRO N° 447/95

PROGETTO ESECUTIVO

GEOLOGIA

RELAZIONE GEOLOGICA

IL GEOLOGO

Dott. Vittorio Boerio
Ord. Geol. Lombardia N. 794

RESPONSABILE UFFICIO GEO

IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Danilo D'Alessandro
Ord. Ingg. L'Aquila N. 1503


CAPO PROGETTO

IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Massimiliano Giacobbi
Ord. Ingg. Milano N. 20746

RESPONSABILE DIVISIONE ESERCIZIO
E NUOVE ATTIVITA'

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO											DATA:	REVISIONE			
—	DIRETTORIO						FILE					LUGLIO 2016	n.	data		
	codice		commessa		N.Prog.		unita'	ufficio	n. progressivo		Rev.		1	NOVEMBRE 2016		
—	1	1	1	0	0	2	0	2	—	—	—	GE	00001	1	—	

 gruppo Atlantia					ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :							
					ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :				Dott. Silvia Tarbini			
CONSULENZA A CURA DI :												

VISTO DEL COMMITTENTE

autostrade // per l'italia

RUP: Ing. Piero Indelli

VISTO DEL CONCEDEnte



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE
STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	7
3.1	RICERCA BIBLIOGRAFICA.....	8
3.2	INDAGINI GEOGNOSTICHE	9
3.3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE GENERALE.....	12
3.4	INQUADRAMENTO TETTONICO DEL GRUPPO DI VOLTRI	15
3.5	STRATIGRAFIA.....	17
3.5.1	<i>Unità Tettonometamorfiche Voltri e Palmaro-Caffarella.....</i>	<i>18</i>
3.5.2	<i>Zone di faglia</i>	<i>21</i>
3.5.3	<i>Depositi superficiali.....</i>	<i>23</i>
4	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	25
4.1	VERIFICA DI REGIONE, IFFI E AUTORITY DI BACINO.....	28
5	MODELLO IDROGEOLOGICO D'INQUADRAMENTO	33
6	ELEMENTI DI SISMICA GENERALE.....	37
6.1	SISMICITÀ STORICA (DAL 1000 AL 2006).....	37
6.2	SISMICITÀ RECENTE (DAL 2005 A OTTOBRE 2014).....	41
6.3	FAGLIE CAPACI	44
6.4	STRUTTURE SISMOGENETICHE	46
6.5	CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	48
7	CLIMATOLOGIA.....	51
7.1	REGIME PLUVIOMETRICO.....	51

7.2	REGIME TERMICO	57
8	REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA	59
9	DESCRIZIONE GEOLOGICA DEL PROGETTO	60
10	PRINCIPALI ELEMENTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO	61
ALLEGATO N° 1: Planimetria d'inquadramento geologico da bibliografia (da CARG - foglio Genova)		
ALLEGATO N° 2: Schede sorgenti		

1 PREMESSA

Il presente studio è stato redatto a supporto della progettazione esecutiva relativa al piano di risanamento acustico ai sensi della legge quadro n°447/95 in località Prà Palmaro (Comune di Genova). Lo scopo della relazione geologica consiste nell'illustrare gli elementi utili ad individuare i principali aspetti progettuali riconducibili alla natura ed alle caratteristiche dei terreni attraversati dal tracciato, pertanto si intende definire quanto segue:

- unità geologiche sulla base di una caratterizzazione litologica delle singole formazioni; la descrizione tiene conto delle classificazioni litostratigrafiche e cronostatigrafiche convenzionali;
- assetto geomorfologico del territorio;

La relazione contiene anche un capitolo di sismica generale, che inquadra il territorio dal punto di vista della sismicità ed un capitolo di inquadramento idrogeologico, che espone un quadro conoscitivo utilizzabile come punto di partenza per studi quantitativi di idrologia sotterranea.

I dati utilizzati per la formulazione del modello geologico (planimetria e profili) sono stati ricavati sia da informazioni bibliografiche (es. Progetto CARG), sia dalle risultanze di specifiche campagne di rilevamento e di indagini geognostiche mirate. In particolare, l'elevata antropizzazione dell'area ha reso molto complicata la ricostruzione geologica e geomorfologia del settore d'interesse. Infatti, gli unici affioramenti esistenti sono collocati al di fuori dell'area strettamente interessata dal progetto e la morfologia originaria è completamente alterata da edifici e strade. Assume quindi grande rilevanza proprio l'analisi delle indagini geognostiche in sito, che consente un'interpretazione dei depositi del sottosuolo al di sotto del terreno di coltivo e di riporto delle aree antropizzate.

La definizione dell'accelerazione sismica di riferimento, della quota di falda di progetto, delle interferenze fra infrastruttura e la falda idrica, la stima quantitativa dei volumi potenzialmente instabili, la definizione degli interventi di minimizzazione / stabilizzazione, la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi, la caratterizzazione delle terre provenienti dagli scavi in ordine alla loro possibile riutilizzabilità, la definizione del modello geotecnico, i criteri per la scelta delle fondazioni delle opere e delle sezioni di scavo non sono argomenti oggetto della presente relazione geologico – geomorfologica. Qualora la progettazione delle opere in

argomento e/o i vincoli territoriali implicassero la definizione dei tematismi sopra elencati, essi sarebbero sviluppati nell'ambito di specifiche relazioni ingegneristiche.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area interessata dal progetto è ubicata tra il casello autostradale e la zona del Porto Voltri, in un'area altamente antropizzata, situata ad ovest del centro storico di Genova e caratterizzata dalla presenza di importanti infrastrutture stradali (A10 ed SS1 Aurelia) e ferroviarie (Linea Genova - Ventimiglia).

La fascia di territorio interessata dal progetto ricade interamente nel Comune di Genova.



Fig. 1 - Inquadramento geografico dell'area di studio. Nel riquadro l'area oggetto di intervento.

Morfologicamente l'area è caratterizzata da una stretta fascia pianeggiante, parallela alla costa, che passa bruscamente verso nord ai rilievi montuosi retrostanti sempre molto acclivi, talora aspri, che raggiungono quote superiori ai 700 metri s.l.m. La zona del Porto di Voltri è variata notevolmente nel corso degli anni ed appare costituita da materiale di riporto; essa si protende verso mare e costituisce un elemento di interruzione della linea di costa.

Il reticolo idrografico è caratterizzato da torrenti montani, a prevalente andamento nord-sud, con versanti spesso a forte acclività, fondovalle incassati e strette fasce alluvionali. I bacini idrografici principali, ricadenti in zone marginali dell'area in esame, sono quelli dei torrenti

Leiro e Branega, mentre nella zona dello svincolo e del Porto è presente il Rio Madonnette, attualmente interrato e di cui appare visibile nelle carte solo lo sbocco a mare.

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Lo studio geologico – geomorfologico è stato sviluppato attraverso i seguenti momenti conoscitivi e considera una fascia di territorio di grandezza opportuna nell'intorno del progetto:

- Ricerca bibliografica di tutti i dati utili per un inquadramento generale dell'area;
- Analisi aerofotogrammetrica finalizzata sia al controllo delle risultanze geomorfologiche pregresse ed alla loro integrazione, sia al riconoscimento dei principali lineamenti tettonici dell'area;
- Rilevamento geologico strutturale in scala 1:5000 volto al riconoscimento dei litotipi presenti, alla definizione del loro assetto tettonico con riconoscimento e misura di elementi fragili e duttili presenti in affioramento;
- Rilievo geomorfologico con verifica delle risultanze dell'analisi aerofotogrammetrica ed integrazione dati;
- Verifica della presenza e posizione di sorgenti e pozzi ricavati da censimenti pregressi ed integrazione di nuovi dati, attraverso rilevamento di terreno con misurazione diretta di parametri fisico - chimici (PH, conducibilità e temperatura) e di portata;
- Analisi di tutte le stratigrafie dei sondaggi pregressi per integrare i dati di superficie;
- Sviluppo ed esecuzione di una apposita campagna di indagini geognostiche in sito e prove di laboratorio;
- Inquadramento e caratterizzazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica attraverso ricerca bibliografica di dati pregressi.

In generale, l'area risulta caratterizzata da scarsi affioramenti e da ampie coperture costituite da depositi di frana e di detrito; pertanto sono risultati fondamentali i dati di sottosuolo ricavati da diverse campagne geognostiche, anche e soprattutto al fine di ottenere una ricostruzione stratigrafica attendibile.

L'insieme delle attività sopra citate ha permesso la realizzazione di una carta geologica a scala 1:5000 e di due sezioni geologiche (una longitudinale ed una trasversale all'area del progetto) a scala 1:2000.

3.1 RICERCA BIBLIOGRAFICA

La prima fase del lavoro è consistita nel reperire tutti i dati disponibili presso i vari Enti pubblici e le Biblioteche universitarie ed ogni altro dato ritenuto significativo per l'elaborazione del modello concettuale dell'area.

I dati di base utili all'inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico e climatico dell'area in esame sono stati ricavati dai seguenti documenti:

- Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000: Foglio 82 – Genova (1971);
- Carta geologica in scala 1:50.000 Progetto CARG Foglio 213 “Genova” sezione 213-3 Pegli;
- Atlante cartografico geologico del territorio del Comune di Genova consistente in cartografia geologica, geomorfologica ed idrogeologica in scala 1:10.000 del territorio comunale;

Piani di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico: cartografia relativa a tematismi geologici, geomorfologici, idraulici e valutazioni di rischio e pericolosità degli ambiti regionali di bacino - Ambito 12 e 13

(<http://www.pianidibacino.ambienteinliguria.it/GE/ambiti12e13/ambiti12e13.html>);

- Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto IFFI) sul sito <http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/iffi-inventario-dei-fenomeni-franosi-in-italia>;
- Perimetrazione dei dissesti IFFI da banca dati Regione Liguria sul sito http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/SiraWebGis/IndiceCarte.asp?%20modalita=LIGHT&cod_repertorio=03&ambiente=I&utente=&ruolo=&idCanale=Geologia;

- Evoluzione della linea di costa dal 1944 al 2003 sul sito

http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/SiraWebGis/IndiceCarte.asp?%20modalita=LIGHT&cod_repertorio=03&ambiente=I&utente=&ruolo=&idCanale=Acque;

- Progetti pregressi redatti per aree limitrofe (Progetto Galleria artificiale Prà Palmaro).
- Atlante degli acquiferi della Liguria. Volume III: le acque dei complessi ofiolitici (Università degli Studi di Genova);
- Database relativo alle concessioni per la derivazione di acque di sorgente e pozzi censimento di pozzi e sorgenti;

Per la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo sono stati analizzati i seguenti documenti:

- Campagne d'indagine reperite presso gli Enti, l'Autorità Portuale o relative a precedenti progetti inerenti l'area di Voltri-Prà Palmaro;
- Campagne d'indagine Progetto Definitivo ed Esecutivo Nuovo sistema di accesso alle aree operative del bacino portuale di Voltri eseguite nel 2007 e nel 2013.

3.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Vista l'elevata antropizzazione dell'area, per determinare la tipologia e le caratteristiche dei materiali presenti nel sottosuolo e ricostruire la morfologia dell'originario fondo del mare su cui è stato riportato il materiale del Porto, è indispensabile utilizzare dati provenienti da sondaggi geognostici.

A tal fine è stata effettuata una ricerca presso l'Autorità Portuale di Genova che ci ha fornito le seguenti indagini, alcune delle quali risalgono a quando l'attuale rilevato su cui poggia il porto non esisteva ancora e i sondaggi furono eseguiti direttamente in mare.

Committente	Cantiere	Anno	N. e tipo di indagine	Codifica
Italferr S.p.A.	Genova Voltri	2004	11 sondaggi	XLN1
Consorzio Autonomo del Porto di Genova	Sondaggi Geognostici del fondo marino prospiciente l'abitato di Genova Voltri	1966	9 sondaggi in mare	V3
Autorità Portuale di Genova	---	---	11 sondaggi di cui 10 in mare	V10
	Viadotto Voltri VTE	2003	4 sondaggi e 4 prove penetrometriche	V14

Nella planimetra GEO0003 è riportata l'ubicazione delle indagini sopra citate; occorre però sottolineare che in alcuni casi l'ubicazione delle indagini più vecchie è incerta poiché la morfologia della zona è fortemente cambiata (di difficile interpretazione, oltre al punto di esecuzione dei sondaggi anche la loro quota di partenza).

Per quanto riguarda la zona collinare limitrofa all'A10 sono stati utilizzati i dati di campagne geognostiche e studi realizzati da Spea per la progettazione dell'Autostrada o della Galleria artificiale Prà-Palmaro:

Committente	Cantiere	Anno	N. e tipo di indagine
Autostrade	Autostrada Genova-Savona Progetto esecutivo delle opere di raddoppio (Il carreggiata)	---	11 sondaggi
IMPRESA SALATI S.p.A.	Via Diano Marina - Palmaro	1989	4 sondaggi
Spea	Galleria artificiale Prà Palmaro	2002-2003	10 sondaggi
Autostrade	Piano di risanamento acustico	2007	3 sondaggi, 6 dpsh

Per verificare direttamente la litologia dei materiali del substrato al di sotto del rilevato del porto ed eseguire analisi geotecniche e chimico - ambientali, sono state appositamente realizzate due campagne di indagine.

Committente	Cantiere	Anno	N. e tipo di indagine
Spea	Progetto Definitivo Nuovo sistema di accesso alle aree operative del bacino portuale di Voltri,	2007	1 sondaggio + prove di laboratorio + analisi chimiche
Spea	Progetto Esecutivo Nuovo sistema di accesso alle aree operative del bacino portuale di Voltri,	2013	6 sondaggi a carotaggio continuo + 4 sondaggi a distruzione + 2 cross hole + prove di laboratorio + analisi chimiche

Infine tra febbraio e aprile 2016 è stata eseguita una campagna di indagini in corrispondenza delle opere in progetto al fine di verificare direttamente la litologia e le caratteristiche geotecniche dei terreni coinvolti dal progetto, installare strumentazione per il controllo dei livelli di falda ed eseguire prove Down Hole.

In particolare sono stati eseguiti:

- N. 4 sondaggi a carotaggio continuo (SI1-SI3-SI5-SI8) con esecuzione di prove SPT, Lefranc, pressimetriche e prelievo di campioni rimaneggiati e spezzoni di carota da sottoporre alle prove di laboratorio. In ciascun sondaggio è stato poi installato un piezometro.
- N. 2 sondaggi a carotaggio continuo (SI2-SI7) utilizzati per l'esecuzione di prove Down Hole.
- N. 4 sondaggi suborizzontali (C1-C2-C3-C4) accoppiati a prospezioni georadar eseguiti sui muri esistenti al fine di verificarne lo spessore.

Sui campioni prelevati dai sondaggi sono state eseguite prove di identificazione (granulometrie e limiti) e prove di taglio.

Le indagini geognostiche sono state eseguite, come previsto dalla norma vigente, sulla base di un progetto redatto in maniera multidisciplinare dalla figure indicate qui di seguito: dal geologo responsabile dell'ufficio geologia (GEO) per quanto riguarda la componente geologica; dall'ingegnere responsabile dell'ufficio opere all'aperto (APE) per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica delle terre e delle rocce.

I dati stratigrafici e tecnici derivanti dalla documentazione geognostica in sito e dalle prove di laboratorio, sono riportati negli elaborati GEO0004-GEO0009 mentre l'ubicazione è riportata in GEO0003.

3.3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE GENERALE

L'area in esame si inserisce in un settore di grande complessità strutturale, che tradizionalmente giustappone il dominio orogenico alpino a quello appenninico, descritto in letteratura come "*nodo collisionale ligure*" (Laubscher at. al., 1992).

Procedendo da ovest verso est, sono riconoscibili tre settori con caratteristiche geologiche e strutturali peculiari:

- il Gruppo di Voltri (che interessa direttamente la zona in esame)
- la Zona Sestri Voltaggio
- Il Dominio dei Flysch Appenninici, costituito da differenti unità tettoniche e tettonometamorfiche impilate con vergenza europea (circa E-W allo stato attuale).

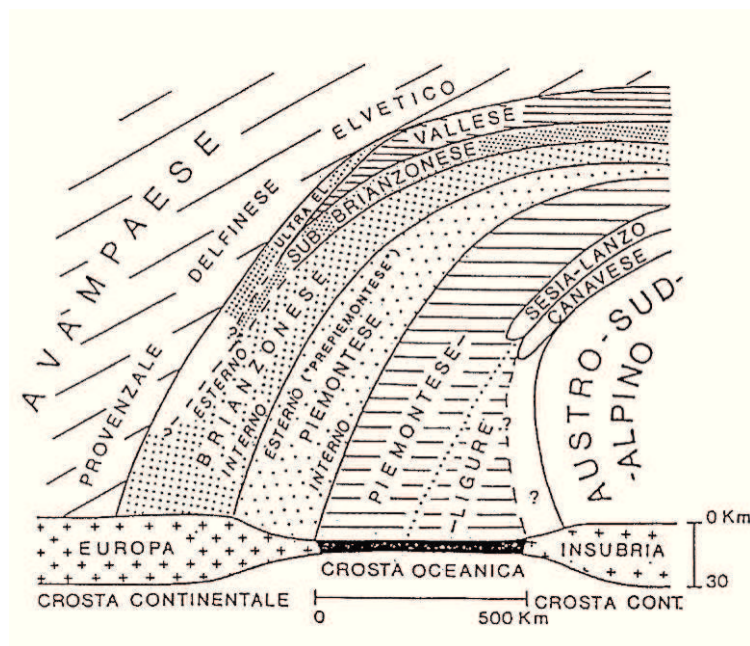


Fig. 2 – Schema paleogeografico ipotetico durante il Giurassico medio superiore dall'esterno avampaese) all'interno (Austro-Sudalpino) (da Guida geologica regionale "Alpi Liguri", 1991)

La storia geologica di questo settore inizia nel Giurassico medio quando, in seguito all'apertura dell'Atlantico centrale e la deriva verso est della placca africana, si vennero a creare le condizioni per l'apertura di un bacino oceanico (bacino ligure - piemontese) compreso tra il paleocontinente europeo (avampaese) ed il paleocontinente africano (dominio insubrico). In seguito alla collisione del paleocontinente africano con quello europeo si instaurarono le condizioni che portarono all'orogenesi alpina ed alla progressiva chiusura del bacino ligure - piemontese.

Le principali fasi orogenetiche alpine si sono realizzate in quest'area tra i 90 ed i 40 milioni di anni fa (Cretaceo sup. - Eocene), determinando la deformazione sia dei depositi oceanici (per altro in gran parte subdotti) sia dei depositi continentali prossimi alla zona di sutura, che risultano traslati verso l'avampaese: ne consegue una struttura a falde di ricoprimento. Ognuna di queste falde costituisce tradizionalmente una unità tettonica o unità stratigrafico – strutturale, la cui successione stratigrafica e posizione nell'edificio della catena testimoniano l'appartenenza ad un dato dominio paleogeografico (Dominio delfinese - provenzale, sub - brianzone, brianzone ligure, piemontese, piemontese-ligure "oceanico").

Alla fine dell'Eocene le Alpi Liguri risultano ormai formate ed emerse (anche se ancora in sollevamento) e costituiscono la zona di alimentazione dei depositi postorogenici.

Tra l'Oligocene sup. ed il Miocene inf. viene a crearsi, nell'area a sud, un braccio di mare (Mar Ligure) in conseguenza alla rotazione antioraria del Blocco Sardo-Corso mentre ad est è presente il Bacino Terziario Ligure - Piemontese (i cui depositi caratterizzano la zona delle Langhe ed affiorano solo sporadicamente nell'area genovese).

Il Messiniano rappresenta una cesura di primaria importanza dal punto di vista dell'evoluzione fisiografica del territorio, poiché l'abbassamento drastico del livello base dell'erosione ha "congelato", il reticolo idrografico preesistente. Le principali strutture vallive e le dorsali montuose si delineano in modo già simile all'attuale. Nel contesto delle unità recenti questo dato è significativo poiché tutti i depositi posteriori suturano una paleogeografia continentale complessa e morfologicamente matura, in cui gli assi vallivi corrispondono generalmente a quelli attuali e su cui la sedimentazione è funzione del tasso di sollevamento della catena e delle variazioni eustatiche del livello del mare. Si assiste quindi a eventi polifasici di erosione e deposizione all'interno delle valli.

I terreni presenti nella zona di studio appartengono Gruppo di Voltri. Le successioni appartenenti a questo Gruppo sono riferibili al dominio piemontese - ligure ovvero ad un bacino oceanico, costituito da originarie rocce intrusive ed effusive e da sedimenti di vario tipo depositi sopra le lave basaltiche; in letteratura sono state distinte al suo interno numerose Unità Tettonometamorfiche riconducibili tradizionalmente a due insiemi principali:

- Unità costituite prevalentemente da rocce metagabbriiche e serpentinitiche (Unità Beigua, Unità Ponzema, Unità S.Luca Colma).
- Unità costituite da prevalenti calcescisti e prasiniti (metabasiti), ma anche da subordinate rocce di origine mantellica quali serpentiniti e peridotiti (Unità Alpicella, Unità Ortiglieto, Unità Palmaro-Caffarella, Unità Voltri-Rossiglione).

I litotipi dell'Unità Voltri hanno registrato un picco metamorfico eclogitico mentre la riequilibrio metamorfica delle rocce dell'Unità Palmaro-Caffarella è limitata alla facies scisti-blu (Federico et al. 2004).

L'evoluzione degli studi petrografico-strutturali, svolti in anni recenti, ha portato ad una diversa articolazione delle unità Tettono-metamorfiche; in particolare l'Unità Tettono-

metamorfica Palmaro Caffarella verrebbe separata dall'Unità del Gruppo di Voltri in quanto le sue caratteristiche petrografiche indicherebbero una diversa evoluzione metamorfica.

3.4 INQUADRAMENTO TETTONICO DEL GRUPPO DI VOLTRI

Il Gruppo di Voltri ha subito una complessa storia deformativa e metamorfica; nell'ambito della quale si possono ricostruire cinque eventi plicativi sovrimposti:

- il più antico (pre-D1) consiste in pieghe sradicate correlabili agli stadi metamorfici di alta pressione;
- gli eventi plicativi principali (D1 e D2) sembrano coevi con l'evoluzione decompressiva che condusse alla riequilibrio del metamorfismo delle rocce alla facies scisti verdi. Le pieghe D1 e D2 sono di tipo isoclinale, con simmetria non cilindrica, con sviluppo di scistosità parallela al piano assiale; queste pieghe generarono la foliazione regionale, che è quella che è stata sistematicamente misurata in sito (giaciture riportate nell'ambito della carta geologica allegata).
- la fase deformativa D3 è caratterizzata da pieghe a "chevron" che risultano blande ed aperte, senza sviluppo di scistosità di piano assiale, ma con clivaggio di frattura. Gli assi di queste strutture immergono blandamente sia a WNW, sia a ESE.
- Le pieghe D4 sono aperte, hanno ampiezza fino a 10 km, presentano assi orizzontali ad andamento N-S e vergenza E-NE .

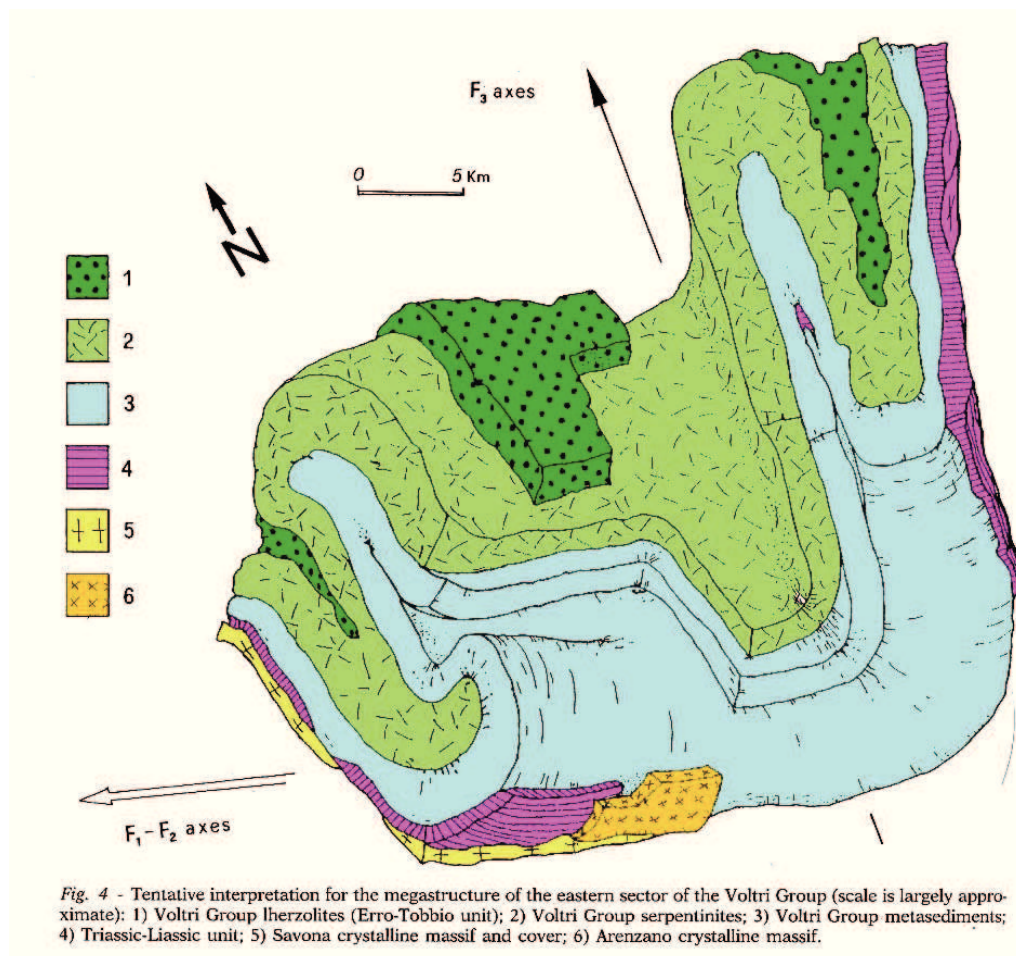


Fig. 3 - Modello strutturale di riferimento per le deformazioni duttili da Capponi et al., 1991

L'andamento delle scistosità principali (D1 e D2) mostra una generale verticalizzazione nel settore orientale (ove si situa la zona di studio) che viene spiegata mediante una struttura (D4) est - vergente a scala chilometrica che coinvolge tutte le successioni presenti (Capponi, 1991) (Crispini, 1996). In particolare studi recenti (Crispini e Capponi, 2001) attribuiscono lo sviluppo di questo Gruppo ad un regime di shear strain rotazionale.

Alle deformazioni duttili descritte, si sovrappongono numerose strutture fragili associate sia al sollevamento delle unità profonde, sia ai movimenti trascorrenti connessi alla vicina linea Sestri - Voltaggio. Le faglie risultano generalmente ben riconoscibili nell'ambito dei singoli affioramenti quando pongono a contatto litologie differenti, mentre la loro identificazione risulta particolarmente complessa se dislocano affioramenti appartenenti alle medesime formazioni, soprattutto nell'ambito delle serpentiniti.

3.5 STRATIGRAFIA

Le rocce affioranti nelle zone immediatamente a nord dell'area di intervento appartengono alle unità tettonometamorfiche di Voltri e Palmaro - Caffarella e rappresentano successioni oceaniche metamorfiche riconducibili a relativamente pochi termini litologici: calcescisti, metagabbri e serpentiniti. Per questi litotipi sono accettate le seguenti omologie: le serpentiniti sono considerate derivanti dal materiale peridotitico del mantello superiore, i metagabbri dalle sequenze intrusive gabbbriche (strato 3 della crosta oceanica), i metabasalti dai basalti dello strato 2 oceanico mentre i calcescisti e le quarziti sarebbero gli equivalenti metamorfici delle coperture sedimentarie della crosta oceanica (strato 1).

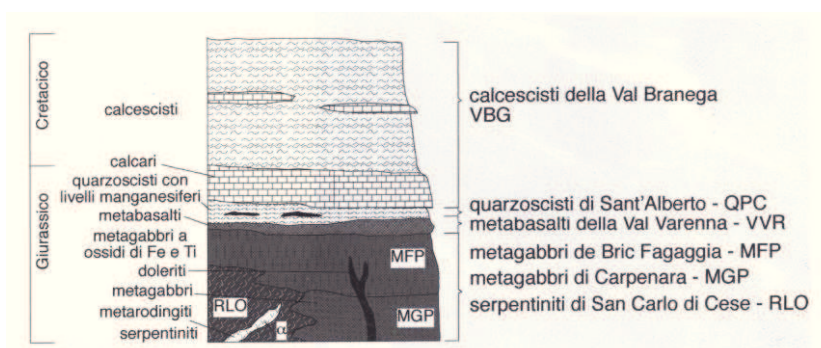


Fig. 4 – Successione dell'Unità Palmaro-Caffarella (da Note illustrative Foglio CARG)

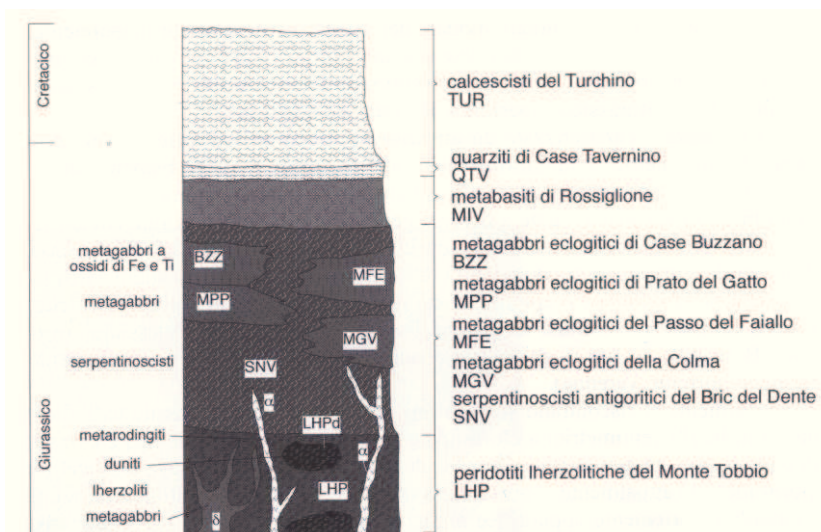


Fig. 5 – Successione dell'Unità Voltri (da Note illustrative Foglio CARG)

Nel presente lavoro si è ritenuto opportuno accorpare le successioni delle unità tettonometamorfiche Voltri e Palmaro Caffarella (distinte dalla carta CARG); le loro litologie, infatti, non possono essere distinte mediante osservazioni condotte ad occhio nudo, ma

unicamente in microscopia ottica mediante analisi delle associazioni mineralogiche. Tale distinzione non è apparsa utile nei confronti delle finalità geologico - applicative.

Nella seguente descrizione viene comunque riportata la denominazione da CARG con la relativa sigla l'Unità Tettonometamorfica di pertinenza (PC per Palmaro -Caffarella e V per Voltri)

Nell'area in esame è stata riconosciuta la seguente successione stratigrafica:

3.5.1 Unità Tettonometamorfiche Voltri e Palmaro-Caffarella

Calcescisti (c)

Con questo termine si indicano metasedimenti di varia composizione: nell'area si riconosce una alternanza di calcescisti carbonatici e scisti quarzoso micacei. Data la variabilità percentuale tra i minerali costituenti (quarzo, carbonati e miche) che portano alla transizione tra calcescisti e micascisti e vista la variabilità areale degli stessi, si è scelto di cartografare separatamente i due litotipi solo nelle porzioni affioranti. Altri minerali riconosciuti, presenti in minore quantità, sono cloriti e cloritoidi. I calcescisti sono caratterizzati da una scistosità marcata, legata a diverse generazioni di deformazioni.

I calcescisti carbonatici sono di colore da marrone a grigio in frattura fresca, mentre all'alterazione assumono colorazioni più rossastre. Gli scisti quarzoso micacei, invece, hanno delle tonalità più scure, con colorazioni solitamente da grigie chiare a grigie scure in frattura fresca; sono rocce che spesso si alterano, assumendo tonalità arancione - ocra, e disgregandosi fino a generare spesse coltri di disfacimento.

I Calcescisti sono talvolta associati a bande trasposte di metabasiti (di spessore decametrico) disposte parallelamente rispetto alla foliazione pervasiva principale.

I calcescisti affiorano in modo discontinuo sui versanti prospicienti l'area del progetto, la loro presenza al di sotto dell'area antropizzata può essere accertata solo con le indagini geognostiche; in particolare tutti i carotaggi di più recente esecuzione descrivono litologie compatibili alla facies quarzoso micacea. I sondaggi più datati (1966) - privi di documentazione fotografica - segnalano la presenza di "rocce serpentinosi stratificate di

colore grigio con vene di quarzo o calcite". L'effettiva presenza di tale litotipo non è stata riscontrata nei sondaggi di nuova realizzazione (seppur realizzati a pochi metri di distanza) ma non si può comunque escludere la presenza di lenti di materiali appartenenti alle "pietre verdi" all'interno dei calcescisti.

Età ipotizzata dal CARG: Giurassico sup-Cretaceo sup

Denominazioni da CARG: Calcescisti della Val Branega (VGB-pc) Calcescisti del Turchino (TUR-v)

Metagabbri (mg)

I metagabbri formano lenti di qualche centinaio di metri, distribuite all'interno sia dei Calcescisti sia delle Serpentiniti. Sono stati distinti in affioramento due categorie di metagabbri: un tipo preserva minerali di paragenesi eclogitica, mentre l'altro mostra una spiccata retrocessione metamorfica in facies scisti verdi. Quando non è stato possibile definire a quale di queste categorie appartenessero alcuni metagabbri, li si è indicati con il termine generico di metagabbri. I Metagabbri in facies scisti verdi sono di colore verde e bianco in frattura fresca, in alterazione assumono colorazioni ocra. Hanno grana da media a fine e struttura talvolta foliata. Tale foliazione è continua e marcata dall'alternanza tra livelli centimetrici a pirosseni ed anfiboli (retrocessi) ed altri a quarzo.

Questa roccia si presenta in affioramento come molto compatta ma può anche alterarsi facilmente, disgregandosi e sbriciolandosi in materiale di tipo sabbioso.

Si ritrovano in affioramento in prossimità del Bric Bacciocco, nella zona ad est della carta

Età ipotizzata dal CARG: Dogger – Malm

Denominazioni da CARG: Metagabbri di Carpenara (MGPr-PC), Metagabbri del Bric Fagaggia (MFP-PC), Metagabbri eclogitici della Colma (MGV-V)

Metabasiti (mb)

Sono riportate in carta con questo termine rocce derivate da originari basalti o gabbri per le quali non è stato possibile riconoscere il protolito in maniera continua. Solo a livello degli

affioramenti, quando possibile, sono stati distinti i metabasalti. Questi si presentano sia compatti che scistosi a grana fine frequentemente a tessitura listata di spessore da millimetrico a centimetrico a prevalenti albite + epidoto e anfibolo + clorite.

Età ipotizzata dal CARG: Dogger - Malm

Denominazioni da CARG: Metabasalti della Val Varenna (VVR-PC), Metagabbri di Carpenara (MGPr-PC), Metagabbri del Bric Fagaggia (MFP-PC), Metagabbri eclogitici della Colma (MGV-V),

Serpentiniti (s)

Serpentiniti e serpentinoscisti derivanti dal materiale peridotitico del mantello superiore, talora con relitti di tessitura lherzolitica originaria. Si presentano di colore verde, da chiaro a scuro, in frattura fresca; quando alterate, invece, assumono colorazioni più arancioni-rossicce, talvolta marroni.

Le serpentiniti possono presentarsi con tessitura massiccia, foliata, brecciata o cataclastica. Le Serpentiniti massicce presentano un aspetto generalmente compatto, le foliazioni sono presenti ma prevale la componente massiva; le serpentiniti foliate (tipo più diffuso) sono caratterizzate da clivaggi ben espressi nei quali si riconoscono diverse generazioni di deformazioni. Entrambe sono accomunate dalla coesione della roccia e dalla sua alta resistenza a sollecitazioni. Le Serpentiniti massicce e quelle foliate affiorano con continuità nell'intera parte a nord dell'area in esame, mentre si distribuiscono come lenti trasposte all'interno dei calcescisti, parallele rispetto alla foliazione principale, nella zona della Val Leira. La foliazione è prevalentemente marcata dall'isorientazione del serpentino (e di minerali accessori come talco ed e fibre asbestoidi).

Età ipotizzata dal CARG: Dogger - Malm

Denominazioni da CARG: Serpentiniti di S. Carlo di Cese (RLO-PC), Serpentinoscisti antigoritici del Bric del Dente (SNV-V)

SAC

Nell'ambito dello studio relativo alla presenza di amianto naturale condotta per la progettazione della Gronda di Genova, è stata evidenziata la presenza di scisti ad anfibolo della serie tremolite-actinolite e clorite, \pm diopside, \pm carbonato (abbreviazione: SAC), tipicamente collocati al contatto tra calcescisti e metabasiti, in livelli da centimetrici a decimetrici, che hanno subito eventi multipli di deformazione e ricristallizzazione in facies metamorfica degli scisti verdi. Si tratta di rocce marcatamente foliate, ricche in anfibolo (comunemente con habitus aghiforme) e clorite; generalmente alla macroscale si apprezza una evidente eterogeneità litologica. Gli scisti a clorite-tremolite probabilmente derivano da protoliti a composizione basica, che hanno subito eventi multipli di deformazione e ricristallizzazione nella facies metamorfica degli scisti verdi.

3.5.2 Zone di faglia

La descrizione delle rocce di faglia rappresenta un aspetto particolarmente importante nell'interpretazione geologica generale relativa in quanto, oltre all'importanza per la previsione dell'assetto geologico-strutturale e geomeccanico, tali rocce sono molto spesso sede di zone, vene e fasce ad elevata concentrazione di minerali fibrosi. Nella figura seguente è rappresentato uno schema-tipo che descrive sinteticamente una zona di taglio cataclastica e che include le più ricorrenti tipologie di rocce di faglia; sono individuati in dettaglio i diversi elementi che costituiscono la zona di taglio e ne è riportata l'accezione lessicale utilizzata.

La zona delimitata dalle due faglie principali (boundary fault) può essere descritta come zona di faglia e/o zona di taglio. Le foliazioni preesistenti, che possono essere presenti all'interno della zona di taglio, spesso ruotate, sono descritte come superfici "S".

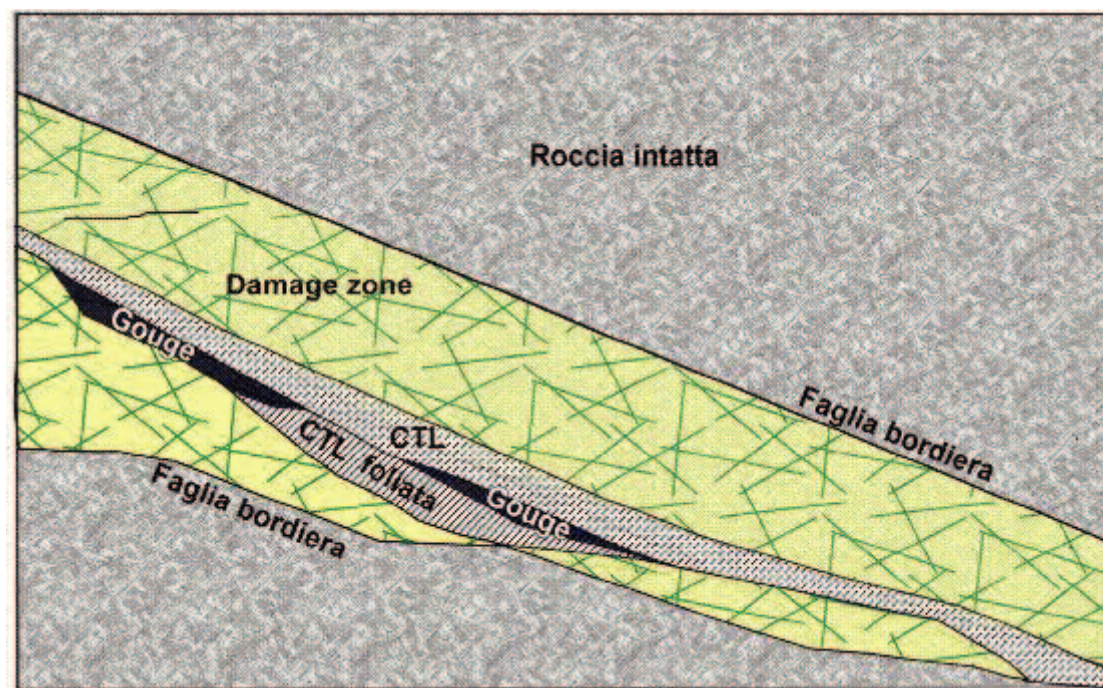


Fig. 6 - Schema-tipo di una zona di taglio cataclastica.

Se la zona di taglio/faglia è stata interessata da deformazioni frizionali che hanno determinato una marcata riduzione di grana, è usato il termine *cataclasite* (CTL) per distinguerne le porzioni nelle quali la riduzione di grana è più evidente; se la riduzione di grana è accompagnata da alterazione è utilizzato il termine *gouge*, dove la grana è molto fine per la presenza di materiale a consistenza argillosa. Se le zone cataclastiche non sono cementate si può usare anche il termine di *breccia di faglia*, specificandone la taglia granulometrica (protobreccia, breccia, ultrabreccia). Se la cataclasite presenta una foliazione interna può essere definita come *cataclasite foliata*. Le porzioni della zona di taglio/faglia che non presentano marcata cataclasi, ma che mostrano un grado di fratturazione più elevato rispetto alla roccia incassante, sono descritte come “*zona danneggiata*” (*damage zone*). La fascia cataclastica centrale e il gouge spesso associato corrispondono al cosiddetto “*fault core*”, coincidente con la zona a maggiore entità di rigetto o scorrimento.

3.5.3 Depositi superficiali

L'area rilevata presenta caratteristiche differenti a seconda delle litologie che costituiscono il substrato. Non essendo mai stata soggetta a glaciazioni, i meccanismi evolutivi predominanti sono guidati dalla pedogenesi, dalla gravità e dalle acque superficiali e marine.

Depositi di frana (a1, a2)

Si tratta in generale di accumuli di materiali eterogenei ed eterometrici, non elaborati e non classati, con evidenze di movimento in atto o recente (frana attiva e quiescente) o privo di movimento in atto (paleofrana).

Dal punto di vista tipologico, i diversi meccanismi di dissesto risultano prevalentemente legati alla natura geologica dei terreni coinvolti. Depositi di frana di dimensioni consistenti si sviluppano sulle facies serpentinitiche brecciate del Gruppo di Voltri. L'area del progetto non è direttamente interessata da tali depositi.

Depositi di versante (a3)

Si tratta di accumuli di vario spessore costituiti da frammenti lapidei derivanti dalla disgregazione meccanica degli ammassi rocciosi. La granulometria dei depositi è funzione della litologia del substrato, delle modalità di messa in posto e dell'intensità dell'alterazione.

Hanno caratteri differenti a seconda della litologia del substrato:

- In generale metabasalti, lherzoliti e serpentiniti sono caratterizzati da coltri di detrito di versante di spessore esiguo, con affioramenti frequenti e di buon rilievo morfologico;
- serpentiniti tettonizzate, calcescisti e metagabbri sono invece marcatamente soggetti ai fenomeni pedogenetici; spesso in affioramento si osserva l'orizzonte C del suolo - denudato dall'erosione - in cui si riconoscono ancora i principali aspetti tessiturali (foliazione, pieghe) e il litotipo è argillificato. In queste condizioni sulle parti basse dei versanti si accumulano depositi medio - fini con spessori anche superiori ai 3-4 m.

Depositi alluvionali

Sono costituiti principalmente da ghiaie medie e grossolane a matrice sabbiosa e da ghiaie e sabbie limose.

I torrenti minori dell'area sfocianti direttamente in mare, presentano sempre materassi alluvionali costituiti da ghiaie sabbiose, il loro spessore appare inferiore a 1 m nelle aste montane e si incrementa rapidamente allo sbocco della stretta fascia costiera.

Sono ubicati in corrispondenza degli alvei attuali dei torrenti Leiro e Branega e lungo una stretta fascia compresa tra la spiaggia attuale e i depositi marini terrazzati.

Depositi di spiaggia attuali

Sono formati da sabbie prevalenti verso mare e ghiaie nella zona più vicina alla costa, interdigitati con depositi alluvionali precedentemente descritti. Nella zona del progetto sono ricoperti dai materiali di riporto e la presenza e spessore si possono ricostruire solo dai sondaggi.

Depositi marini terrazzati

Caratterizzano il terrazzo su cui è posizionato il casello di Voltri. Sono costituiti da ghiaie e sabbie con una coltre eluvio-colluviale di spessore variabile. L'estensione di questo deposito è difficilmente ricostruibile a causa dell'elevata antropizzazione dell'area; dai sondaggi risultano di spessore massimo 10÷15 m.

Depositi antropici

Costituiscono la zona del Porto e, dai dati dei sondaggi, hanno uno spessore di una decina di metri. Sono costituiti da elementi di varia origine quali spezzoni lapidei delle litologie affioranti in aree limitrofe e resti antropici (laterizi, scorie di altoforno, frammenti di plastica, carta, tessuto, etc). L'opera in progetto poggerà, per buona parte del suo sviluppo, su questi tipo di materiale.

4 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Le caratteristiche morfologiche generali dell'area considerata sono il risultato di diversi processi:

- assetto geologico - strutturale
- dinamica marina
- dinamica dei corsi d'acqua
- dinamica dei versanti
- intensa attività di rielaborazione del territorio ad opera dell'uomo

La morfologia della zona risente enormemente da un lato dalle variazioni del livello del mare, che hanno portato alla formazione di terrazzi marini a varie quote, dall'altro della presenza dei corsi d'acqua che hanno inciso le rocce alterate e tettonizzate generando valli molto incassate, con versanti ripidi e piccole piane nella zona in cui sfociano in mare.

La ricostruzione della morfologia è resa poi estremamente difficile dagli interventi dell'uomo che, nel corso degli anni, hanno modificato le caratteristiche della fascia costiera.

Di seguito si riporta la carta IGM del 1878 ed alcune riprese aeree effettuate in anni diversi da cui sono evidenti i cambiamenti legati all'attività portuale (1973, 1983, 1999).



Fig. 7 – Carta I.G.M. del 1878, scala 1:25.000



Fig. 8 - Fotografia aerea - Agosto 1973



Fig. 9 - Fotografia aerea - Settembre 1983



Fig. 10 - Fotografia aerea - Giugno 1999

La stima quantitativa dei volumi potenzialmente instabili che eventualmente interessano l'infrastruttura, nonché la definizione degli interventi di minimizzazione / stabilizzazione e messa in sicurezza dell'infrastruttura non è oggetto della presente relazione.

Gli elementi morfologici che contraddistinguono il paesaggio da nord verso sud si possono ricondurre alle seguenti caratteristiche:

- un'ossatura costituita dal substrato lapideo più resistente nella zona a nord (serpentiniti e metagabbri);
- una zona con inclinazioni più blande dove sono presenti litologie più facilmente erodibili (calcescisti);
- un terrazzo marino in prossimità del casello autostradale, coperto da depositi eluvio-colluviali e fortemente modificato nella sua forma originaria dalla zona urbanizzata di Palmaro e Voltri;
- una piccola area pianeggiante in corrispondenza dell'Aurelia dove si ritrovano depositi fluviali interdigitati a depositi marini;
- la zona del porto, costituita da materiali di riporto che ricoprono la spiaggia originaria.

Nella planimetria geologica GEO0002 è riportato anche il dissesto che ha interessato la zona di Prà Palmaro-Voltri il 13 novembre 2014 portando alla chiusura dell'autostrada per il tratto sottostante il dissesto. Durante l'evento alluvionale del 13-14 novembre, sempre in prossimità di Voltri, sono esondati anche alcuni torrenti (es. Torrente Cerusa) provocando danni e modificando in modo significativo la morfologia dell'area.

4.1 VERIFICA DI REGIONE, IFFI E AUTORITA' DI BACINO

La stima quantitativa dei volumi potenzialmente instabili che eventualmente interessano l'infrastruttura, nonché la definizione degli interventi di minimizzazione / stabilizzazione e messa in sicurezza dell'infrastruttura non è oggetto della presente relazione.

L'analisi geomorfologica è stato condotta anche attraverso la verifica dei dissesti segnalati dagli Enti (Regione, I.F.F.I e Autorità di Bacino) per l'area in esame.

Sul sito webgis della Regione Liguria (<http://www.cartografiarl.regione.liguria.it>) è riportata la perimetrazione delle frane (da IFFI).

Per l'area in esame, la cartografia della regione segnala alcuni dissesti sulle alture dello svincolo di Voltri; tali dissesti non sono comunque interferenti con l'area progettuale.

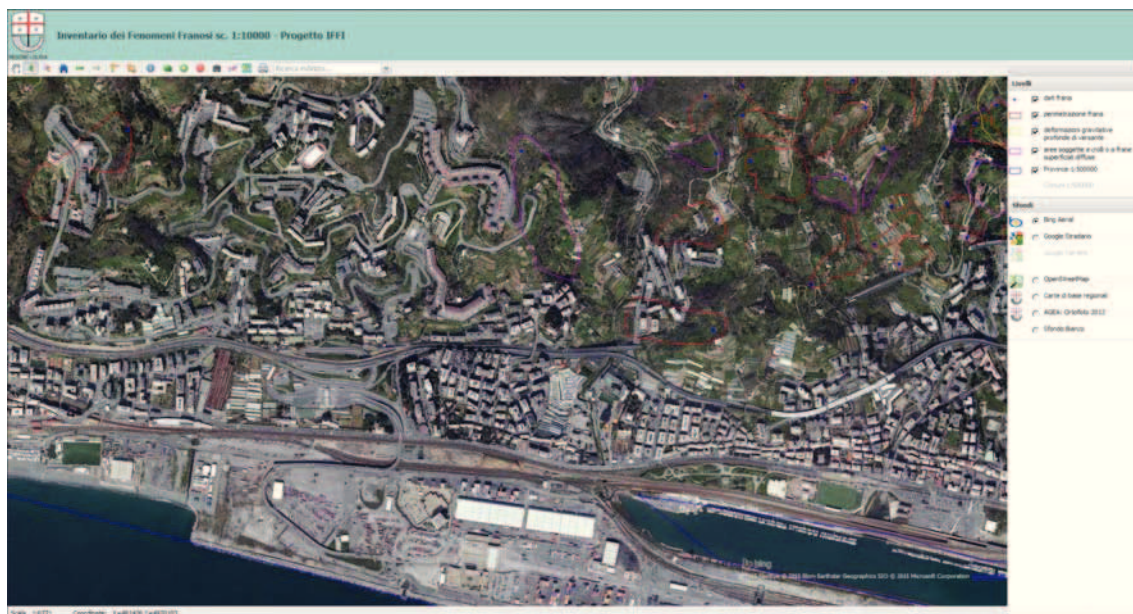


Fig. 11 - Aree di dissesto da WebGIS Regione Liguria (<http://www.regione.liguria.it/opendata/dati-cartografici/item/34491-inventario-dei-fenomeni-franosi-sc-1-10000-progetto-iffi.html>)

Il progetto IFFI - Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (APAT, 2005), realizzato per conto del Servizio Geologico - ISPRA con l'ausilio delle Regioni e Province autonome, costituisce il primo inventario omogeneo e aggiornato dei fenomeni franosi sull'intero territorio nazionale.

La cartografia IFFI, redatta alla scala 1:25000, è stata consultata per l'area di interesse progettuale. I dissesti segnalati sono i medesimi della Regione e non intersecano le opere in progetto.

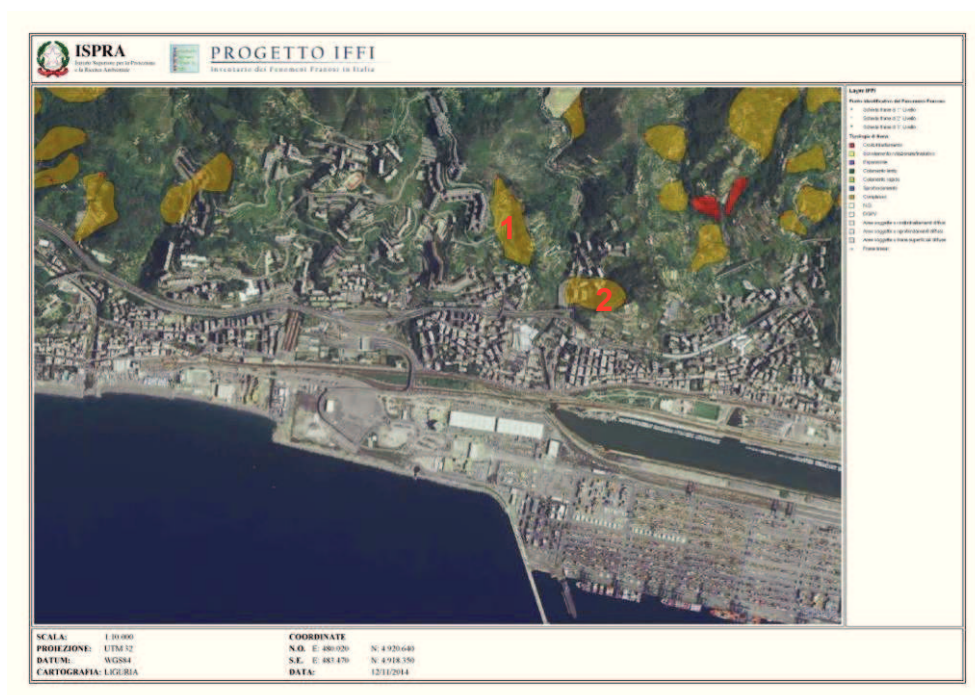


Fig. 12 *Progetto IFFI* (Cart@net APAT IFFI)

Si segnalano comunque le frane identificate nell'immagine come "1" e "2" aventi le seguenti caratteristiche:

Frana "1":

IDFrana	Provincia	Autorita' di Bacino	Tipo di movimento	Attività	Metodo usato per la valutazione del movimento e dell'attività	Danno
0100177100	GENOVA	Liguria	Complesso	Quiescente	Dato storico/archivio	n.d.

Frana "2":

IDFrana	Provincia	Autorita' di Bacino	Tipo di movimento	Attivita	Metodo usato per la valutazione del movimento e dell'attivita'	Danno
0100177200	GENOVA	Liguria	Complesso	Quiescente	Dato storico/archivio	n.d.

L'Autorità di Bacino, Ambito 12 e 13 identifica l'area in esame come a rischio geologico moderato (R1-verde) o lieve/trascurabile (R0-azzurro) .

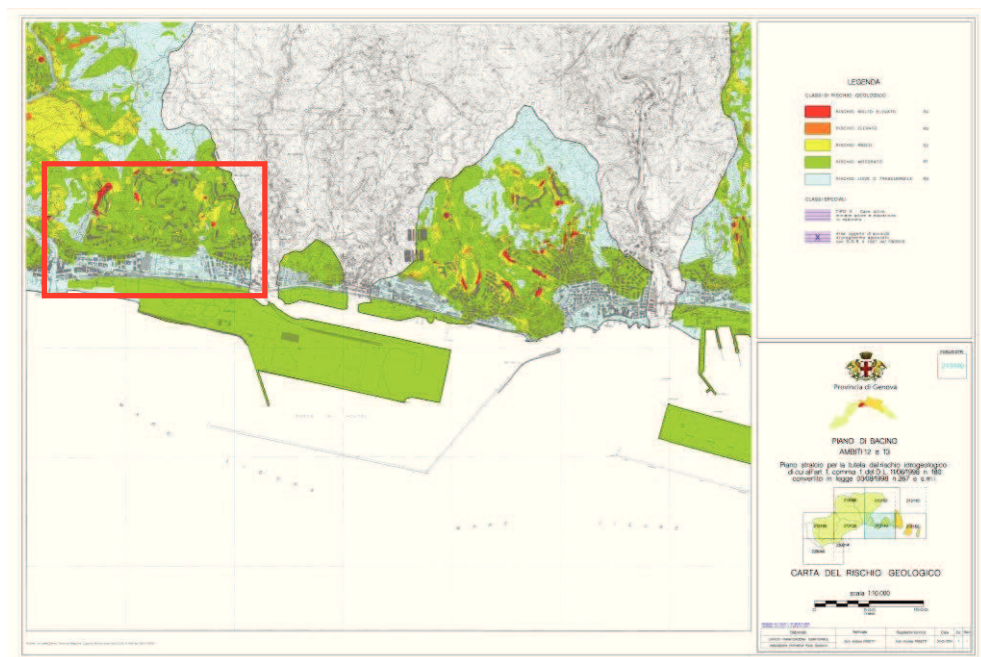




Fig. 13 - *Rischio Geologico (Piano di Bacino ambiti 12 e 13 approvato il 12/12/2002 ultima variante approvata il 22/09/2014). Tavola 213140 del 31/01/2014.*

Per quanto riguarda il rischio idraulico, si segnala un'area a monte dell'intersezione tra il Rio Madonnette e la Ferrovia, posta al di fuori dell'area di intervento, che ricade nelle in zona R4 (rischio idraulico molto elevato-rosso).

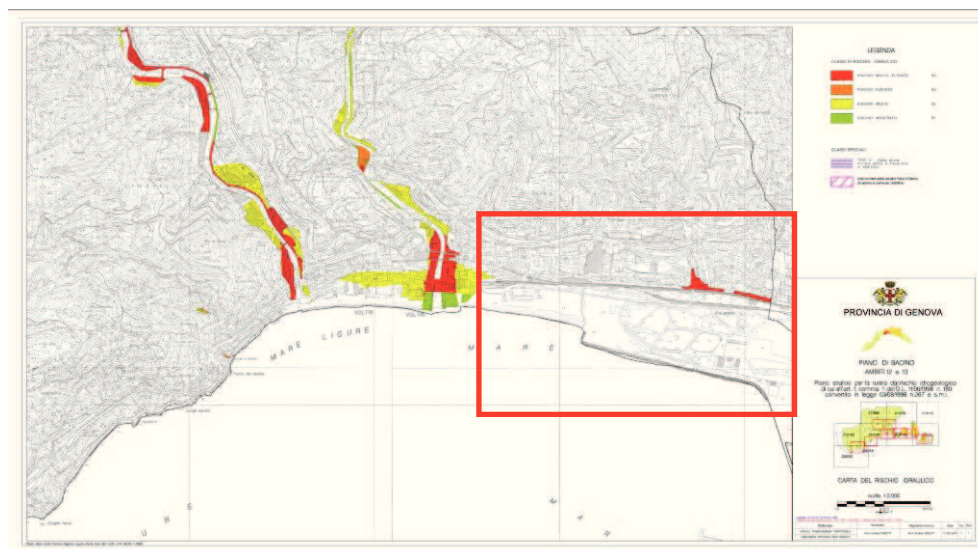


Fig. 14 - Rischio Idraulico (Piano di Bacino ambiti 12 e 13 approvato il 12/12/2002 ultima variante approvata il 22/09/2014). Tavola 3/8 del 13/03/2014.

5 MODELLO IDROGEOLOGICO D'INQUADRAMENTO

La quantità d'acqua immagazzinata nel sottosuolo e la presenza di falde acquifere sono legate, oltre che a fattori esogeni (precipitazioni, assetto morfologico ed orografico) anche a fattori endogeni (caratteristiche di permeabilità delle formazioni di substrato e loro rapporti geometrici – spaziali).

Scopo di questa parte del lavoro, è l'individuazione e classificazione delle Unità idrogeologiche presenti nell'area di indagine in relazione al grado e tipo di permeabilità delle formazioni esistenti. Per far ciò sono state prese in considerazione tutte le informazioni relative alla litologia, al livello di tettonizzazione, alle lineazioni rilevate, ai dati forniti dalle misure di permeabilità eseguite nei sondaggi perforati lungo il tracciato, alla presenza e caratteristiche dei punti d'acqua, ed a quanto riportato in letteratura.

Sulla base di tali dati è stato possibile ricostruire il modello concettuale di circolazione delle acque sotterranee e redigere una carta dei complessi idrogeologici nella quale sono stati individuate 6 Unità idrogeologiche divise in due gruppi riconducibili al tipo di permeabilità (per porosità – primaria; per fessurazione-secondaria) ed in quattro classi riconducibili alla permeabilità media (Molto Alto - Alto, Medio, Basso, Molto Basso).

In linea generale si ritiene che gli ammassi rocciosi che verranno incontrati abbiano caratteristiche di permeabilità da medie a basse e che la circolazione idrica sotterranea nel substrato roccioso avvenga prevalentemente lungo i sistemi di faglie principali.

Al fine di inquadrare le diverse unità dal punto di vista idrogeologico si propongono permeabilità medie riferibili agli ammassi rocciosi nel loro insieme, dedotte su base qualitativa (vedi in tabella: Grado di Permeabilità). Tali classi di permeabilità risultano comunque soggette a variazioni anche significative in corrispondenza delle strutture principali (es. faglie).

Il campo di variabilità dei coefficienti di permeabilità puntuali misurati per ciascuna litologia e la stima qualitativa del grado di permeabilità medio degli ammassi rocciosi è riportato nella tabella seguente:

					<i>K [m/sec]</i>				
					<i>da bibliografia</i>		<i>da prove in foro</i>		
	<i>Classe</i>	<i>Unità idrogeologica</i>	<i>Litologia</i>	<i>Grado di permeabilità stimato</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>media</i>
<i>Permeabilità primaria per porosità</i>	I	Unità dei depositi antropici	Depositi di riporto	Medio - Basso	-	-	-	-	-
	II	Unità a comportamento acquifero	Depositi alluvionali attuali ed antichi, Depositi di spiaggia e depositi marini terrazzati	Molto alto - Medio	-	-	4.68E-05	6.61E-03	1.93E-03
	III	Unità a comportamento acquitardo	Depositi di frana attiva, inattiva, paleofrana e di versante ed eluvio colluviale	Basso - Molto basso	-	-	-	-	-
	IV	Unità a comportamento acquicludo	-	Molto basso - Impermeabile	-	-	-	-	-
<i>Permeabilità secondaria per fratturazione</i>	V	Unità a permeabilità variabile in relazione al grado di fratturazione	Metagabbri e metabasalti indifferenziati delle unità Palmaro-Caffarella e Voltri, Serpentiniti indifferenziate delle Unità Palmaro-Caffarella e Voltri,	Basso - Molto basso	1.00E-08	1.00E-02	2.15E-08	4.90E-06	7.06E-07
	VI	Unità a permeabilità variabile in relazione al grado di fratturazione e alle variazioni litologiche	Quarzoscisti e calcescisti indifferenziati delle unità Palmaro-Caffarella e Voltri,	Medio - Basso	1.00E-07	1.00E-04	1.00E-09	2.19E-06	3.45E-07

Le significative differenze riscontrabili tra prove in sito, letteratura e valutazione qualitativa delle permeabilità deriva principalmente dal fatto che nel caso delle prove in sito si valutano permeabilità puntuali, mentre negli altri casi viene stimato un valore di permeabilità medio riferibile all'intero ammasso.

Nell'ambito della progettazione della Gronda di Genova è stato effettuato un accurato censimento di tutti i punti d'acqua ricadenti in una fascia significativa nell'intorno dell'asse; da tale censimento sono stati derivati i dati inerenti la zona di Palmaro-Voltri.

Ciascun punto di captazione è stato identificato mediante una sigla alfanumerica; sono stati prelevati campioni di acqua al fine di rilevarne i parametri di conducibilità, di acidità (pH) e di temperatura; infine si è provveduto alla misura della portata. In allegato sono riportate le schede dei punti d'acqua che ricadono nella zona in esame.

Le informazioni specifiche riportate nella tabella si riferiscono a:

- tipo di sorgente
- tipo di captazione, se presente
- portata
- parametri geochimici: ph, conducibilità elettrica e solidi disciolti (TDS) ;
- eventuali caratteri solforosi.

L'elaborazione dei valori di conducibilità e di pH raccolti sul terreno ha permesso di porre in evidenza l'esistenza di diversi circuiti di circolazione delle acque sotterranee. I valori di pH si sono rivelati una fonte di informazione fondamentale al fine dell'individuazione di acque solforose. Le acque solforose infatti sono caratterizzate da un valore di pH decisamente anomalo, (>10), che indica una circolazione profonda delle acque.

Nella carta geologica GEO0002 sono riportate le sorgenti che interessano la zona di Palmaro e Voltri. In particolare in vicinanza dello svincolo autostradale è presente una sorgente di acque solforose; generalmente tali tipi di sorgenti si allineano lungo zone di faglia e per tale motivo risultano essere indicatori utili per la definizione dell'assetto tettonico dell'area.

Di seguito si riportano le letture piezometriche rilevate nei piezometri installati tra febbraio e aprile 2016.

Sondaggio	Data	Profondità (m da p.c.)
SI1	18 Aprile 2016	-7.40
SI3	18 Aprile 2016	-3.12
SI8	18 Aprile 2016	-2.78

La definizione della falda di progetto e la definizione delle interferenze dell'infrastruttura con la falda idrica, sia come impatto sull'ambiente idrico, sia come ripercussioni ingegneristiche a contrasto delle azioni erosive delle acque di superficie, non è oggetto della presente relazione.

6 ELEMENTI DI SISMICA GENERALE

I paragrafi seguenti riportano una descrizione della sismicità storica del territorio esaminato ed un inquadramento riferito agli assetti normativi in vigore. La definizione dell'accelerazione di riferimento non è oggetto della presente relazione. I dati di base utili per la definizione degli elementi di sismica generale dell'area in esame sono stati ricavati dai seguenti documenti o siti internet:

- Sismicità storica dal 1000 al 2006: Database DMI 2011 (Database Macrosismico Italiano) dell' Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia (a cura di M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi, 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna) disponibile on-line all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>
- Sismicità recente (dal 2005 al 2014): Database ISIDE (Italian Seismic Instrumental and parametric Data-basE) dell'I.N.G.V. disponibile on-line all'indirizzo <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>
- Faglie capaci: catalogo delle faglie capaci ITHACA (ITaly HAZard from Capable faults) dell' Istituto Superiore per la Protezione e per la Ricerca Ambientale , disponibile on-line all'indirizzo http://www.isprambiente.gov.it/site/it-IT/Progetti/ITHACA_-_Catalogo_delle_faglie_capaci/default.html
- Strutture sismogenetiche: Database DISS3 (Database of Individual Seismogenetic Sources) disponibile on-line all'indirizzo <http://diss.rm.ingv.it/diss/>
- Classificazione sismica nazionale: disponibile on-line all'indirizzo <http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/classificazione.wp>
- Classificazione sismica Regione Liguria: dati e pubblicazioni disponibili on-line all'indirizzo <http://www.regione.liguria.it/argomenti/territorio-ambiente-e-infrastrutture/protezione-civile/rischio-sismico/prevenzione-del-rischio-sismico/classificazione-sismica-regionale.html>

6.1 SISMICITÀ STORICA (DAL 1000 AL 2006)

Con riferimento all'analisi della sismica storica del territorio interessato vengono esaminati i dati riportati nel D.M.I. 2011 che contiene 86.071 MDP (Macroseismic Data Points) relativi a

1.684 terremoti il cui epicentro ricade all'interno dell'area CPTI11; i dati sono riferiti a 15.416 località di cui 14.150 in territorio italiano; in particolare sono stati estratti i dati disponibili per il comune di Genova.

Nella tabella seguente viene riportato l'elenco dei terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 4-5, i valori relativi alla intensità al sito, il tempo all'origine (anno, mese, giorno, ora UTC), l'area epicentrale, il numero progressivo, l'intensità epicentrale e la magnitudo momento.

Seismic history of Genova					
[44.419, 8.898]					
Total number of earthquakes: 102					

Effects	Earthquake occurred:				
Is	Anno Me Gi	Area epicentrale	nP	Io	Mw
NR	1065 03 27	Brescia	6	7	5.14 ±0.34
6	1182 08 15	GENOVA	1	6	4.72 ±0.34
NC	1197	Brescia	3		
5-6	1217 01 08	GENOVA	1	5-6	4.51 ±0.34
5-6	1222 12 25	Basso Bresciano	18	7-8	5.84 ±0.56
5	1276 07 29	Italia settentrionale	10	5	5.12 ±0.36
NR	1346 02 22	Ferrara	5	6-7	4.93 ±0.34
NR	1383 07 24	PARMA	7	4-5	4.09 ±0.34
NR	1410 06 10	Verona	9		
NR	1438 06 11	Parmense	10	8	5.57 ±0.34
NR	1465 04 07	Pianura Padana	11	5-6	4.51 ±0.34
NR	1474 03 11	MODENA	12	5	4.30 ±0.34
6	1536 08 10	Genova	1	6	4.72 ±0.34
5	1541 10 22	VALLE SCRIVIA	9	7	5.24 ±0.60
4-5	1612 01 31	ROCCA BIGLIERA	6	6-7	4.93 ±0.34
4	1695 02 25	Asolano	82	10	6.48 ±0.18
F	1738 11 05	PARMA	10	7	5.14 ±0.34
3	1740 03 06	GARFAGNANA	31	7	5.24 ±0.35
3	1742 01 27	Livorno	16	6	4.90 ±0.32
4-5	1759 05 26	PAVIA	4		
F	1767 01 21	Fivizzano	10	7	5.35 ±0.59
F	1767 01 21	Fivizzano	7		
6-7	1767 02 07	GENOVA	10	6	5.16 ±0.39
3	1786 12 25	Riminese	91	8	5.62 ±0.17
3-4	1796 10 22	Emilia orientale	27	7	5.61 ±0.36
4	1802 05 12	VALLE DELL'OGLIO	85	8	5.64 ±0.22
3-4	1806 02 12	NOVELLARA	28	7	5.19 ±0.39
3	1808 04 02	Valle del Pellice	107	8	5.69 ±0.15
3	1808 04 16	Valle del Pellice	21		
F	1810 12 25	NOVELLARA	33	6	5.29 ±0.22
4	1811 07 15	SASSUOLO	21	6-7	5.25 ±0.40
F	1814 04 03	LIVORNO	4	6-7	5.15 ±0.55
3	1818 02 23	Liguria occidentale-Francia	46	7	5.45 ±0.22
3	1818 12 09	Parmense	26	7	5.28 ±0.35
F	1826 06 24	SALO'	19		
6	1828 10 09	Valle Staffora	114	8	5.76 ±0.15
4	1828 10 09	Valle Staffora	6		
4	1828 10 10	Valle Staffora	18		
4	1831 05 26	Liguria occidentale	33	8	5.46 ±0.36

Effects	Earthquake occurred:				
Is	Anno Me Gi	Area epicentrale	nP	Io	Mw
2-3	1831 09 11	Reggiano	25	7-8	5.54 ±0.32
2	1832 03 11	Carpi (MO)	14	5	4.80 ±0.37
3	1832 03 11	Reggiano	14		
4	1832 03 13	Reggiano	98	7-8	5.53 ±0.18
5	1834 02 14	Valle del Taro-Lunigiana	112	9	5.83 ±0.15
4-5	1834 07 04	Lunigiana-Parmense	24		
3	1837 04 11	Alpi Apuane	60	9	5.81 ±0.20
2	1843 10 25	Mugello	17	6-7	5.12 ±0.29
3	1846 08 14	Toscana settentrionale	122	9	5.91 ±0.13
4	1849 11 28	Valle del Taro	7	6	4.72 ±0.34
4-5	1854 12 29	Liguria occidentale-Francia	86		6.73 ±0.16
NF	1857 02 01	PARMENSE	22	6-7	5.09 ±0.25
2-3	1873 03 12	Marche meridionali	196	8	5.95 ±0.10
3	1873 06 29	Bellunese	199	9-10	6.32 ±0.11
4-5	1873 09 17	LIGURIA ORIENTALE	67	6-7	5.43 ±0.15
3	1878 09 10	LUNIGIANA	12	6-7	5.06 ±0.57
NF	1882 02 15	Val Borbera	18	6	4.99 ±0.44
3	1886 09 05	VAL DI SUSÀ	102	7	5.25 ±0.17
6-7	1887 02 23	Liguria occidentale	1516		6.97 ±0.15
4	1891 06 07	Valle d'Ilasi	403	8-9	5.86 ±0.06
F	1894 11 27	FRANCIACORTA	183	6	5.07 ±0.10
F	1895 04 14	Slovenia	296	8	6.23 ±0.08
3	1898 03 04	Valle del Parma	313	7-8	5.41 ±0.09
4	1901 10 30	Salò	190	8	5.70 ±0.10
3-4	1903 07 27	LUNIGIANA	79	7-8	5.25 ±0.17
2-3	1906 08 11	TAGGIA	82	5	4.52 ±0.18
4	1909 01 13	BASSA PADANA	799	6-7	5.53 ±0.09
2-3	1913 12 07	NOVI LIGURE	56	5	4.70 ±0.20
3-4	1914 10 26	TAVERNETTE	67	7	5.41 ±0.16
4	1914 10 27	Garfagnana	618	7	5.76 ±0.09
3	1915 10 10	REGGIO EMILIA	30	6	5.02 ±0.22
F	1916 08 16	Alto Adriatico	257		6.14 ±0.14
F	1919 06 29	Mugello	566	10	6.29 ±0.09
6	1920 09 07	Garfagnana	756	10	6.48 ±0.09
2	1926 01 01	Slovenia	63	7-8	5.85 ±0.18
3	1927 10 28	BEDONIA	51	6	4.88 ±0.21
2-3	1929 04 19	Bolognese	82		
3-4	1929 04 20	Bolognese	109	7	5.34 ±0.13
3	1929 04 22	Bolognese	41		
4	1929 04 29	Bolognese	45		
3-4	1929 05 11	Bolognese	64		
3	1937 12 10	APP. MODENESE	28	6	5.17 ±0.25
3	1939 10 15	Garfagnana	62	6-7	5.08 ±0.16
3	1945 12 15	VARZI	12	6	5.05 ±0.34
4	1951 05 15	LODIGIANO	154	6-7	5.39 ±0.14
4-5	1963 07 19	Mar Ligure	463		6.02 ±0.14
3	1971 07 15	Parmense	229	8	5.64 ±0.09
3-4	1975 11 16	BORGIO VAL DI TARO	10		4.96 ±0.29
3-4	1976 05 06	Friuli	770	9-10	6.46 ±0.09
3	1976 09 15	Friuli	54		5.98 ±0.15
3	1979 02 09	CAPRIATE S. GERVASIO	73	6	4.85 ±0.13
3-4	1980 12 23	Piacentino	38	6-7	4.60 ±0.09
4	1983 11 09	Parmense	850	6-7	5.06 ±0.09
NF	1984 04 29	GUBBIO/VALFABBRICA	709	7	5.65 ±0.09
3	1989 12 26	Mar Ligure	290		4.60 ±0.22
4	1993 07 17	Finale Ligure	336	5	4.51 ±0.10

Figure 03 - Map of macroseismic field and distribution of vertical tsunami run-ups and run-downs of the 1887 earthquake

Pattern of vertical run-ups following the 1887 earthquake and tsunami. The first wave was negative (sea retreat) along most of the Ligurian coast. The black thick line offshore shows Eva and Rabinovich's [1997] preferred source (from Eva and Rabinovich [1997]).

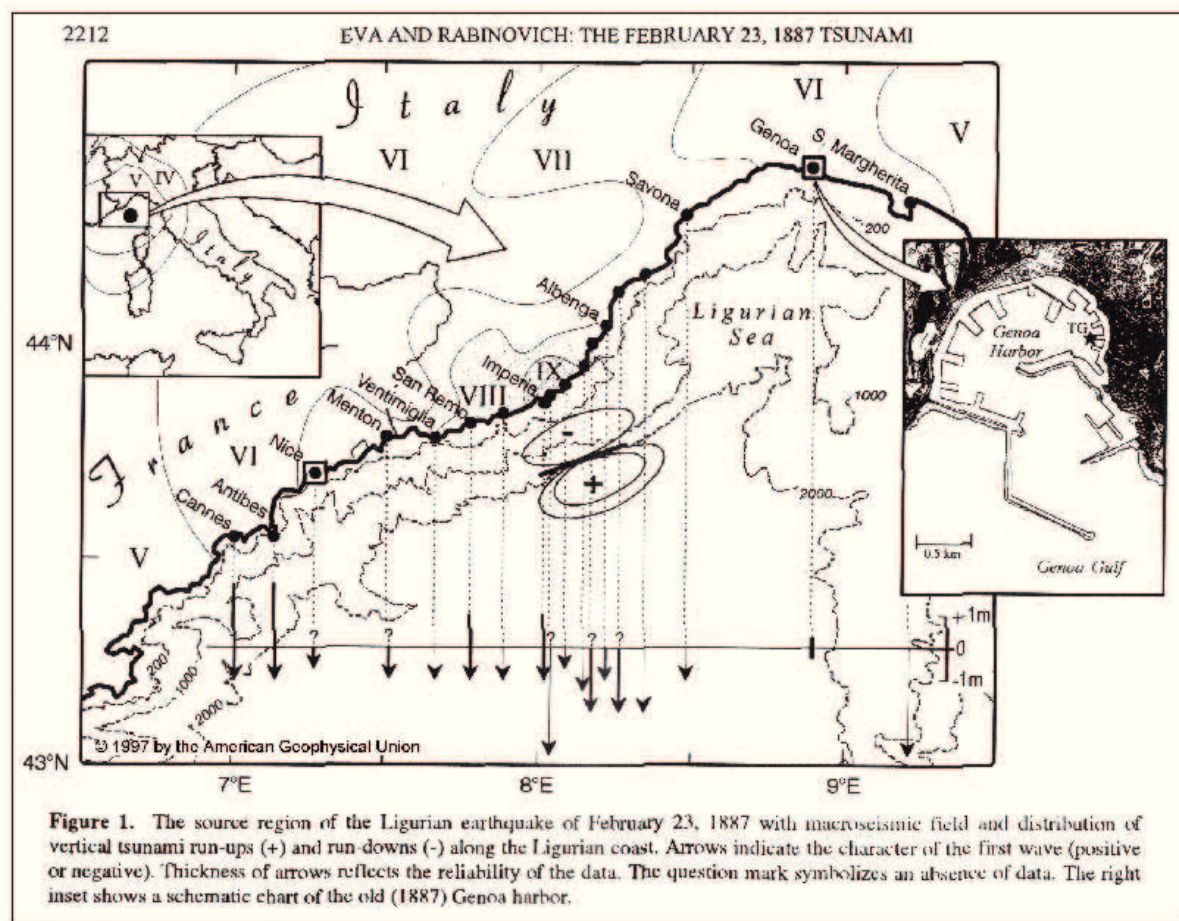


Figura 16 – Tsunami del 23 febbraio 1887 (Eva, C., and A. B. Rabinovich 1997 , The February 23, 1887 tsunami recorded on the Ligurian coast, western Mediterranean Geophys. Res. Lett., 24, 2211-2214)

6.2 SISMICITÀ RECENTE (DAL 2005 A OTTOBRE 2014)

Per quanto concerne i sismi che hanno interessato l'area di Genova dal 2005 a ottobre 2014, i dati sono stati recuperati dal database ISIDE dell'INGV considerando un'area di raggio 150 km dal Comune di Genova, che include le aree epicentrali dei terremoti più intensi di cui al paragrafo precedente.

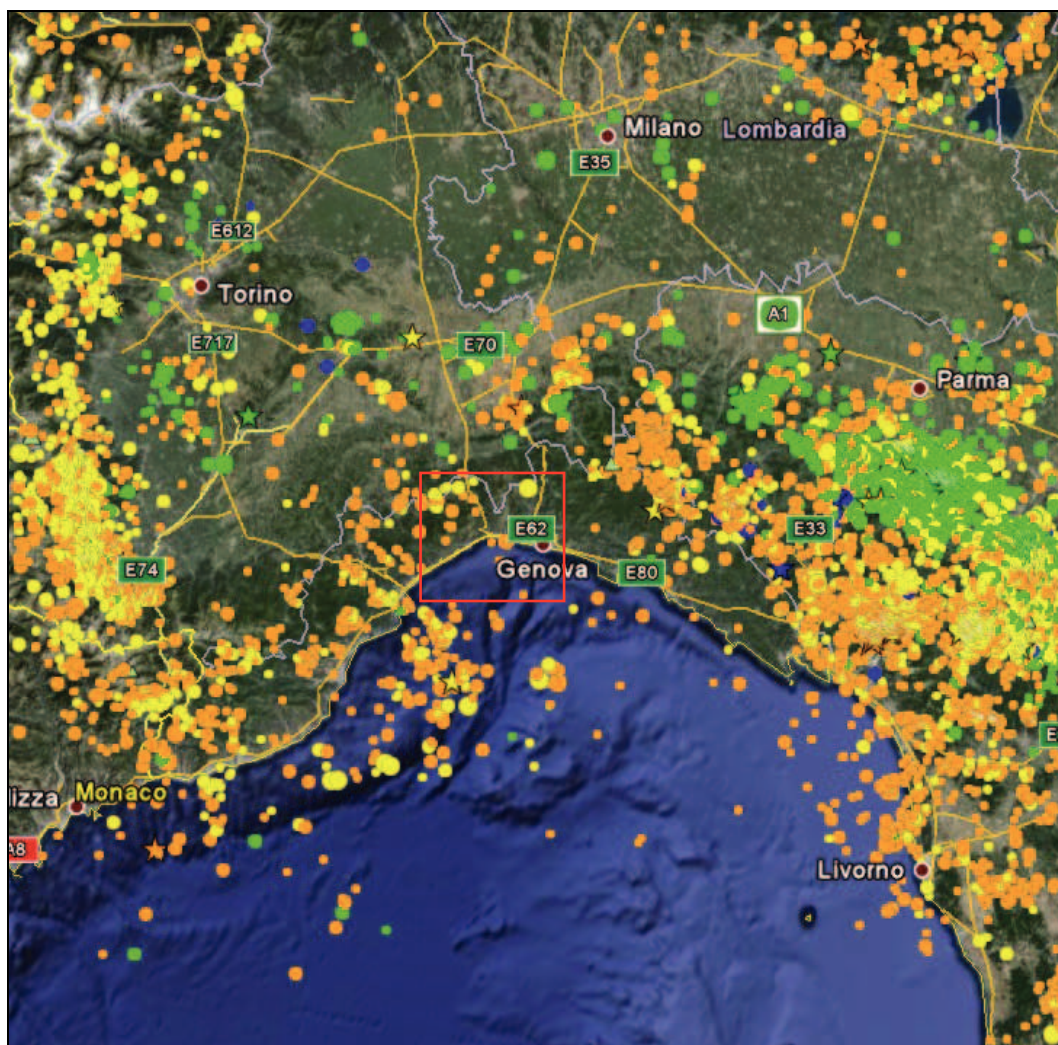


Fig. 17 – Database ISIDE: distribuzione terremoti periodo 2005-2014 (in rosso l'area di interesse).

Nell'area genovese, per l'intervallo di tempo e di distanza considerato, sono segnalati n. 9668 terremoti.

Dalla planimetria si possono distinguere le seguenti aree sorgenti:

- lungo l'arco appenninico da Alessandria alla Toscana (in quest'area avvengono i terremoti con maggior profondità e magnitudo);

- un'area interessa la Liguria sud-occidentale e l'arco alpino
- si nota la presenza di alcuni epicentri in mare nell'area di ponente;
- zona del Lago di Garda.

In generale le profondità sono per la maggior parte entro i 20 km e le magnitudini più rappresentate variano tra 1 e 2.

	max	media
Profondità (km)	93	12.21
Magnitudo	5.1	1.61

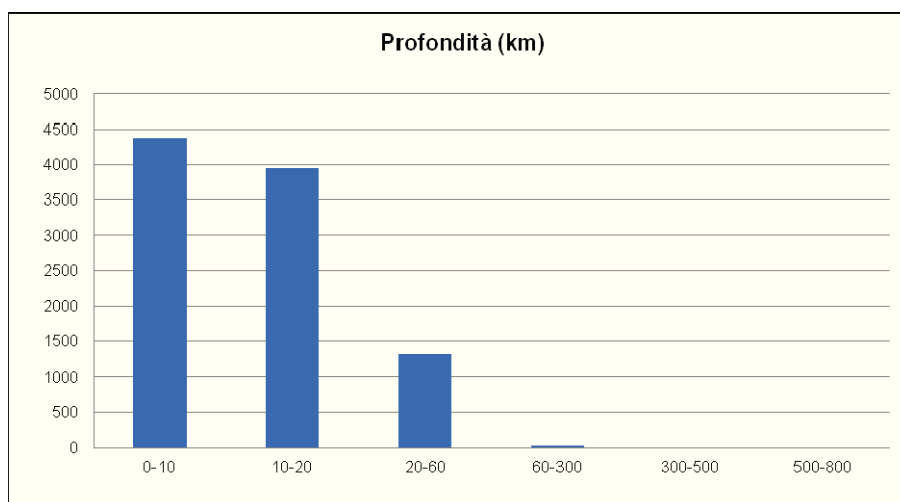


Fig. 18 - Database ISIDE: distribuzione profondità ipocentri (km) per un'area di 150 km di raggio dal Comune di Genova.

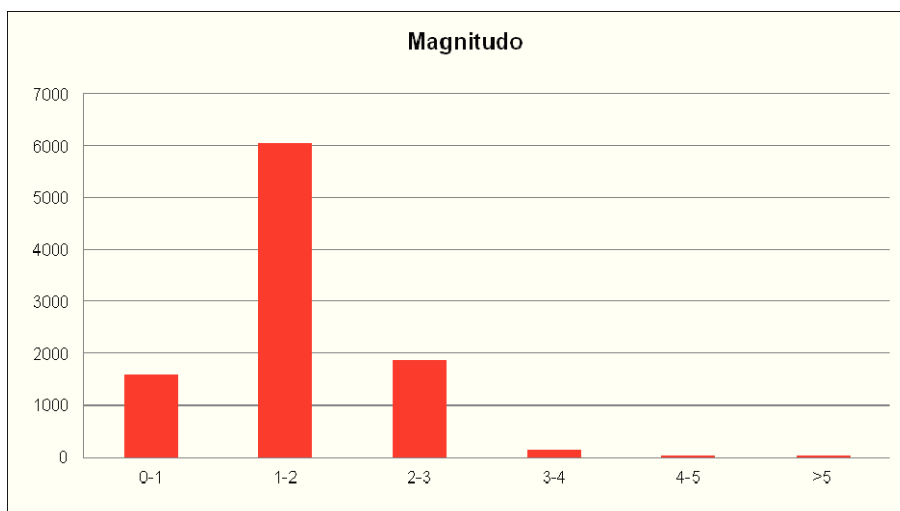


Fig. 19 - Database ISIDE: distribuzione magnitudo per un'area di 150 km di raggio dal Comune di Genova.

Nella seguente immagine sono evidenziati i terremoti avvenuti dal 2005 ad oggi nel territorio comunale di Genova.

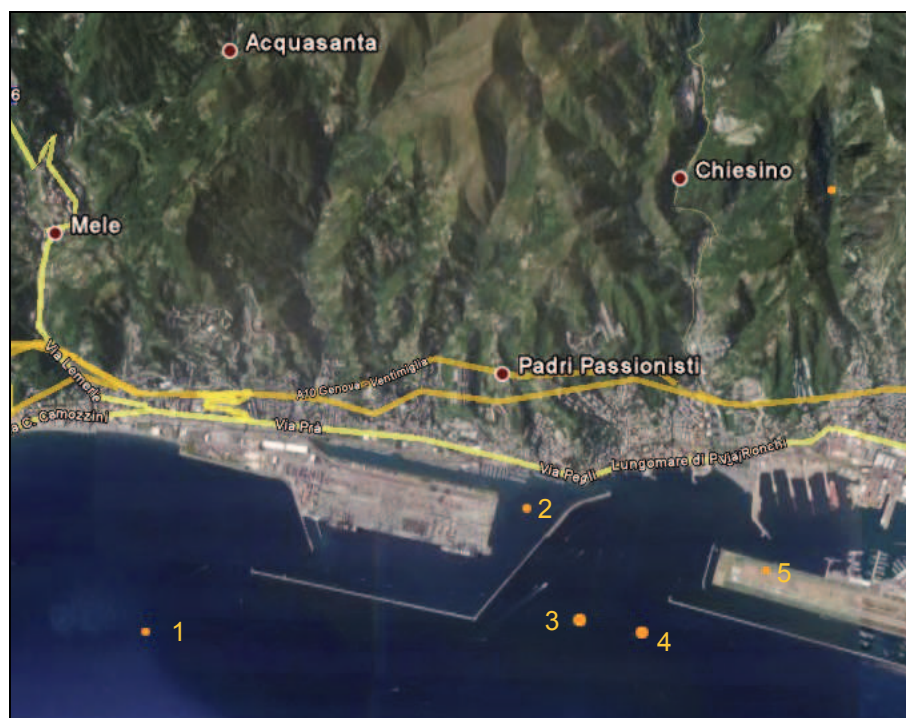


Fig. 20 – Database ISIDE "Terremoti recenti" periodo 2005-2014 - Comune di Genova

I tre eventi segnalati nell'area tra il Porto di Voltri e l'aeroporto hanno le seguenti caratteristiche:

ID	Magnitudo	Profondità (km)	Data
1	1.8	6.4	30/04/2014
2	1.3	5.0	11/05/2008
3	2.4	3.6	12/05/2008
4	2.3	5.0	03/08/2004
5	1.7	3.9	22/09/2010

Si tratta di terremoti poco profondi e di bassa magnitudo.

6.3 FAGLIE CAPACI

Il termine “faglie capaci” è utilizzato per descrivere le faglie “sismiche” con indizi di attività negli ultimi 40.000 anni potenzialmente “capaci” di produrre deformazioni in superficie.

La riattivazione di faglie capaci è in grado di produrre fenomeni di neoformazione (ecosismi) che possono formarsi in superficie nelle aree epicentrali, in concomitanza con eventi sismici di intensità elevata, in genere \geq VIII-IX grado della scala ESI2007.

La presenza di faglie capaci nel territorio oggetto di studio è stata verificata consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA "ITaly HAZard from Capable faults", disponibile on-line all'indirizzo http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Progetti/ITHACA_-_Catalogo_delle_faglie_capaci.

Il data base del Progetto ITHACA, raccoglie tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali.

Dall'analisi della cartografia, viene confermato quanto già evidenziato per i sismi storici e recenti; nell'area di studio non sono presenti faglie sensibili, che interessano invece la zona tra Alessandria, la Lunigiana e la Garfagnana (Sistema Torino-Cremona, Sistema Appenninico, Sistema Val di Vara e di Aulla) e la Liguria occidentale (linea Saorge-Taggia)

Nella seguente figura si riporta uno stralcio planimetrico della distribuzione delle faglie capaci del Progetto ITHACA relativamente ad un ampio areale contenente la tratta in oggetto.

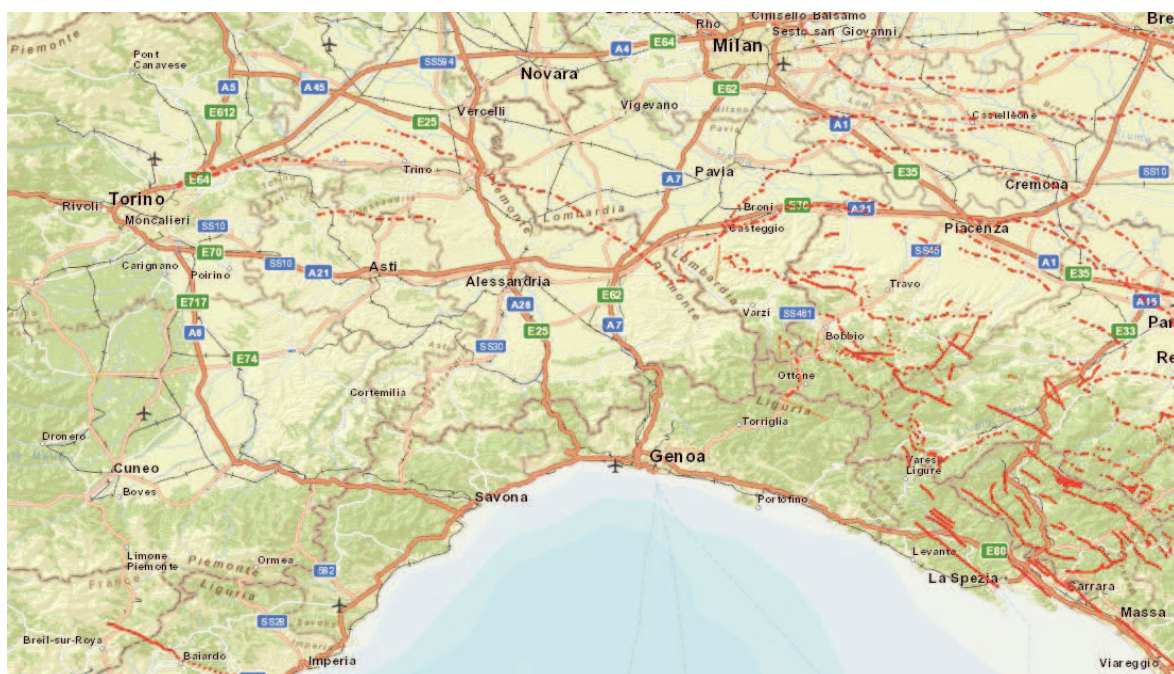


Fig. 21 - Distribuzione faglie capaci "Progetto ITHACA"

6.4 STRUTTURE SISMOGENETICHE

Benché le moderne investigazioni della sismotettonica regionale siano iniziate più di 30 anni fa, la conoscenza delle sorgenti sismogenetiche è ancora incerta. Questo dipende soprattutto dal fatto che l'attività tettonica è collegata ai movimenti di sistemi di faglie cieche, le cui caratteristiche (es. lunghezza del singolo segmento, entità del scivolamento ecc.) non può essere definita solamente attraverso la classica analisi geomorfologica ma derivano dall'applicazione di algoritmi che permettono di definire la geometria della sorgente dai dati puntuali di distribuzione dell'intensità dei terremoti storici.

L'identificazione di tali sorgenti, concisamente definite silenti, permette di definire le aree potenzialmente affette da un alto livello di pericolosità sismica.

Con riferimento al "Database of Individual Seismogenic Sources - DISS 3", si osserva che il tracciato in progetto si snoda in un'area a sismicità generalmente bassa, governata principalmente dalle aree sismogenetiche Imperia (ITCS022), Rivanazzano-Stradella (ITCS018), Lunigiana (ITCS026), Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga (ITCS027) e Garfagnana (ITCS083), tutte distanti più di 50 km.

La figura seguente evidenzia le aree sismogenetiche prossime al tracciato di progetto (poligoni color marrone), definite quali proiezione in superficie dei sistemi di strutture sismogenetiche ritenuti attivi, caratterizzabili da un punto di vista geometrico e parametrico in maniera coerente con le sorgenti sismogenetiche incluse (poligoni arancioni); le campiture in rosso indicano i sistemi di faglia.

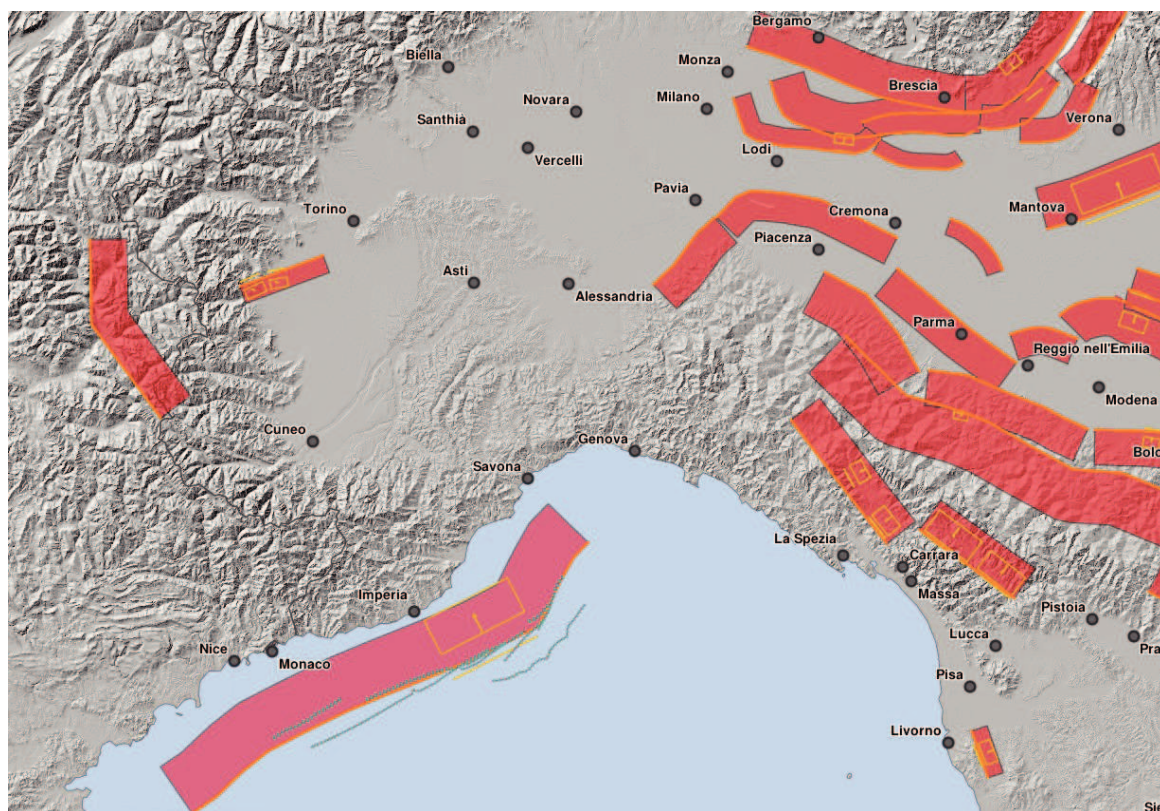


Fig. 22 - Mappa delle aree sismogenetiche di interesse (Fonte: Database of Individual Seismogenic Sources - DISS 3 - <http://diss.rm.ingv.it/diss/>)

Di seguito si riporta una tabella di sintesi relativa alle strutture sismogenetiche di interesse per l'area oggetto di studio.

La codifica utilizzata nel database per identificare le strutture include 4 caratteri e 3 numeri:

1. i primi due caratteri si riferiscono al Paese considerato (IT per Italia):
2. gli altri due caratteri identificano il tipo di dati:
 - IS per Individual Seismogenic Source
 - CS per Composite Seismogenic Source
 - DS per Debated Seismogenic Source

Code	Name	Compiled By	Latest Update	Min Depth (km)	Max Depth (km)	Strike (deg)	Dip (deg)	Rake (deg)	Slip Rate (mm/y)	Max Magnitude (Mw)
ITCS018	Rivanazzano-Stradella	Burrato, P., and S. Mariano	07/09/2007	2	8	30 - 50	20 - 45	60 - 90	0.1 - 0.5	5.5
ITCS022	Imperia	Fracassi, U., and S. Mariano	03/08/2006	3	10	250 - 270	25 - 35	80 - 100	0.1 - 1	6.3
ITCS026	Lunigiana	Burrato, P., and G. Valensise	14/05/2010	1	10	310 - 330	30 - 45	260 - 280	0.1 - 1	6
ITCS027	Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga	Burrato, P., and S. Mariano	24/09/2007	12	22	90 - 160	20 - 55	70 - 110	0.1 - 1	6.2
ITCS083	Garfagnana	Burrato, P., S. Mariano and G. Valensise	14/05/2010	1	10	300 - 310	30 - 45	260 - 280	0.1 - 1	6.4

6.5 CLASSIFICAZIONE SISMICA

La normativa sismica italiana, entrata in vigore l'8 maggio del 2003 con la pubblicazione sulla G.U. dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274 e in seguito aggiornati con l'O.P.C.M. 3519/06, suddivide il territorio italiano in quattro zone sismiche, abbandonando così la precedente terminologia di "categorie sismiche".

I criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale, emanati con l'ordinanza P.C.M. n. 3274 del 2003 si basano sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato, in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni), da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo.

Uno dei cambiamenti fondamentali apportati dalla normativa è stata l'introduzione della zona 4, in questo modo tutto il territorio italiano viene definito come sismico. Di fatto, sparisce il territorio "non classificato", che diviene zona 4, nel quale è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.

L'appartenenza a ciascuna zona sismica comporta l'adozione di specifiche caratteristiche prestazionali per nuovi edifici e strutture, regolate da opportune norme sismiche contenute nel medesimo provvedimento legislativo, e successive modifiche ed integrazioni.

	Caratteristiche	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag)
Zona 1	E' la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	$ag > 0.25$
Zona 2	Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	$0.15 < ag \leq 0.25$
Zona 3	I Comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.	$0.05 < ag \leq 0.15$
Zona 4	E' la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.	$ag \leq 0.05$

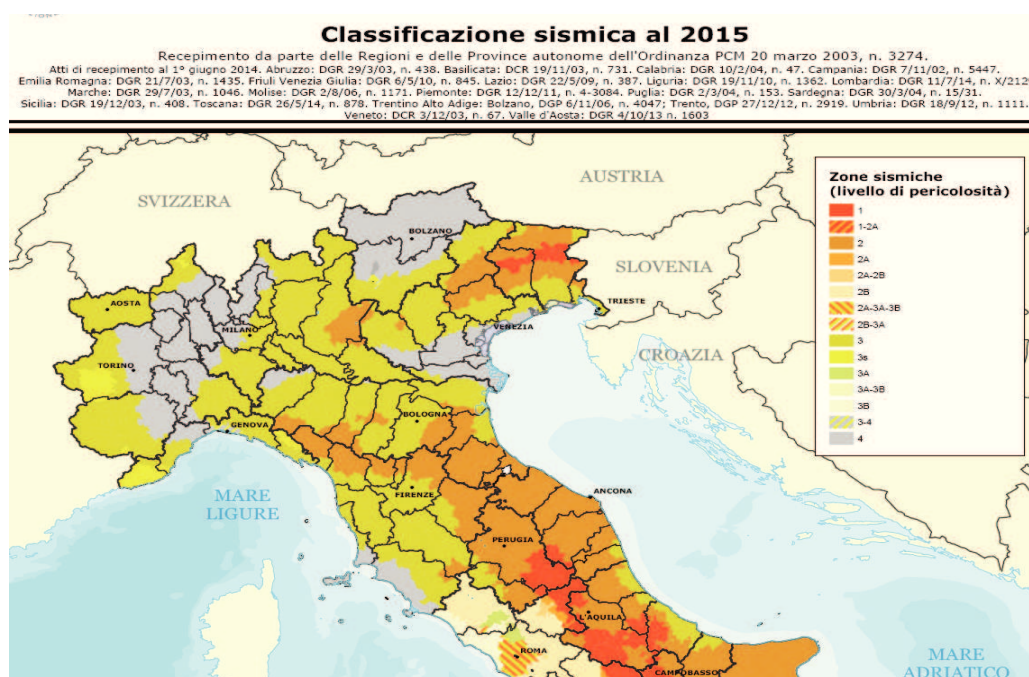


Fig. 23 - Classificazione Sismica al 2015 (Dipartimento di Protezione Civile, Ufficio rischio sismico e vulcanico)

La normativa nazionale è stata recepita dalla Regione Liguria con il DGR n. 530/2003, che ha individuato le zone sismiche e ha stilato un elenco regionale dei comuni in zona sismica; il più recente DGR n.1308/2008 (pubblicata sul Burl n. 47 del 19 novembre 2008) ha portato

alla nuova classificazione sismica della Regione Liguria. In conformità a tale normativa l'area di Voltri ricade in Zona sismica 4.

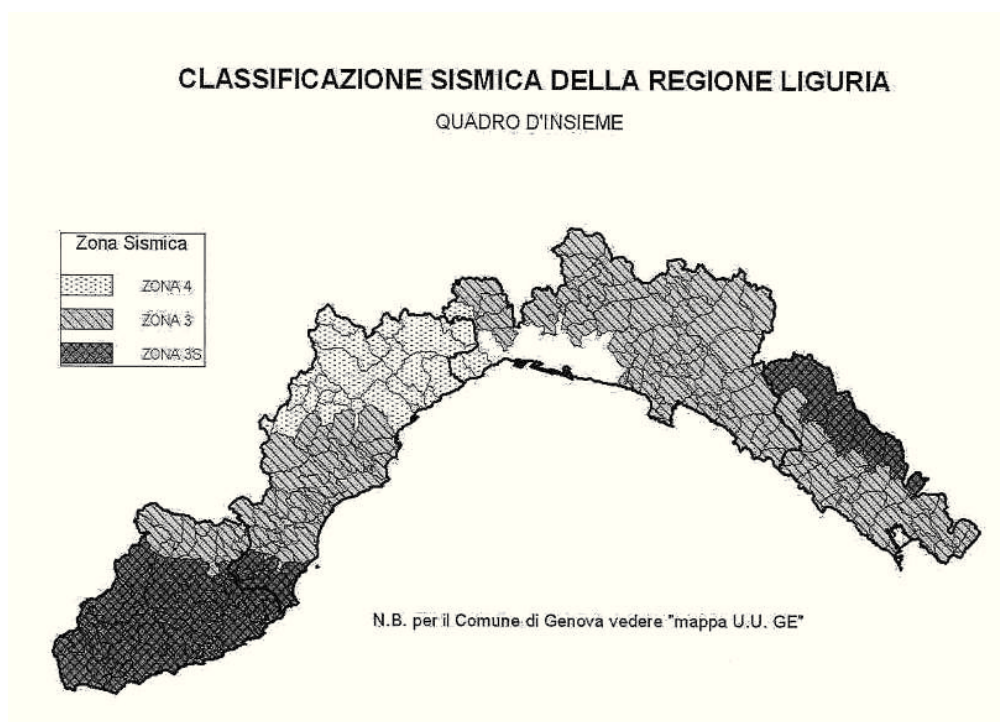


Figura 24 - Classificazione Sismica della Regione Liguria

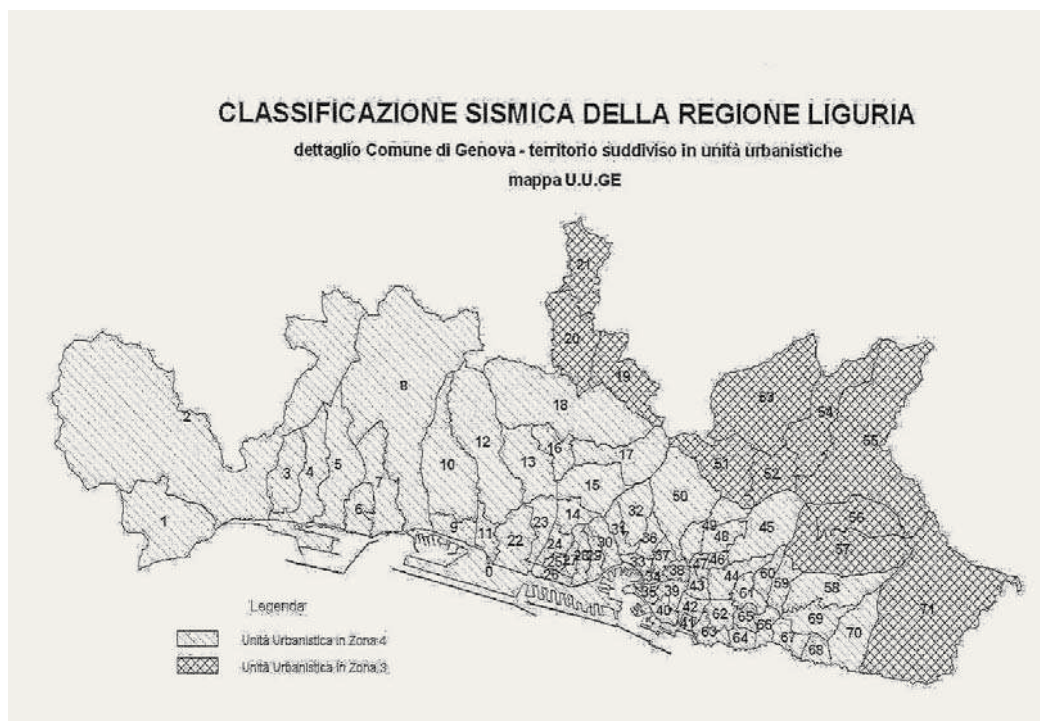


Figura 25 - Classificazione Sismica del Comune di Genova

7 CLIMATOLOGIA

Nell'ambito della progettazione della Gronda di Genova (PD 2011) è stato effettuato uno studio climatico di tutta la fascia di territorio da Vesima fino a Genova Est. Per l'acquisizione dei dati meteo climatici è stato fatto riferimento alle pubblicazioni degli Annali Idrologici. Tali pubblicazioni sono state storicamente curate dagli Uffici Compartimentali dell'ex Servizio Idrografico, divenuto successivamente Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN), ma inizialmente afferente al Genio Civile del Ministero dei Lavori Pubblici e poi al Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali. A partire dalla fine del 2002 il sistema di rilevamento del Compartimento di Genova del SIMN è stato acquisito dalla Regione Liguria che ha affidato ad ARPAL le competenze inerenti le attività di monitoraggio idro – termo – pluviometrico e la compilazione degli Annali Idrologici.

Ai fini della presente ricerca è stata consultata tutta la serie storica degli Annali disponibili sul sito <http://www.annali.apat.it/site/it-IT/> curato dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale).

Sono stati quindi individuati i bacini idrografici di interesse acquisendo i dati delle stazioni ubicate entro i bacini nel territorio compreso tra Sansobbia e Bisagno. Ai fini dello studio climatico in oggetto sono stati acquisiti i dati relativi ai totali annui ed ai totali mensili delle precipitazioni.

7.1 REGIME PLUVIOMETRICO

Il regime pluviometrico dell'area della Gronda è stato ricostruito sulla base dell'analisi delle serie storiche relative a 7 stazioni - distribuite all'interno di una fascia di circa 5 km di ampiezza, centrata sul tracciato dell'asse autostradale della Gronda di cui due vicine all'area di Voltri (Stazioni di Madonna delle Grazie e Mele).

<i>Stazione</i>	<i>Codice</i>	<i>Coordinata est</i>	<i>Coordinata nord</i>	<i>Quota (m s.l.m.)</i>	<i>Periodo di osservazione</i>
Mele	560	1478516	4921981	280	1961-2003
Madonna delle Grazie	570	1478508	4919759	145	1951-1998

L'ubicazione planimetrica delle stazioni di misura considerate in rapporto al tracciato di progetto è mostrato nello schema seguente:

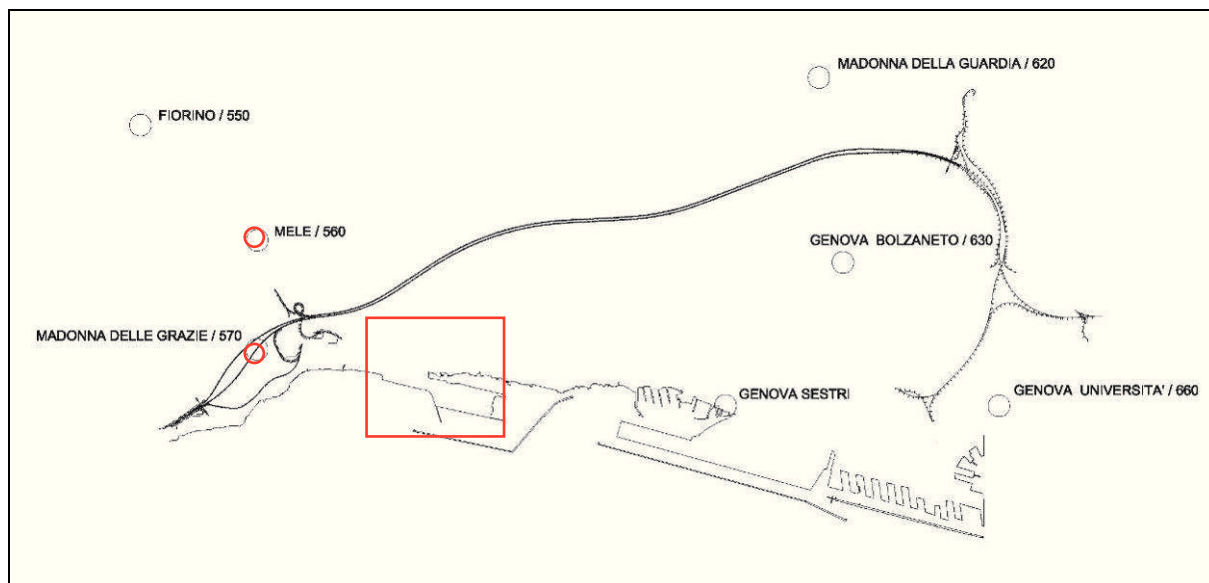
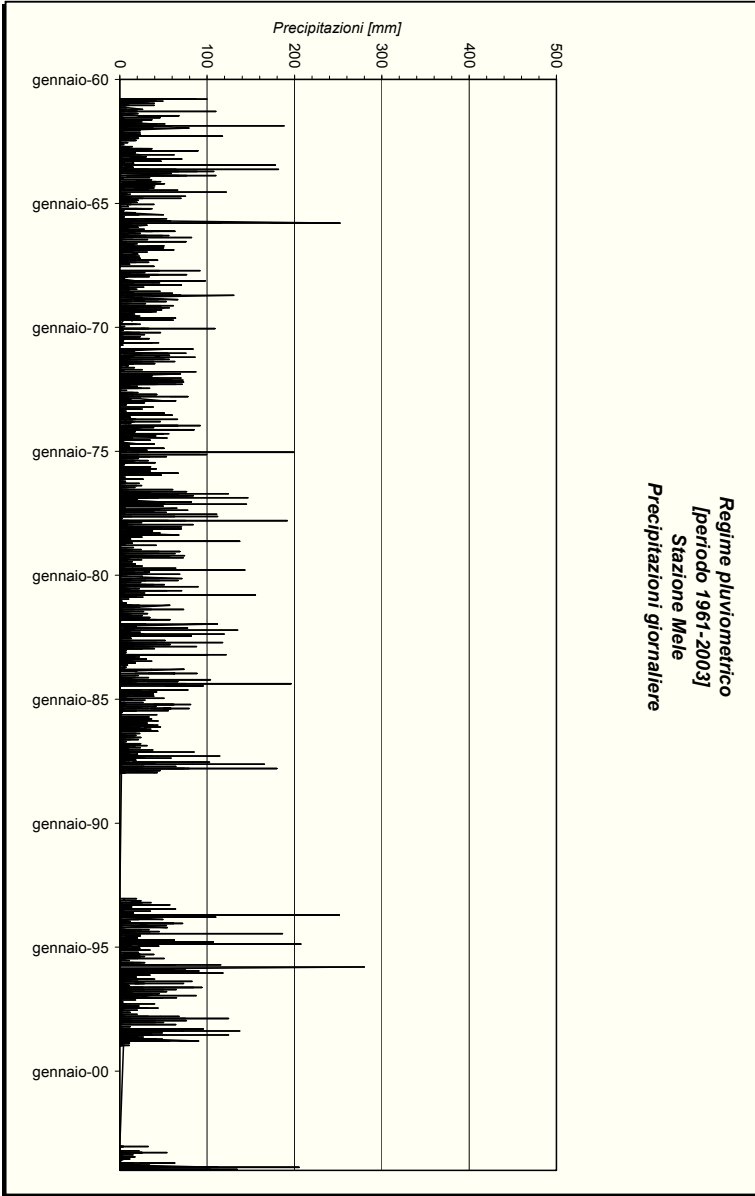
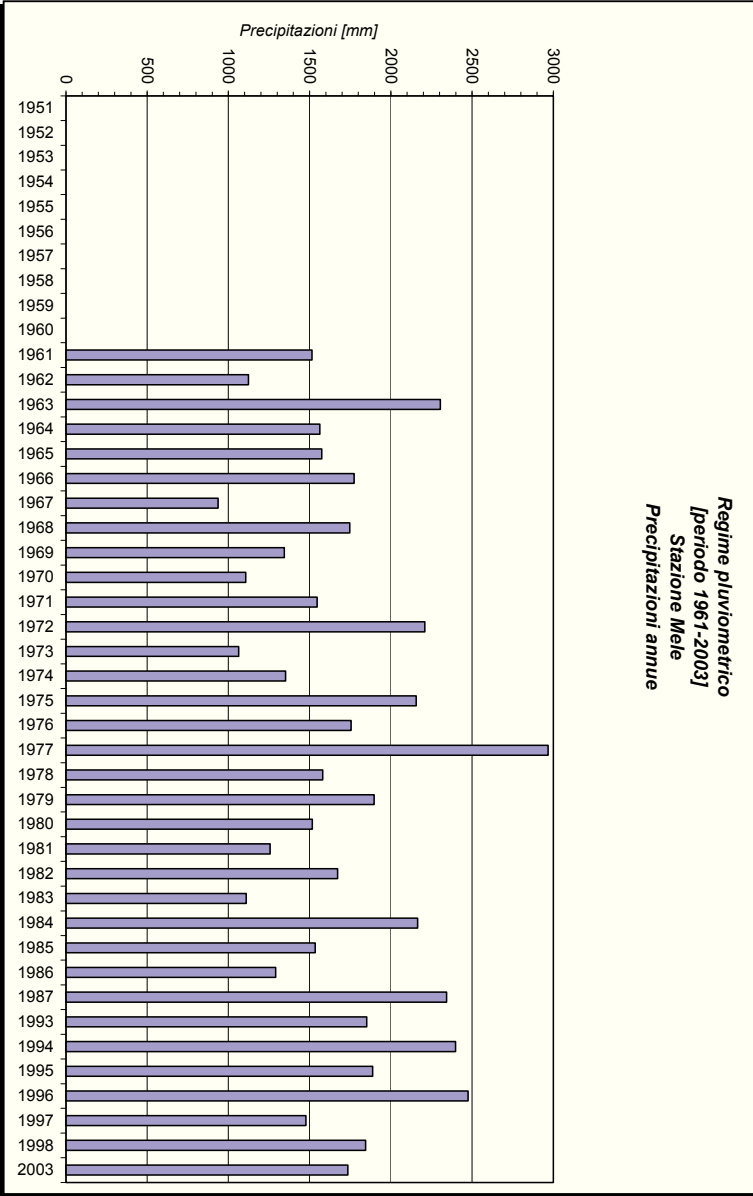


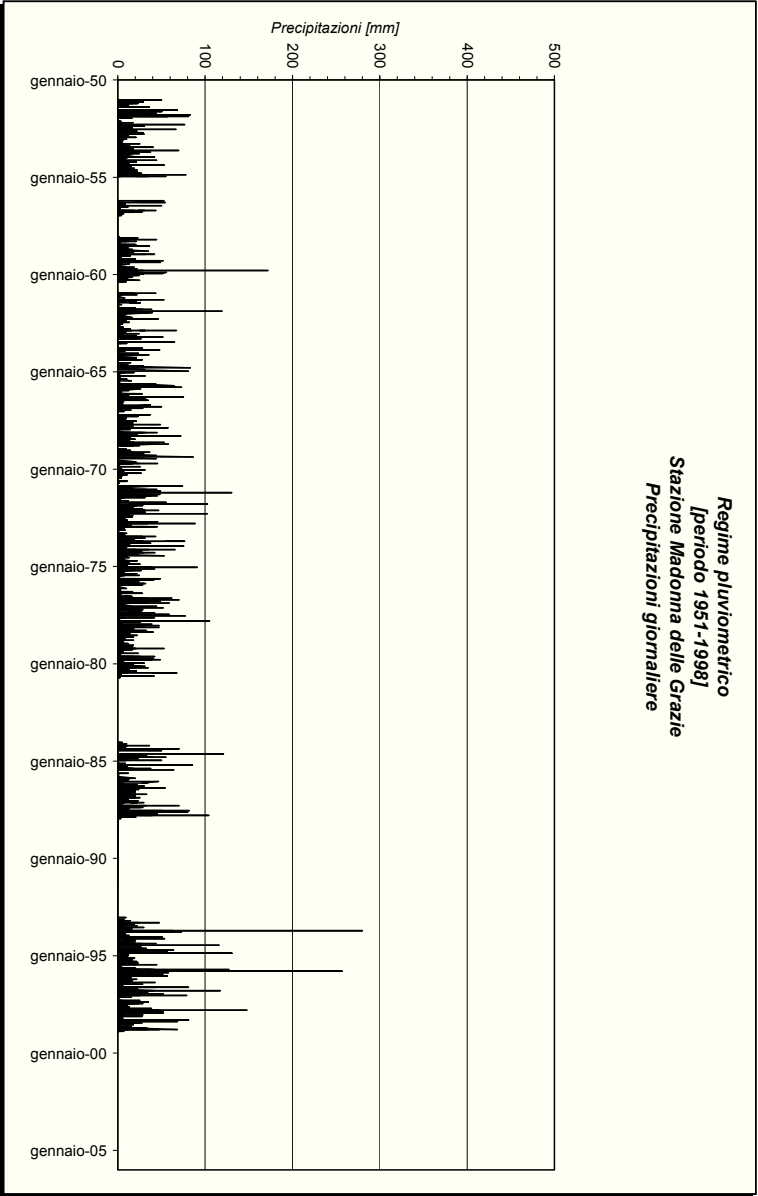
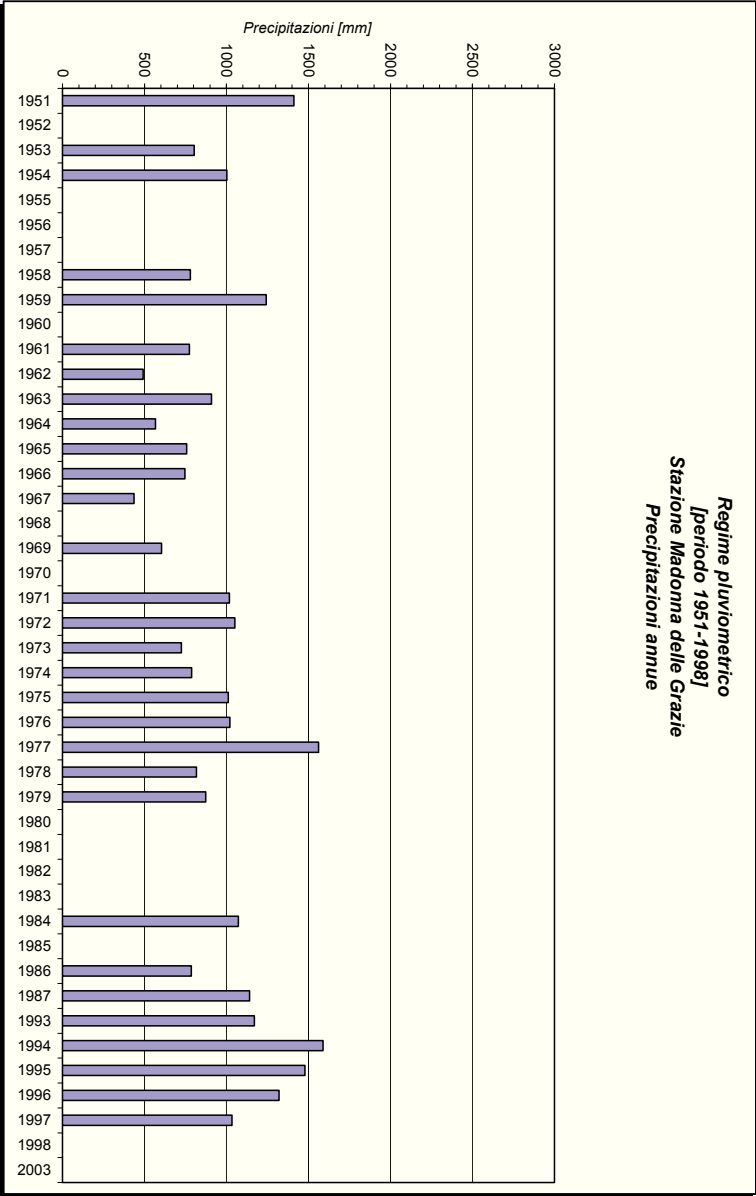
Figura 26 – Distribuzione delle stazioni di misura rispetto al tracciato della Gronda PD 2011 e rispetto all'area di interesse (riquadro rosso)

Nella seguente tabella si riportano i risultati salienti dell'analisi storica dei dati acquisiti e dell'elaborazione statistica dei dati delle due stazioni considerata:

<i>Stazione</i>	<i>Piuvosità media annua</i> [mm]	<i>Giorni di pioggia</i> [n°]	<i>Eventi con intensità > 50 mm</i> [n°]	<i>Giorni di pioggia con intensità > 100 mm</i> [n°]
Mele	1707.9	120	8	2
Madonna delle Grazie	966.1	96	3	1

Nelle pagine seguenti si riporta l'andamento delle precipitazioni annue e giornaliere registrate nel periodo di osservazione.





L'esame dei dati di piovosità annua evidenzia la presenza di variazioni dei valori massimi e minimi anche significativamente distanti dalla media, come riassunto nella seguente tabella:

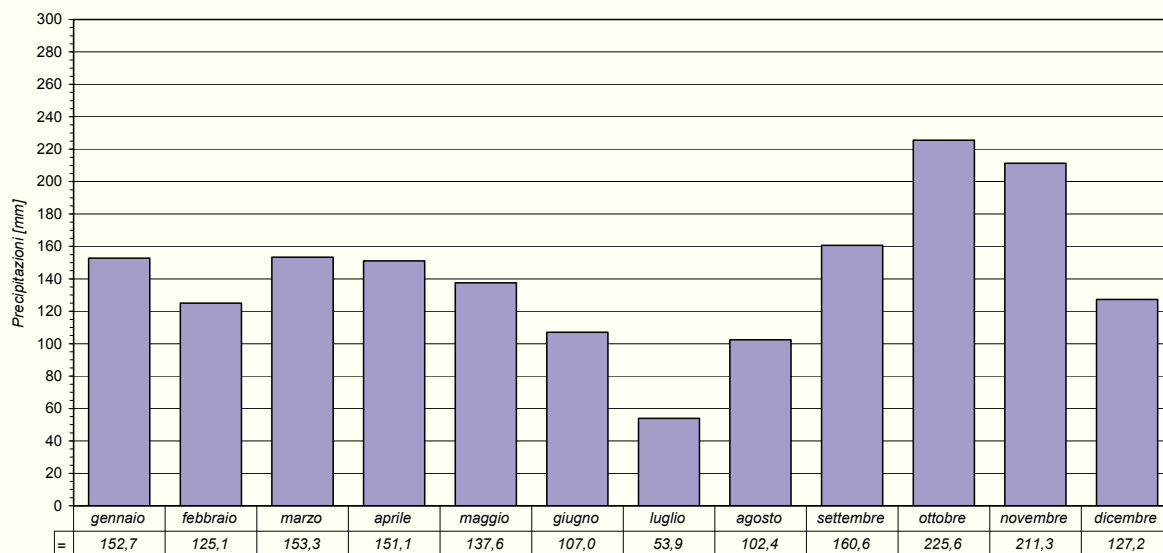
<i>Stazione</i>	<i>Piovosità media annua [mm]</i>	<i>Piovosità annua massima [mm]</i>	<i>Anno</i>	<i>Piovosità annua minima [mm]</i>	<i>Anno</i>
Mele	1707.9	2967.8	1977	936.2	1967
Madonna delle Grazie	966.1	1588.8	1994	436.2	1967

La piovosità giornaliera mostra picchi superiori ai 200 mm come riassunto nella seguente tabella, in cui sono riportati i 3 eventi con la massima piovosità giornaliera registrata:

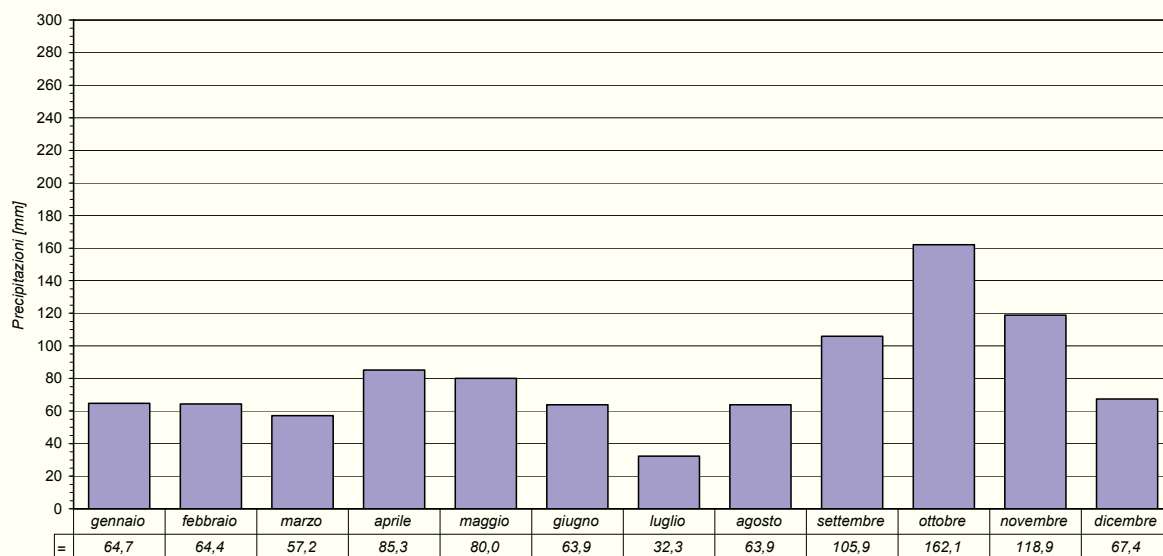
<i>Stazione</i>	<i>Evento [mm]</i>	<i>Data</i>	<i>Evento [mm]</i>	<i>Data</i>	<i>Evento [mm]</i>	<i>Data</i>
Mele	280.0	31/10/1995	252.4	01/01/1965	251.2	24/09/1993
Madonna delle Grazie	280.0	24/09/1993	256.6	05/10/1995	172.0	21/10/1959

Per quanto concerne la distribuzione della piovosità nell'arco dell'anno nei grafici si evidenzia l'andamento delle precipitazioni medie mensili registrate nelle stazioni considerate.

**Regime pluviometrico
[periodo 1961-2003]
Stazione Mele
Precipitazioni medie mensili**



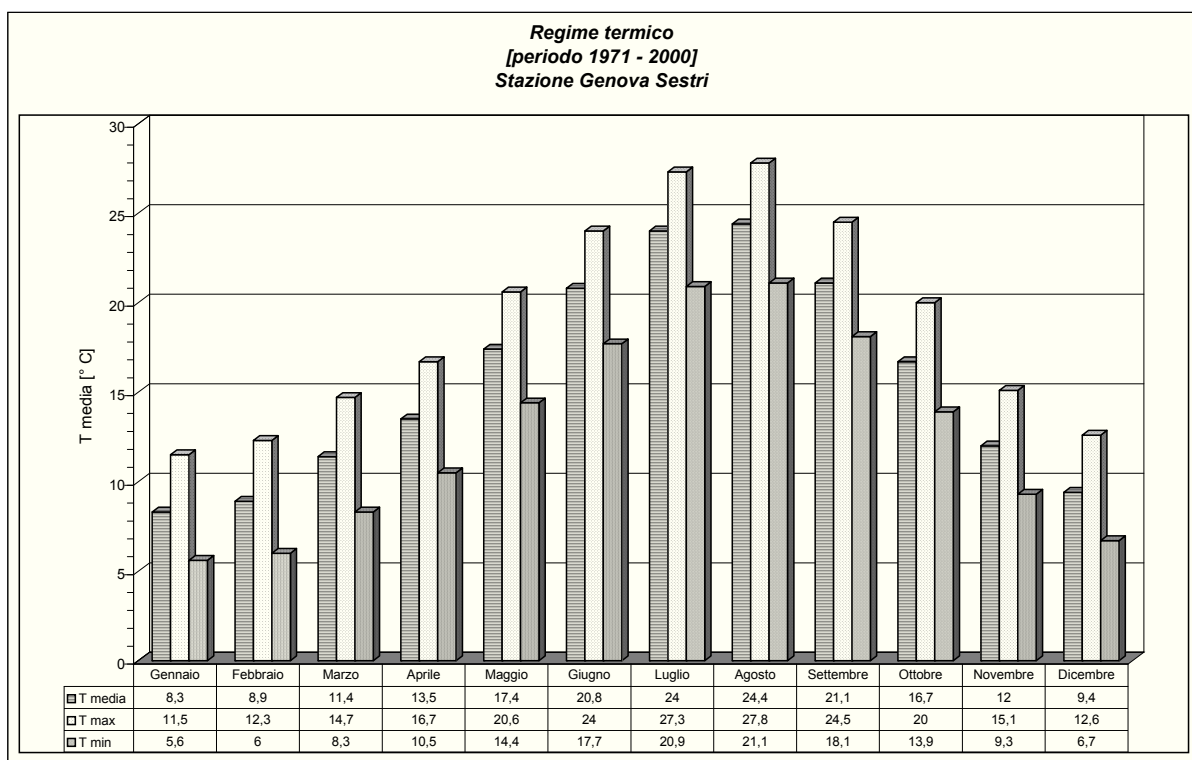
**Regime pluviometrico
[periodo 1951-1998]
Stazione Madonna delle Grazie
Precipitazioni medie mensili**



L'andamento delle precipitazioni nell'arco dell'anno evidenzia la presenza di un picco di piovosità autunnale nel mese di ottobre e di un minimo estivo nel mese di luglio; si individuano poi un picco secondario primaverile, tra marzo e maggio, e un minimo secondario invernale tra febbraio e marzo. L'andamento pluviometrico osservato è dovuto alla circolazione delle correnti atmosferiche in quota che determina la convergenza sul Mar Ligure dei cicloni atlantici durante i mesi primaverili (Aprile) e autunnali (Novembre) dando luogo ad abbondanti precipitazioni.

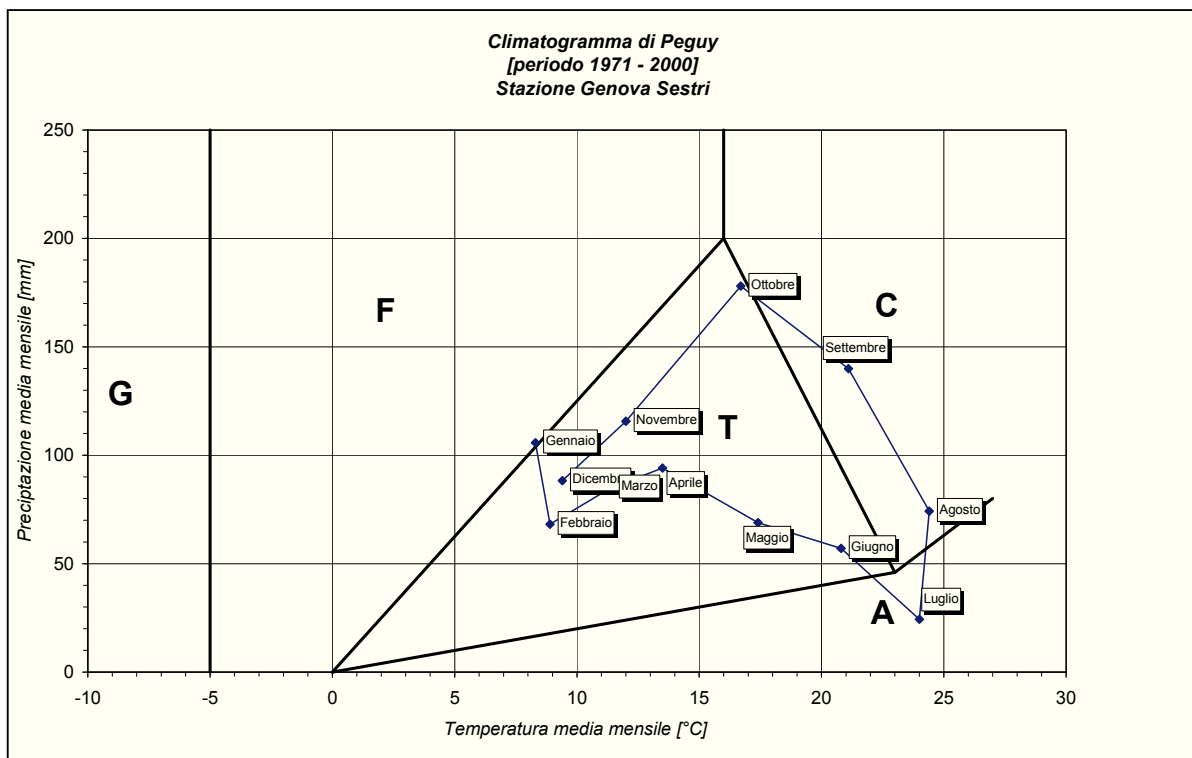
7.2 REGIME TERMICO

Per quanto concerne il regime termico dell'area si è fatto riferimento ai dati registrati nella stazione di Genova Sestri (1971-2000). Le temperature medie mensili mostrano un minimo di 8.3°C nel mese di gennaio e un massimo di 24.4°C nel mese di agosto. L'escursione termica annua – intesa come differenza tra la temperatura media del mese più caldo (agosto) e la temperatura media del mese più freddo (gennaio) - è pari a 16.1°C.



A partire dai dati climatici di base sopra riportati si è poi proceduto all'elaborazione del climatogramma di Peguy , nel quale vengono messi in relazione i valori medi di precipitazioni e di temperatura mensile e si confronta l'andamento climatico ottenuto con un diagramma di

referimento generale in cui sono distinti i campi relativi ai mesi di gelo, ai mesi freddi, ai mesi temperati, ai mesi caldi ed infine ai mesi aridi. Il climatogramma ottenuto è mostrato nel seguente grafico:



L'esame del climatogramma dell'area considerata evidenzia la presenza di 8 mesi temperati (da febbraio a giugno e da ottobre a dicembre), di 2 mesi caldi (agosto e settembre), di 1 mese arido (luglio) e di 1 mese freddo (gennaio); non sono presenti mesi di gelo.

8 REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

Sulla base delle attività svolte e di tutti i dati raccolti, è stato ricostruito il quadro geologico dell'area di studio ed è stata redatta una carta geologica a scala 1:5000 e due sezioni geologiche (una trasversale ed una longitudinale a 5 metri dal ciglio esterno della carreggiata Ovest) a scala 1:2000.

Per quanto concerne la planimetria geologica sono state riportate in carta le litologie riconosciute sul terreno, distinguendo le aree in affioramento da quelle dove l'ammasso roccioso è sub - affiorante (ricoperto da modesti spessori di suolo o di detrito); per quanto attiene agli elementi strutturali ed al loro assetto, è opportuno evidenziare come la loro ubicazione in planimetria ed in profilo possa talora presentare un certo grado di indeterminatezza, ciò in ragione della scarsa continuità degli affioramenti e della complessità della storia deformativa in quanti i contatti tra i diversi litotipi sono il risultato della complessa evoluzione tettono-metamorfica polifasica dell'area e sono di tipo traspositivo.

Per quanto riguarda i depositi antropici, tutta l'area si presenta fortemente urbanizzata; si è scelto di cartografare solamente il grande deposito di riporto del Porto di Voltri ed è stata anche riportata l'evoluzione delle linee di costa dal 1944 al 1993, connessa con la formazione dell'area portuale.

9 DESCRIZIONE GEOLOGICA DEL PROGETTO

Il progetto prevede la realizzazione di una galleria fonica (abbinata alla realizzazione di barriere antifoniche) nel tratto che va all'incirca dalla progressiva 10+025 alla progressiva 10+605 dell'autostrada A10 Genova-Ventimiglia (vedi planimetria GEO002).

Sulla base di tutti i dati raccolti è stato possibile ricostruire il quadro geologico dell'area di studio situata su un terrazzo morfologico costituito da ghiaie e sabbie (passanti in profondità anche a depositi sabbiosi con ciottoli e a depositi sabbioso-limosi) attribuibile a depositi marini terrazzati. In superficie è presente una coltre eluvio-colluviale/riporto di spessore variabile (sino a 9,70 metri) e talora difficilmente distinguibile dai depositi marini sottostanti (l'area è fortemente antropizzata). L'estensione di questo orizzonte costituito da materiale perlopiù granulare risulta di spessore massimo 18 m (rilevato nei sondaggi).

Al di sotto di questo orizzonte è presente un substrato costituito dalla Formazione dei Calcescisti. I sondaggi realizzati da Autostrade nel 1989 e per la Galleria nel 2002 indicano continui passaggi da calcescisti a talcoscisti, cloritoscisti e serpentiniti. Tale "melange" può indicare la presenza di una struttura tettonica, orientata circa NE-SW. In particolare il sondaggio 5B indica la presenza di serpentinoscisti attribuibili alla Serpentiniti di Voltri indicanti una lente di modesto spessore all'interno dei Calcescisti.

La definizione delle caratteristiche delle terre provenienti dagli scavi in ordine alla loro possibile riutilizzabilità, la definizione del modello geotecnico finalizzato alla progettazione degli interventi di stabilizzazione, di ripristino di opere d'arte e di sostegno, i criteri per la scelta delle fondazioni delle opere, delle sezioni di scavo non è oggetto della presente relazione.

10 PRINCIPALI ELEMENTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO

In questo ambito si ribadiscono alcune criticità geologiche che a giudizio del geologo possono avere grande influenza per la progettazione delle opere:

- presenza di materiali con scadenti caratteristiche meccaniche (riporto antropico depositi fini, coltri di alterazione del substrato, Zone di faglia e Formazioni ad intensa tettonizzazione);
- estrema variabilità delle caratteristiche e dello spessore del riporto antropico;
- difficoltà nel ricostruire l'andamento del substrato a causa degli intensi rimodellamenti morfologici che l'area ha subito (costruzione dell'autostrada);
- vicinanza di edifici ed infrastrutture;
- ritombamento delle linee di deflusso naturale delle acque e rischio idraulico molto elevato in corrispondenza del Rio Madonnette;
- possibile presenza nel substrato di livelli contenenti minerali naturali ascrivibili al gruppo dell'amianto.







ALLEGATO N° 1:

Planimetria d'inquadramento geologico da bibliografia

Stralcio Carta CARG - Foglio n. 82 - Genova

Tavola non in scala, il cerchio rosso individua l'area di studio







































	coltri eluvio - colluviali Copertura detritica costituita da ciottoli eunormici, a matrice sabbioso-finosa, talora pedogenizzata, sviluppatasi in situ a spessa del substrato, spesso con inglobati elementi grossolani a volte mobilizzati da processi di versante. <i>OLOCENE</i>
	depositi alluvionali in evoluzione Depositi ghiaiosi, spesso con blocchi e/o materiali fini, che costituiscono gli alvei attuali dei corsi d'acqua e le aree adiacenti; verso le foce raggiungono spessori considerevoli. <i>OLOCENE</i>
	depositi marini in evoluzione Depositi prevalentemente ghiaiosi, localmente sabbiosi, di spiaggia emersa. <i>OLOCENE</i>
	depositi periglaciali Accumuli di blocchi subangolari, generalmente monogonici, per lo più class. supraclass., orientati secondo la pendenza del versante, riconducibili a processi periglaciali; le dimensioni variano da 50 a 100 cm e più. <i>PLEISTOCENE MEDIO SUP.? - OLOCENE</i>
	depositi alluvionali terrazzati Depositi ghiaiosi e autorminati depositi sabbiosi posti a quote più elevate rispetto agli alvei attuali, coperti da una coltre colluviale, spesso volte pedogenizzata, di spessore variabile. <i>PLEISTOCENE - OLOCENE</i>
	depositi marini terrazzati Depositi ghiaiosi e localmente depositi sabbiosi posti a quote più elevate rispetto all'attuale livello del mare, coperti da una coltre colluviale, spesso volte pedogenizzata, di spessore variabile. <i>PLEISTOCENE - OLOCENE</i>

UNITÀ TETTONOMETAMORFICA PALMARO - CAFFARELLA

	calc-schisti della Val Brera Scisti quarzo-micacei più o meno calcareosi, spesso con livelli nerastri ricchi in clorite, di spessore millimetrico, bucinati. Caratteristici è la presenza di pseudomorfosi grafiche a losanga. Localmente livelli di marmi quarzo-micacei. Sono presenti schistosità legate a diverse generazioni di deformazioni. <i>GIURASSICO SUP.? - CRETACICO SUP.?</i>
	quarz-schisti di Sant'Alberto Scisti quarzosi a colorazione da biancastra a vercastra, talvolta con fengite ed epidoto, più raramente con Na-antibolo; localmente a tessitura brecciata. Molto raramente quarz-schisti emattici con tracce di radiolari deformati. Localmente livelli ricchi in minerali di manganese come spessartina, piemontite e Mn-clorite. Sono presenti schistosità legate a diverse generazioni di deformazioni. <i>MALM?</i>
	metabasiti della Val Varenne Metabasiti a grana fine, per lo più largamente retrocessi in facies Scisti Verdi (albite + clorite + titanite a fengite ± biotite ± epidotomelano); frequentemente a tessitura listata, con alternanza di livelli a prevalente Na-antibolo e livelli a prevalente albite + epidoto. <i>MALM?</i>
	metagabbri del Brio Fagaglia Metagabbri a ossidi di Fe e Ti, a grana medio-fine talvolta con relict di clinopirosseno igneo, localmente con sviluppo di tessitura oolitica fino a listata dovute a metamorfismo o deformazioni di fondo oceanico (relict di diopside e ortoclasite bruni), attraversate da filoni dioritici. Localmente passano a metabasite monogeniche. Paragenesi in facies Scisti Blu (Na-antibolo + epidoto + glaucoite + Na-Ca-clinopirosseno ± lavsonite). Eccezionalmente compaiono granato almandin-spessartico. Diffusa riciclaggiatura in facies Scisti Verdi. Schistosità di età alpina raramente penetrativa. <i>MALM</i>
	metagabbri di Carpenara Metagabbri a matrice olivina granitica a grana da fine a prismatiche, spesso con relict di clinopirosseno igneo. Localmente con tessitura oolitica ereditata da metamorfismo o deformazioni di fondo oceanico (relict di diopside e ortoclasite bruni); tale tessitura è attraversata da filoni dioritici, talvolta di plagiogranito. Paragenesi in facies Scisti Blu (clinoclasite ± lavsonite ± Na-antibolo ± clorite ± onfaite ± titanite). Diffusa riciclaggiatura in facies Scisti Verdi. Schistosità di età alpina generalmente poco penetrativa, a volte sviluppata su precedenti zone di taglio. <i>MALM</i>
	serpentiniti di San Carlo di Ossa Serpentiniti antigortine, talvolta con relict mineralogici e/o tessuturali di lherziti. Caratterizzate da un divaglio spazioso marcato dalla orientazione planare della magnetite. <i>DOGGER? - MALM?</i> Metarodrigiti da protoliti gabbri, raramente basaltici, generalmente a colorazione biancastra e/o giallastra. Paragenesi a grossularia + clinoclasite + vesuviana ± lavsonite ± clorite ± diopside (x).

UNITÀ TETTONOMETAMORFICA VOLTRI

	calc-schisti del Turchino Scisti quarzo-micacei, spesso con calcite. Talvolta contengono tornina, clorite, clorite a pirite. Le miche sono rappresentate da fengite di diverse generazioni, muscovite e raramente paragonite. Frequentemente presentano intercalazioni di calcari cristallini più o meno micacei, con spessore fino a decametrico. Sono presenti schistosità legate a diverse generazioni di deformazioni. <i>GIURASSICO SUP.? - CRETACICO SUP.?</i>
	metagabbri eclogitici della Colma Metagabbri a metacroliti con paragenesi eclogitiche con anfibolo sodico. Derivazione da protoliti cumulitici a grana da media a grande, tessitura igree frequentemente riconoscibili, spesso obliterata da sviluppo di tessitura oolitica. Paragenesi a clinoclasite + onfaite + Na-antibolo ± granato ± fengite ± talco ± Na-tremolite ± clorite ± rutile. La retrocessione fino alla facies Scisti Verdi è frequente, con caratteristico sviluppo di albite oculare fino a centimetrica. <i>DOGGER? - MALM?</i> Lherziti a prevalente retrocessione in facies Scisti Verdi (MGV).
	serpentinites antigortiti del Bric del Dente Serpentinositi ad antigorte + magnetite ± clorite ± diopside ± tremolite ± ankerite ± Ti-dinolomite. Sono presenti schistosità legate a diverse generazioni di deformazioni. <i>DOGGER? - MALM?</i> Lherziti a relict strutturali delle originarie lherziti (SNV).
	metabasiti di Bric del Dente Metarodrigiti a grossularia, clorite, titanite ± epidoto ± vesuviana, con spessore da metrico a plurimetrico. La provenienza da rocce gabbri o più raramente da filoni basaltici è talvolta riconoscibile (x).

	strato diritto		faglia: certa incerta
	strato rovesciato		sovraccamento: certa incerta triangoli sulla parte superiore
	stratificazione a polarità incerta		rocce di faglia e fasce cataclastiche
	stratificazione verticale		struttura antropica
	asse di piega di fase 1/2		conoidi alluvionali e da debris - flow
	asse di piega di fase 1/2 orizzontale		orlo di scarpata di frana
	asse di piega di 1a fase		orlo di scarpata di cava
	asse di piega di 2a fase		traccia di alveo fluviale abbandonato
	asse di piega di 3a fase		orlo di terrazzo
	superficie di divaglio di 1a fase		cavità (poglia)
	superficie di divaglio di 2a fase		cava attiva, inattiva
	superficie di divaglio/schistosità di 3a fase		sorgente, sorgente minerale
	superficie di schistosità, fabrico composto		miniera inattiva
	fabrico composto verticale		località fossilifera
	contatto stratigrafico: certa incerta		discarica
	contatto tettonico: certa incerta		traccia di sezione geologica

ALLEGATO N° 2:

Schede sorgenti