Regione Liguria

Provincia di Imperia

COMUNE DI BORDIGHERA

LAVORI DI SISTEMAZIONE ED ADEGUAMENTO IDRAULICO TORRENTE BORGHETTO

SECONDO STRALCIO

TRATTO DI MONTE DA VIA ROMANA A CONFINE COMUNALE

PRIMO LOTTO FUNZIONALE

POR FESR LIGURIA 2014-2020
"INVESTIMENTI A FAVORE DELLA CRESCITA E DELL'OCCUPAZIONE"
ASSE 5 - OT5 - OBIETTIVO SPECIFICO 5.1 - AZIONE N°5.1.1.

PROGETTO DEFINITIVO

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	COMMITTENTE

RELAZIONE GEOLOGICA

Elaborato	Scala
2	-

CODICE:

16019-D28-0_GEO

REVISIONE	DATA
0	OTT.2019

PROGETTISTI:
Dott. Ing. Bartolomeo VISCONTI

Dott. Ing. Luca GATTIGLIA

Dott. Ing. Chiara PALESE

EDes Ingegneri Associati P.IVA 10759750010
Via Postumia 49, 10142 Torino Tel. +39 011.0262900 Fax. +39 011.0262902
www.edesconsulting.eu edes@edesconsulting.eu

REGIONE LIGURIA **PROVINCIA DI IMPERIA**

COMUNE DI BORDIGHERA

LAVORI DI SISTEMAZIONE ED ADEGUAMENTO IDRAULICO TORRENTE BORGHETTO

SECONDO STRALCIO
TRATTO DI MONTE DA VIA ROMANA A CONFINE COMUNALE

PRIMO LOTTO FUNZIONALE

POR FESR LIGURIA 2014-2020
"INVESTIMENTI A FAVORE DELLA CRESCITA E DELL'OCCUPAZIONE"
ASSE 5 - OT5 - OBIETTIVO SPECIFICO 5.1 - AZIONE N°5.1.1.

RELAZIONE GEOLOGICA

INDICE

1. PREMESSA 1
2. UBICAZIONE DELL'AREA 2
3. OPERE IN PROGETTO 4
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO 4
4.1. ZONA DELFINESE PROVENZALE 9
4.1.1. FLYSCH DI VENTIMIGLIA 9
4.2. UNITA' SANREMO – M. SACCARELLO 9
4.2.1. ARENARIE DI BORDIGHERA 10
4.2.2. FLYSCH DI SAN REMO 10
4.3. ZONA DEI LEMBI INTERPOSTI – UNITA' TETTONICA BAIARDO - TRIORA 11
4.3.1. FLYSCH DI BAIARDO 11

4.4. DEPOSITI PLIOCENICI 12
4.4.1. BRECCE DI TAGGIA 12
4.4.2. ARENARIE DI COPEIRA 12
4.4.3. ARGILLE DI ORTOVERO 13
4.4.4. CONGLOMERATI DI MONTE VILLA 13
4.5. DEPOSITI QUATERNARI 14
4.5.1. DEPOSITI MARINI TERRAZZATI 14
4.5.2. DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI 15
4.5.3. DEPOSITI DI SPIAGGIA 15
4.5.4. DEPOSITI ALLUVIONALI 16
4.5.5. DEPOSITI DI FRANA E DEBRIS FLOW 16
4.5.6. COLTRI ELUVIO-COLLUVIALI E DETRITI DI FALDA 17
4.5.7. DETRITI DI VERSANTE 17
4.6. ELEMENTI DI TETTONICA 18
5. ANALISI DEGLI STRUMENTI URBANISTICI E PERICOLOSITA' DEL SITO 19
6. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO 20
6.1. GEOMORFOLOGIA 20
6.1.1. IL BACINO DEL RIO BORGHETTO 21
6.2. ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE 23
6.2.1. DATI DA SONDAGGI GEOGNOSTICI 25
6.2.1. DATI DA ANALISI GRANULOMETRICHE 27
6.3. IDROGEOLOGIA 29
6.4. PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA 31
6.4.1. FASCIA INONDABILE CON PERIODO DI RITORNO 50 ANNI 32
6.4.2. FASCIA INONDABILE CON PERIODO DI RITORNO 200 ANNI 33
6.4.3. FASCIA INONDABILE CON PERIODO DI RITORNO 500 ANNI 33
6.4.4. FENOMENI DI DISSESTO DI TIPO FRANOSO 33
6.5. PERICOLOSITA' SISMICA 34
6.6. SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE 37
7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO 39
7.1. PARAMETRI GEOTECNICI 39
7.1.1. STIMA DELL'ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO 40

1. PREMESSA

Il presente documento viene redatto nell'ambito del progetto dei "Lavori di sistemazione ed adeguamento idraulico Torrente Borghetto" nel tratto a monte del parcheggio di Via Romana, nel Comune di Bordighera.

Storicamente la città di Bordighera è stata interessata da fenomeni di esondazione legati alla dinamica del Torrente Borghetto, soprattutto nel settore urbano di fondovalle prossimo alla foce. A partire dal 2009 il corso d'acqua è stato oggetto di approfonditi studi ed analisi, i quali, sulla scorta di quanto già indicato dal Piano di Bacino di Imperia, hanno messo in luce le principali criticità connesse al deflusso delle portate di piena, in particolare legate all'insufficienza delle sezioni d'alveo, alla presenza di numerosi tratti tombinati e attraversamenti non adeguati e alla potenziale mobilizzazione di volumetrie non trascurabili di materiale flottante e di trasposto di fondo, con conseguente ostruzione dell'alveo stesso.

Allo scopo di raggiungere nel tempo le condizioni di messa in sicurezza del corso d'acqua, peraltro sviluppato in un contesto fortemente antropizzato, l'amministrazione comunale ha negli ultimi anni commissionato la realizzazione di interventi di diversa natura, strutturali e non, finalizzati al miglioramento delle condizioni di deflusso.

Allo stato attuale risulta realizzata una briglia a pettine di trattenuta del materiale solido e flottante, ubicata nei pressi del confine comunale settentrionale, mentre sono da poco terminati i lavori di adeguamento e messa in sicurezza del tratto terminale del Torrente Borghetto, tra l'imbocco dello scatolare in corrispondenza di Via Cesare Augusto e la foce, e i lavori di rifacimento del ponte sulla Via Aurelia. Sono inoltre terminati anche i lavori di adeguamento del ponte della linea ferroviaria Genova-Ventimiglia.

In questo contesto si inseriscono gli interventi oggetto del presente studio, relativi alla riduzione del rischio idraulico lungo l'alveo del Torrente Borghetto, nel tratto compreso fra l'imbocco dello scatolare di Via Cesare Augusto (Via Romana) e il ponte privato al civico 164 di Via Pasteur.

La presente relazione è stata redatta ai sensi del D.M. 17/01/2018: "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" e della Circolare C.S.LL.PP. n°7 del 21/01/2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018", secondo cui le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese alle opere, dei caratteri geologici del sito, della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle condizioni ambientali.

Scopo della seguente indagine è quello di redigere uno studio rivolto alla caratterizzazione e alla modellazione geologica col fine di determinare le principali caratteristiche meccaniche dei terreni costituenti l'immediato sottosuolo e di verificare la compatibilità dell'intervento in funzione dell'equilibrio idrogeologico dell'area circostante.

Si è proceduto mediante:

- raccolta ed organizzazione dei dati geologici esistenti [(1)];
- indagini in sito mediante sopralluoghi al fine di verificare l'assetto litostratigrafico e le principali caratteristiche meccaniche del materiale costituente l'immediato sottosuolo del sito interessato dalle opere in progetto.

[(1)] In occasione del Progetto Definitivo-Esecutivo dei "Lavori di sistemazione ed adeguamento idraulico Torrente Borghetto – Primo lotto" realizzati dalla Via Romana alla foce è stata predisposta una Relazione Geologica dallo Studio Polithema Società di Ingegneria (a firma del dott. Geol. Mauro Bugnano) ed erano state effettuate contestualmente una serie di indagini geognostiche dirette per caratterizzare dal punto di vista geologico e geotecnico i terreni presenti in quel tratto di alveo. La presente relazione si basa su parte dei contenuti di tale documento ed utilizza, ove possibile, i risultati delle indagini precedentemente eseguite.

2. UBICAZIONE DELL'AREA

L'area interessata dalle opere in progetto è ubicata in corrispondenza dell'alveo del Rio Borghetto, nel tratto compreso tra lo scatolare di Via Cesare Augusto (zona a valle) e il ponte privato al civico 164 di Via Pasteur (zona a monte), situato a Sud del viadotto dell'Autostrada A10 Genova-Ventimiglia, ad una quota topografica compresa tra 11 m slm e 28 m slm (Figura 1 e Figura 2).



Figura 1*: foto aerea con localizzazione dell'area interessata dalle opere in progetto*



Figura 2: *stralcio Carta Tecnica della Regione Liguria con indicazione dell'area interessata dalle opere in progetto*

Il sito interessato dalle opere non è inserito all'interno delle aree sottoposte al vincolo idrogeologico ai sensi del R.D. n°3267 del 30/12/1923, come evidenziato dallo stralcio planimetrico di Figura 3.



Figura 3: *stralcio cartografico con indicazione delle aree sottoposte a vincolo idrogeologico ai sensi del R.D. n°3267 del 30/12/1923*

3. OPERE IN PROGETTO

Il presente documento viene redatto nell'ambito del progetto dei "Lavori di sistemazione ed adeguamento idraulico Torrente Borghetto" nel tratto a monte del parcheggio di Via Romana, nel Comune di Bordighera.

Le opere in progetto si rendono necessarie al fine di migliorare le condizioni di deflusso lungo il corso d'acqua in quanto soggetto a fenomeni di esondazione e di ridurre il rischio idraulico lungo l'alveo del Torrente Borghetto, nel tratto compreso fra l'imbocco dello scatolare di Via Cesare Augusto e il ponte privato al civico 164 di Via Pasteur.

Sono previsti degli interventi suddivisi in n°3 tratti, come di seguito indicato.

TRATTO A

- Demolizione di alcuni fabbricati e del muro esistente sulla sponda sinistra del corso d'acqua;
- Realizzazione di un nuovo muro di sponda in c.a. fino al ponte di Via del Fabbro, arretrato rispetto a quello da demolire. Parte del muro verrà fondato su micropali;
- Realizzazione di n°2 tratti di platea lungo il greto del corso d'acqua;
- Rifacimento in parte dell'impianto fognario esistente nel lato destro del greto del corso d'acqua.

TRATTO B

- Abbassamento del fondo dello scatolare esistente nel tratto compreso tra Via del Lavoro e Via Meroglio;
- Demolizione del ponte di Via del Lavoro e adeguamento viabilità;

TRATTO C

- Realizzazione di una briglia sul greto del corso d'acqua a monte dell'attuale campo sportivo;
- Sistemazione e consolidamento delle scogliere esistenti su entrambi i lati dell'alveo e realizzazione di nuove scogliere in massi cementati e massi sciolti sulla sponda sinistra;
- realizzazione di un argine in terra al di sopra delle scogliere da realizzare in massi cementati e massi sciolti sulla sponda sinistra a protezione dei terreni terrazzati presenti ad Est;
- Riempimento dell'erosione venutasi a creare immediatamente a valle del salto esistente definito dal manufatto in c.a;
- rimozione del materiale sedimentato all'interno dello scatolare esistente in Piazza due Strade ed in particolare in corrispondenza dei due imbocchi
- intervento minore di adeguamento in quota sponda orografica destra a monte dell'imbocco dello scatolare di Piazza due Strade

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Le più valide informazioni sull'assetto geologico locale sono state tratte dallo Studio di Bacino della Provincia di Imperia (e relativa Variante di approfondimento) ed in particolare dallo studio sui "Torrenti Vallecrosia, Borghetto e rii minori (Ambito di bacino n°2 – Nervia)" (redatto nell'Ottobre 2002 con modifiche di Aprile 2019).
Una sintesi di tale studio dedicata specificamente agli aspetti geologici e geomorfologici viene riportata in questo capitolo, in cui si è scelto di ripresentare il più possibile fedelmente quanto in esso contenuto, anche

al fine di un possibile raffronto con la situazione attuale. Il testo è stato comunque in parte arbitrariamente modificato per adattarlo alla descrizione del solo bacino del Torrente Borghetto, in quanto elemento interessato dal presente progetto di sistemazione.
Di particolare interesse appare la trattazione riguardante le condizioni dell'alveo riferite al periodo precedente all'evento alluvionale del 2006, che ha sicuramente modificato l'assetto pregresso del corso d'acqua che risultava caratterizzato da una generalizzata assenza di manutenzione, con vegetazione infestante ed elevati quantitativi di sedimento ed altri materiali in alveo, situazione che ha sicuramente inciso sulla elevata criticità manifestatasi successivamente durante l'evento di piena del 2006.

Il primo ed essenziale riferimento geologico ufficiale della zona di Bordighera è il Foglio n°102 "S. Remo" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, edito nel 1928 sulla base dei rilevamenti realizzati da FRANCHI, al quale si deve la prima formalizzazione di una "Zona ad Helminthoida". Da allora, tuttavia, numerosi studiosi, soprattutto italiani e francesi, hanno contribuito ad approfondire le conoscenze litostratigrafiche, cronostratigrafiche e sedimentologiche, pur senza modificare in modo veramente sostanziale le originarie distinzioni effettuate da FRANCHI, che tutt'oggi conservano una loro validità in termini di corrispondenze litologiche e formazionali. La presenza nella letteratura di numerosi termini formazionali, locuzioni informali e sigle diverse, conseguenza in qualche modo inevitabile di studi e ricerche condotte in tempi così distanti fra loro, con varie finalità e finanche da autori di diversa nazionalità, potrebbe rendere difficoltoso il confronto con altri riferimenti cartografici e bibliografici esistenti. Per questo, nelle descrizioni che seguono, formazione per formazione, sono ricordate le locuzioni classiche e d'uso più frequente.

Sono state, inoltre, consultate le note illustrative del Foglio n°257-270 Dolceacqua –Ventimiglia della nuova Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Figura 4). Il foglio geologico n°257-270 Dolceacqua –Ventimiglia del Progetto CARG e le relative note illustrative non sono stati ancora ufficialmente pubblicati (sono nella fase di bozza in attesa della stampa ufficiale) ma risultano comunque visionabili sul Web (vedi sito web Ispra).

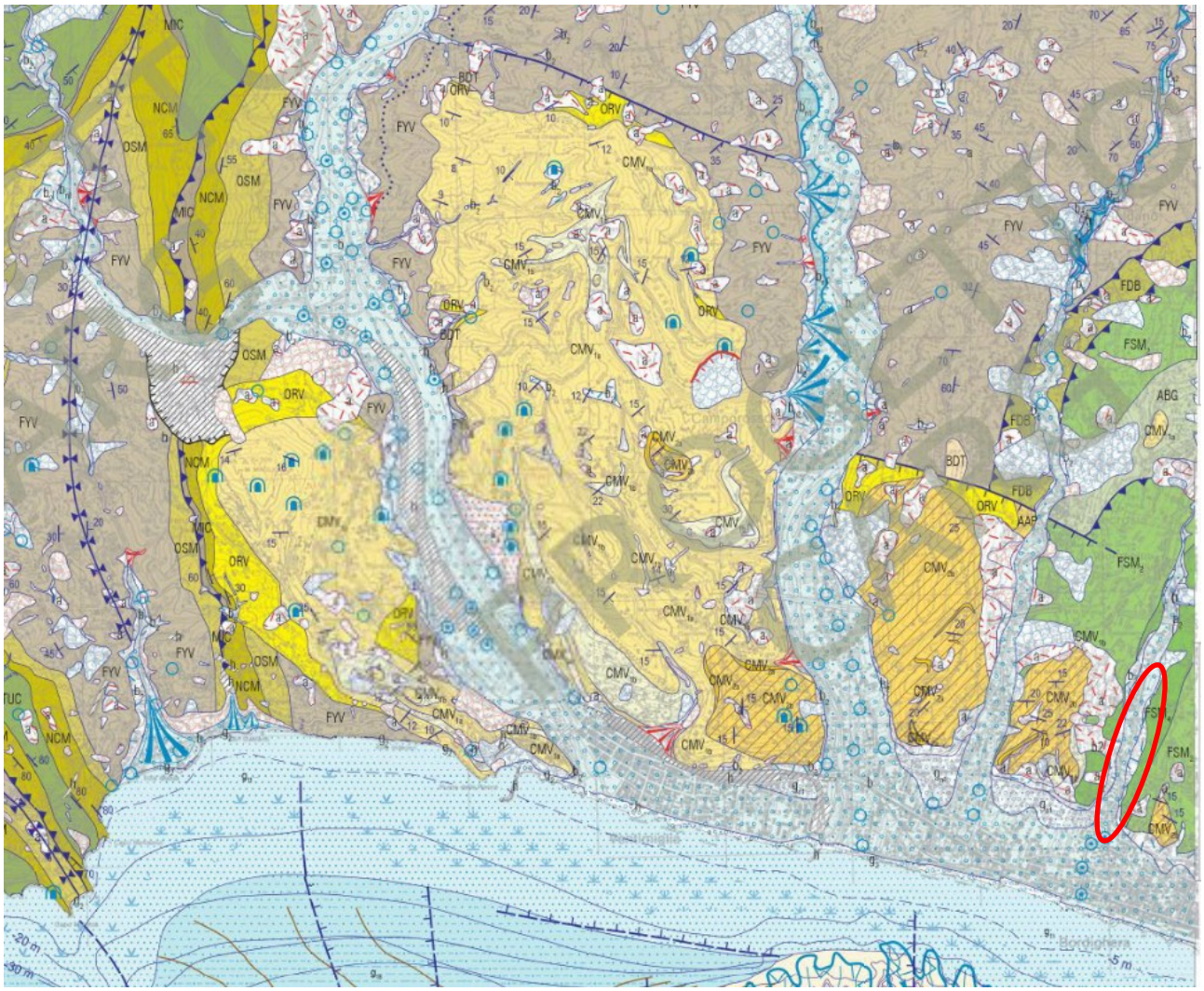


Figura 4: *stralcio Carta Geologica d'Italia, alla scala 1:50.000,* Foglio n°257-270 Dolceacqua –Ventimiglia

La zona di Bordighera è caratterizzata dal punto di vista geologico dal Dominio Delfinese-Provenzale che costituisce la copertura sedimentaria del massiccio cristallino dell'Argentera-Mercantour e una serie di falde di pertinenza alpina, come indicato nello schema tettonico di seguito riportato (Figura 5).

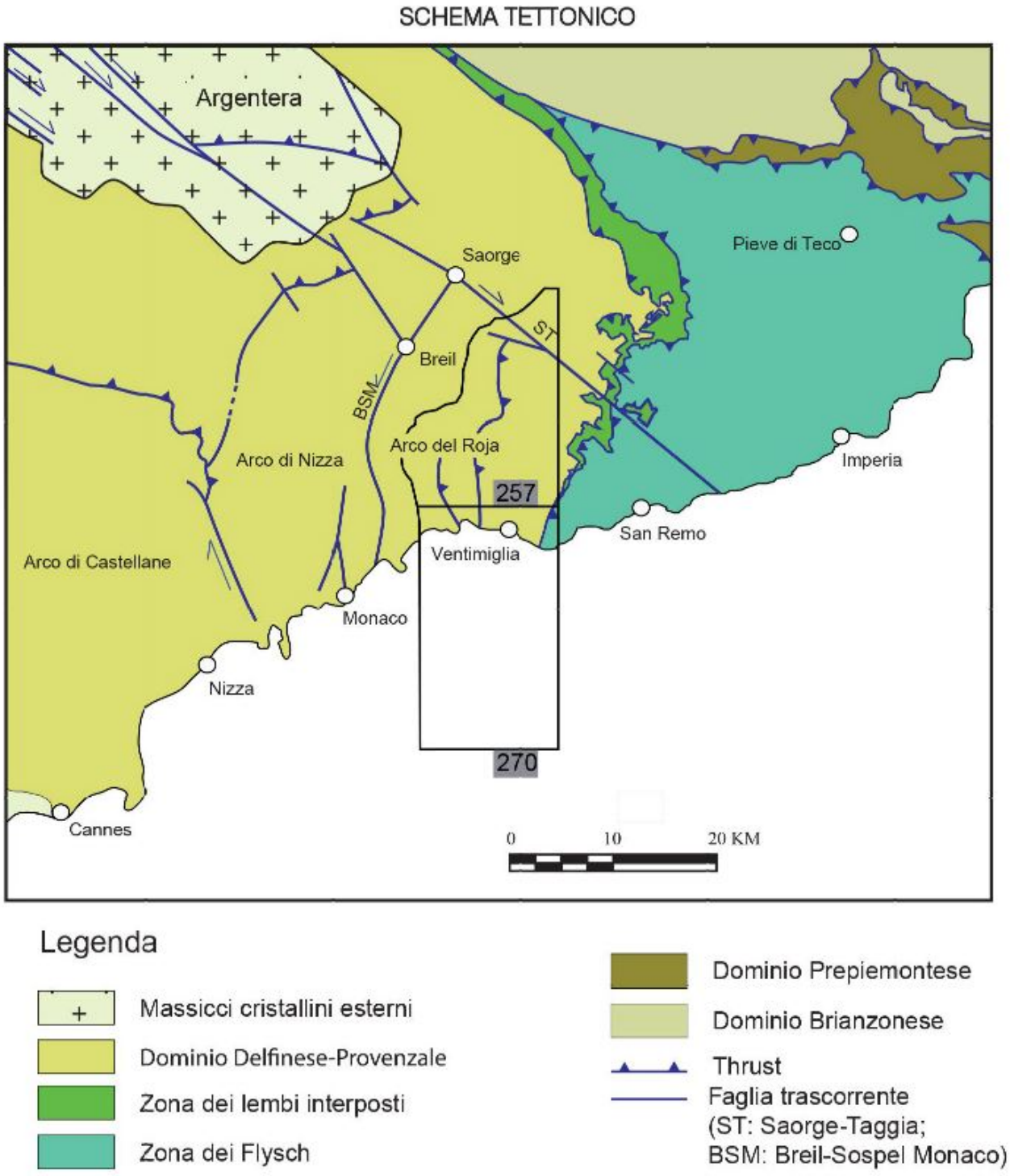


Figura 5: *schema tettonica del settore di indagine (tratto da Carta Geologica d'Italia, alla scala 1:50.000, Foglio n°257-270 Dolceacqua –Ventimiglia, in attesa di pubblicazione)*

In questa zona sono distinguibili due unità tettoniche principali di pertinenza alpina:

- Unità San Remo- Monte Saccarello;
- Unità Baiardo – Triora (Zona dei lembi interposti).

Queste due unità sono sovrapposte tettonicamente alle coperture Delfinesi-Provenzali, che in questa zona sono principalmente rappresentate dal Flysch di Ventimiglia.

A loro volta le unità tettonomemorfiche alpine sono ricoperte da una serie di depositi di età pliocenica (Conglomerati di Monte Villa, Argille di Ortovero, Arenarie di Copeira, Brecce di Taggia).

Di seguito verranno brevemente illustrate le caratteristiche geologiche dei principali elementi stratigrafici e tettonostratigrafici presenti nella zona, dal basso verso l'alto stratigrafico-strutturale (Figura 6).

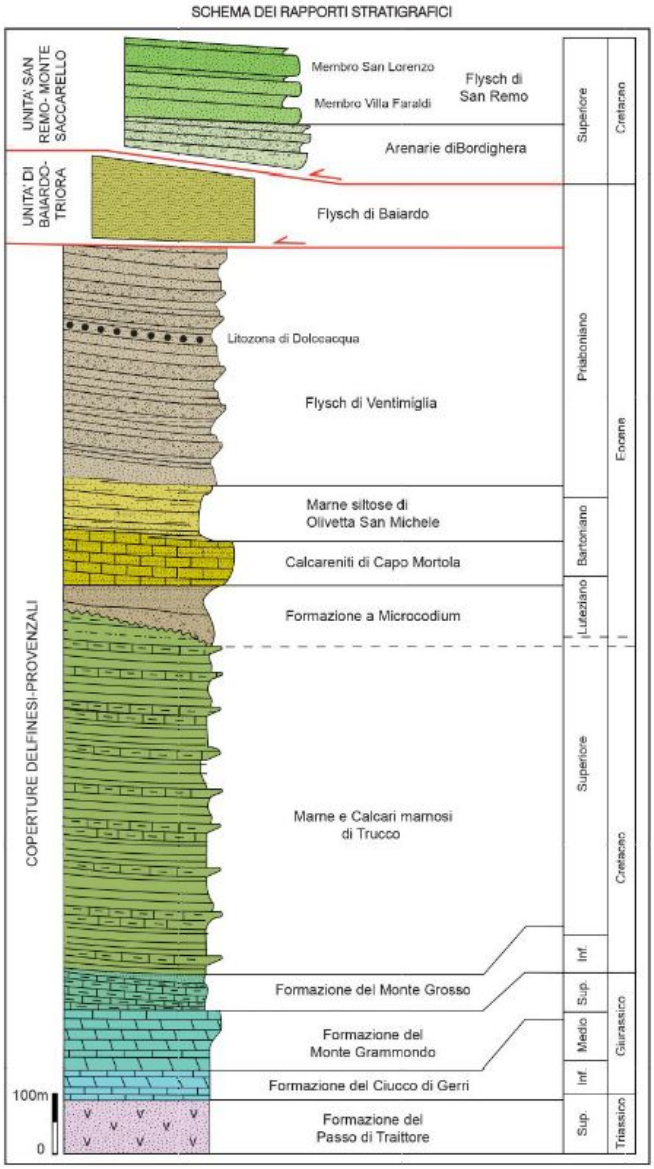


Figura 6: *schema dei rapporti tettonico-stratigrafici delle unità presenti nei dintorni di Bordighera*

4.1. ZONA DELFINESE PROVENZALE

La Zona Delfinese Provenzale è rappresentata nei dintorni di Bordighera dal Flysch di Ventimiglia.

4.1.1. Flysch di Ventimiglia

Il Flysch di Ventimiglia è costituito da torbiditi marnoso-arenacee e arenaceo siltose, presenti in strati generalmente medi e sottili in cui la frazione pelitica è di norma molto più sviluppata di quella detritica; al tetto compaiono livelli caotici, sia intraformazionali, sia con apporti extrabacinali, in particolare della falda del Flysch ad Elmintoidi (S. Antonio, M. Rebuffao). Questa formazione corrisponde al "pr" di Franchi e ai "Grès d'Annot" p.p. degli Autori francesi, che la indicano, peraltro, nelle più recenti pubblicazioni come "Flysch paléogène" o "Faciès flysch", con ciò discriminando con maggior chiarezza il "Grès d'Annot" s.s.

Il limite stratigrafico inferiore della formazione non affiora in quest'area, mentre il limite superiore, verosimilmente eterocrono, è dato dalla comparsa di intercalazioni caotiche e olistostromi, a loro volta ricoperte tettonicamente dalla falda del Flysch ad Elmintoidi.

La litofacies presente con assoluta prevalenza è data da una successione monotona e molto regolare di strati arenaceo-siltosi spessi da pochi centimetri a 2 m con rapporto arenite/pelite generalmente < 1, in cui la parte basale dello strato è data da un'arenaria medio-fine a composizione quarzoso-feldspatica, e quella superiore, molto sviluppata, da una marna siltosa priva di strutture. Le sequenze Bouma più frequenti sono date dalle successioni Tb-e, Tc-e, con facies sedimentaria prevalente D2.

Le intercalazioni caotiche presenti al tetto della formazione sono di almeno due tipi: il primo è rappresentato da un vero e proprio olistostroma a matrice marnoso-argillosa grigio-verdastra, con elementi arrotondati decimetrici di provenienza perlopiù extrabacinale, in gran parte attribuiti all'effetto della progressione in ambiente sottomarino della falda del Flysch ad Elmintoidi (allineamento S. Antonio - M. Rebuffao e tra Perinaldo e le pendici sudoccidentali del M. Mera); il secondo, più frequente soprattutto lungo tutta la parte medio-alta del versante sinistro della valle del T. Vallecrosia, è dato dalle stesse litologie presenti profondamente caoticizzate, tuttavia ancora riconoscibili in brandelli e spezzoni contorti, lacerati e arricciati, e di cui, soprattutto in prossimità del contatto per sovrascorrimento con la falda del Flysch ad Elmintoidi, non è semplice definire se l'origine sia legata solo a fenomeni sinsedimentari, piuttosto che a motivi tettonici.

Nella zona di S. Antonio-Madonna dell'Annunziata e al M. Rebuffao, sono presenti due olistoliti ettometrici costituiti da prevalenti arenarie e calcari arenacei litologicamente affini alle Arenarie di Bordighera, presumibilmente riconducibili ai "mégaklippes sédimentaires" degli AA. francesi, di Flysch ad Elmintoidi o di elementi di pertinenza brianzonese, che hanno grande sviluppo nel settore di Triora-Colle Ardente-Colle Langan in Valle Argentina, dove raggiungono dimensioni sino a chilometriche.

L'età della formazione è riferita al Priaboniano l.s., sulla base dei termini sottostanti e dell'età degli olistoliti inclusi. Nell'area oggetto di indagine affiora la porzione sommitale dell'unità, e non esistono, pertanto, elementi per valutarne lo spessore. Segnaliamo che LANTEAUME (1968) ammette per la sinclinale di Piène in territorio francese, uno spessore tra i 200 e i 500 m.

4.2. UNITA' SANREMO – M. SACCARELLO

Questa unità tettonica è costituita da:

- Arenarie di Bordighera;
- Flysch di San Remo.

4.2.1. Arenarie di Bordighera

Questa unità affiora a Nord e a Est del Comune di Bordighera e si trova associata al membro "Villa Faraldi" del Flysch di San Remo. L'unità è stata formalizzata da DELFRATI et al. (2000).

L'unità è costituita da arenarie da medie a grossolane, sino a termini conglomeratici fini, in banchi talora amalgamati. Le facies arenaceo-conglomeratiche si trovano di norma verso la base dei corpi arenacei e gli elementi conglomeratici sono concentrati verso la base degli strati arenacei. I conglomerati hanno composizione silicoclastica, con matrice arenacea e subordinato cemento carbonatico interstiziale. La loro composizione è data da quarzo mono e policristallino, K-feldspati e abbondanti litici rappresentati da graniti, che prevalgono sia sui porfidi sia sugli gneiss.

Le arenarie sono costituite da quarzo mono e policristallino, K-feldspati e plagioclasi subordinati, muscovite, biotite e litici litologicamente simili a quelli presenti nei conglomerati.

Lo spessore dell'unità, affiorante in queste zone in successione rovesciata, è piuttosto esigua (stimabile in poche decine di metri) poiché risulta privata della sua porzione basale ad opera di un sovrascorrimento. Tuttavia, l'intero complesso dei depositi gravitativi delle Arenarie di Bordighera vanta in aree attigue una potenza stimata in circa 500 metri.

Su base paleontologica (livelli biostratigrafici e nannofossili) le Arenarie di Bordighera sono riferibili all'intervallo Campaniano superiore-Maastrichtiano medio-sup. in accordo con GIAMMARINO et al. (2010).

4.2.2.Flysch di San Remo

L'unità è presente, nelle località indicate per le Arenarie di Bordighera con le quali si trovano a contatto, all'incirca con la stessa estensione areale.

Questa unità affiora a Nord e a Est del Comune di Bordighera ed è rappresentata dal membro "Villa Faraldi" e dal membro "San Lorenzo".

<u>Membro Villa Faraldi</u>

La definizione di questo membro segue quella di Sagri (1984), ripresa da Giammarino el alt (2010) nel Foglio n°258 - San Remo della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 e coincide con il membro calcareo di LANTEAUME (1957) e GALBIATI (1991).

Dato l'esiguo spessore affiorante per il fatto che rappresenta, con il membro "San Lorenzo" e le Arenarie di Bordighera, il fronte dell'Unità San Remo – Monte Saccarello, non sono presenti e quindi riconoscibili tutti i ritmi torbiditici, che risultano per di più scompaginati perché tettonizzati, nei fogli San Remo e Imperia del Progetto CARG.

Si osservano marne e arenarie calcaree, calcilutiti e torbiditi arenaceo-argillitiche, rari strati calcilutitici passanti verso l'alto a strati marnoso-arenacei. Lo spessore di questo membro è di alcune decine di metri, di molto inferiore alle centinaia di metri che invece raggiunge nei fogli San Remo e Imperia.

Sulla base delle associazioni a nannofossili calcarei, il membro "Villa Faraldi" è stato datato al Campaniano superiore p.p. – Maastrichtiano superiore.

<u>Membro "San Lorenzo"</u>

Corrisponde al "complesso a" p.p. di Boni & Vanossi (1960) e alla "litofacies D" di Sagri (1984). E' costituito da strati arenaceo argillitici con intercalazioni di calcilutiti e rari strati marnoso-arenacei di spessore massimo

1-2 metri. Le arenarie sono costituite da quarzo, mica bianca, K-feldspati, opachi, glauconite; sono anche presenti rari bioclasti indeterminabili. Le calcilutiti, finemente detritiche, con quarzo e miche, contengono talora frazioni siltitiche a miche bianche, quarzo, e opachi e associazioni a globotruncane.

Lo spessore del membro, in questa zona raggiunge solo alcune decine di metri mentre nella zona di Sanremo e di Imperia arriva a 300-500 metri.

Sulla base delle associazioni a nannofossili, il membro "San Lorenzo" è stato datato al Maastrichtiano superiore.

4.3. ZONA DEI LEMBI INTERPOSTI – UNITA' TETTONICA BAIARDO - TRIORA

Tra il tetto della successione autoctona di avampaese (Flysch di Ventimiglia) e la base della falda dei Flysch ad Elmintoidi affiora un complesso di terreni ("olistostromi" e scaglie tettoniche) che è noto in letteratura anche come "Complesso di progressione" o "Schistes-a –blocs" e che comprende, al suo interno, olistoliti sia di rocce"esotiche" mesozoiche (verosimilmente provenienti da successioni brianzonesi) derivanti sia dalla falda dei Flysch ad Elmintoidi sia dalle Arenarie di Bordighera. Si nota anche una commistione tra il Flysch di Baiardo e il Flysch di Ventimiglia.

Tali lembi indicano che il trasporto tettonico della falda del Flysch ad Elmintodi si è realizzato in ambiente sottomarino "raschiando", durante il suo cammino, anche rocce di pertinenza brianzonese che venivano inglobate nei sedimenti sintettonici del Flysch di Baiardo assieme agli olistostromi flyschoidi caduti nel bacino durante il loro avanzamento.

Questa unità è costituita in questa zona dal Flysch di Baiardo.

4.3.1.Flysch di Baiardo

Il Flysch di Baiardo giace sovrapposto al Flysch di Ventimiglia, talora in palese contatto tettonico, talora con superfici di contatto di originaria dubbia natura successivamente tettonizzate. Soggiace in contatto sicuramente tettonico ai terreni dell'Unità tettonica di San Remo – Monte Saccarello.

E' costituito in questa zona da arenarie fini e medie ospitanti talora intercalazioni siltoso-argillose. Esse formano una sorta di "massa di fondo" che molto spesso ingloba elementi sub-angolosi di Flysch di Ventimiglia e di Flysch di San Remo di pezzatura da centimetrica a pluridecimetrica.

Più rari, ancorchè presenti, sono gli olistoliti di Flysch di Ventimiglia di maggiore dimensione (plurimetrici). Talora il Flysch di Baiardo manca totalmente di un'organizzazione interna, presentandosi completamente caoticizzato; talora si osserva una stratificazione relitta a luoghi pesantemente e disomogeneamente deformata. Il contatto con il Flysch di Ventimiglia sono spesso associati ad una fitta rete di vene di calcite sub-parallele al piano di stratificazione del substrato. La messa in posto del flysch può essere messa in relazione con il complesso sistema tettonico-deposizionale espresso nelle zone di convergenza che precedono e accompagnano la creazione della catena. Il complesso del prisma di accrezione genera olistrostromi causati dall'instabilità dei sedimenti accumulatisi per "raschiamento" del fondo del bacino (Flysch di Ventimiglia).

Ne risulta un insieme tettonico-sedimentario difficilmente risolvibile, le cui facies e dinamiche deposizionali possono variare sensibilmente da luogo a luogo e generare numerose ambiguità interpretative. Nell'area in oggetto lo spessore della formazione può raggiungere i 100 m circa.

Per la mancanza di marker biostratigrafici affidabili questa formazione viene attribuita al Priaboniano inferiore, come nel vicino Foglio San Remo della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Giammarino et al., 2010).

4.4. DEPOSITI PLIOCENICI

Nella zona di Bordighera i sedimenti pre-pliocenici del Dominio Delfinese-Provenzale e le falde di pertinenza alpina (Unità San Remo-Monte Saccarello e Unità Baiardo-Triora) sono sovente ricoperti da una serie di depositi di età pliocenica, costituiti da una serie di unità litostratigrafiche di seguito indicate:

- Brecce di Taggia;
- Arenarie di Copeira;
- Argille di Ortovero;
- Conglomerati di Monte Villa.

I depositi pliocenici sono confinati all'interno di una paleovalle prodotta per incisione fluviale a seguito dell'abbassamento del livello di base messiniano. Si tratta di sedimenti riconducibili alle diverse fasi di riempimento della paleovalle, che prima è stata riconquistata dal mare come testimoniato dalla deposizione di argille azzurre massive di ambiente epibatiale (Argille di Ortovero) e poi riempita da potenti corpi conglomeratici assimilabili a delta di tipo Gilbert (Conglomerati di Monte Villa) organizzati in più sequenze deposizionali.

4.4.1.Brecce di Taggia

Affiorano nel lembo isolato di M. Bellenda, a nord del lembo di M. S. Croce (in località Madonna dell'Annunziata) e in limitati affioramenti sulle propaggini nord-occidentali del lembo di M. Baraccone (in località S. Pietro-Trinità e Rio Fogliare).

Costituiscono la base della successione pliocenica, sempre in contatto discordante con il substrato. Si tratta di depositi caotici, totalmente privi di alcuna organizzazione interna o stratificazione, con spessore massimo di 10 metri. Sono costituiti da brecce e conglomerati immaturi male assortiti, con elementi di taglia da decimetrica a metrica, con dispersi grossi blocchi sub-arrotondati (fino a 2 metri in diametro) e matrice siltoso-sabbiosa non cementata. La tessitura è grano-sostenuta. La composizione dei clasti rispecchia quella del substrato circostante (particolarmente la successione torbiditica eocenica che forma i fianchi della paleovalle).

Ambiente deposizionale: questi depositi sono interpretati essere il prodotto di flussi gravitativi subaerei, principalmente di crollo e colata (debris-flow), deposti sul fondo e sui fianchi della valle messiniana (BREDA et alii, 2007).

L'attribuzione cronologica, in assenza di dati biostratigrafici, si basa sul fatto che questi depositi sottostanno la potente successione di argille azzurre riferibili al Pliocene inferiore (biozone a foraminiferi) e sono riferibili al Messiniano superiore-Zancleano p.p.

4.4.2.Arenarie di Copeira

In località Vallecrosia (versante orientale della dorsale del M. S. Croce) affiorano delle arenarie bioclastiche in strati decimetrici, con comuni bioclasti di ostreidi, gasteropodi e bivalvi, e granuli di quarzo, alternate a siltiti e peliti a costituire bedsets fining-upward spessi 40-80 cm. Gli strati arenacei mostrano limiti inferiori e superiori netti. Nell'insieme la successione, potente circa 15 m.

Questi depositi, definiti "Arenarie di Copeira" da BONI et alii (1985), sono chiaramente sottostanti ai potenti affioramenti argillosi calanchivi delle Argille di Ortovero e costituiscono senza dubbio una facies distinta, anche se, dato il loro carattere locale, erano stati inclusi da FRANCHI (1928) nel complesso argilloso.

L'attribuzione cronologica, in assenza di dati biostratigrafici, si basa sul fatto che questi depositi sottostanno la potente successione di argille azzurre riferibili al Pliocene inferiore (biozone a foraminiferi) e inoltre, sulla base dell'interpretazione deposizionale, si ritiene che questi depositi siano i resti di una shoreface progradazionale formata quando il livello del mare in risalita raggiunse il fondo della valle subaerea (BREDA et alii, 2009).

L'attribuzione cronologica e del Pliocene basale.

4.4.3.Argille di Ortovero

Definite "Argille Azzurre" dagli autori italiani e "Marne Blu" dagli autori francesi (v. BONI et alii, 1985). Marne (contenuto di $CaCO_3$ intorno al 30% secondo GIAMMARINO et alii, 1984) grigio-azzurre da massive a debolmente laminate, con subordinate intercalazioni centimetriche di siltiti e areniti fini a base erosiva e gradazione normale. Potenti fino a 150 m (Loc. Castel d'Appio), negli ultimi 2-3 metri sfumano verso l'alto a siltiti ed arenarie fini giallastre, a loro volta sempre in contatto erosivo con i soprastanti corpi conglomeratici.

Sono suddivisibili in tre intervalli stratigrafici sovrapposti intercalati ai corpi conglomeratici, e indicanti distinti eventi trasgressivi nella storia pliocenica del riempimento vallivo.

Il livello basale presenta gli spessori maggiori (fino a 150 m) ed affiora sui fianchi e lungo l'asse della paleovalle dove poggia, con rapporto discordante di onlap, direttamente sul substrato pre-pliocenico, o localmente sulle Breccie di Taggia o sulle Arenarie di Copeira. Esso è legato alla trasgressione marina regionale che allagò la valle incisa messiniana ed è a sua volta pesantemente eroso dalla progradazione dei sovrastanti corpi deltizi conglomeratici. Affioramenti tipici, con caratteristico paesaggio calanchivo, si osservano sul versante ovest della dorsale del M. Magliocca (Loc. Calandri - Castel d'Appio) e a nord della dorsale del M. Baraccone (Loc. Brunetti).

Il livello intermedio, potente fino a 20 m, è presente solo nella porzione centro-settentrionale della dorsale del M. Baraccone (Loc. Ciaixe - C. Rizzo), interposto tra due successivi corpi conglomeratici con i quali presenta rapporti di discordanza. In questo livello, le marne azzurre massive sfumano negli ultimi metri a siltiti ed arenarie fini giallastre.

Il livello superiore, potente fino a 50 m, affiora, interposto tra i corpi conglomeratici, nella porzione centro-occidentale del complesso pliocenico (M. Magliocca e versante ovest del M. Baraccone). Nei settori più occidentali (lembo del M. Bauso) affiora invece, alla base della successione pliocenica, direttamente a contatto con il substrato. Come per il livello intermedio, è costituito da marne azzurre massive che sfumano negli ultimi metri a siltiti ed arenarie fini giallastre.

Ambiente deposizionale: le associazioni a foraminiferi bentonici suggeriscono paleoambienti diversi ed una diminuzione di profondità in senso stratigrafico, in accordo col fatto che la paleovalle si stava progressivamente riempiendo.

L'attribuzione cronologica è Zancleano-Piacenziano inferiore?

4.4.4.Conglomerati di Monte Villa

Questa formazione costituisce la parte più cospicua dei depositi pliocenici. Gli affioramenti più caratteristici e meglio esposti sono quelli del versante occidentale del lembo del M. Baraccone, dove i conglomerati di

Monte Villa formano pareti verticali alte fino a centinaia di metri. Sono stati interpretati come sistemi deltizi di tipo Gilbert (BREDA et alii, 2007), caratterizzati dalla predominanza di clinoformi a forte inclinazione (18-25°) che costituiscono i foreset-beds di tali delta. I topset-beds sono solo localmente preservati e constano di livelli conglomeratici canalizzati o tabulari e ben classati. I bottomset-beds sono costituiti da livelli siltoso-arenacei raramente ben esposti. Nel complesso conglomeratico sono osservabili più litofacies, che presentano una distribuzione stratigrafica caratterizzata da un aumento dell'organizzazione dei depositi in corpi conglomeratici successivi

In generale, i corpi conglomeratici poggiano inferiormente sulle Argille di Ortovero con contatti erosivi discordanti mentre non è mai possibile osservarne direttamente il limite superiore. I rapporti geometrici e le osservazioni di terreno indicano comunque che le argille sviluppano rapporti di onlap sui conglomerati e contestualmente contraggono, con le stesse, rapporti eteropici.

Ambiente deposizionale: geometrie e facies dei corpi conglomeratici deltizi indicano una graduale diminuzione della profondità (delta da 250 m a 50 m di spessore) ed una transizione da delta dominati dai processi fluviali a delta influenzati dalle onde, in accordo col fatto che l'incisione valliva messiniana si stava gradualmente colmando (BREDA et alii, 2007).

Le datazioni biostratigrafiche sono state effettuate sugli intervalli di Argille di Ortovero intercalati ai corpi conglomeratici e sugli orizzonti sabbioso-siltoso-limosi dell'ultima litofacies con essi eteropici. L'età delle unità conglomeratiche risultano quindi spaziare nel periodo cronologico Zancleano inferiore p.p.-Piacenziano.

4.5. DEPOSITI QUATERNARI

Le coperture quaternarie derivano da vari processi morfogenetici connessi all'alterazione delle rocce, a fenomeni gravitativi, alla sedimentazione fluvio-torrentizia e marina. Tali processi si sono sviluppati durante il Quaternario, e i relativi depositi maggiormente rappresentati sono quelli olocenici fino a quelli attuali.

I depositi quaternari che caratterizzano l'areale di Bordighera sono:

- depositi marini terrazzati;
- depositi alluvionali terrazzati;
- depositi di spiaggia;
- depositi alluvionali;
- depositi di frana e di debris flow;
- coltri eluvio-colluviali e detriti di falda;
- detriti di versante.

4.5.1.Depositi marini terrazzati

I depositi marini terrazzati sono costituiti prevalentemente da materiali sabbioso-limosi e sabbioso-ghiaiosi, talvolta ciottolosi, riferibili per lo più ad ambiente transizionale marino-continentale. Tali depositi risultano sospesi rispetto all'attuale livello del mare: talora si riconoscono le scarpate di terrazzo che li delimitano ma, spesso, l'urbanizzato ne addolcisce i margini. Questi depositi sono riscontrabili con discontinuità lungo la fascia costiera, tra Ventimiglia e Bordighera a quote generalmente comprese tra 9 e 12 metri. Fa eccezione il lembo, in destra Nervia, a Ventimiglia, la cui superficie non è rilevata rispetto alla piana alluvionale prospiciente, per il quale la natura di deposito marino è stata evidenziata da sondaggi archeologici.

Lo spessore medio di questi depositi, che poggiano in genere su superfici erosionali, si assesta intorno a 10 metri. Per quanto attiene all'attribuzione cronologica, non si hanno elementi certi, tuttavia, anche da un confronto con i rinvenimenti all'interno delle cavità dei Balzi Rossi, in termini presuntivi, questi depositi potrebbero essere riferiti, genericamente al Pleistocene medio-superiore.

4.5.2.Depositi alluvionali terrazzati

Depositi ghiaiosi e sabbiosi, a tratti debolmente limosi, di origine fluviale, posti lungo le valli principali e sopraelevati rispetto agli alvei e alle piane alluvionali attuali.

Si tratta di depositi piuttosto grossolani, caratterizzati dalla presenza di ghiaia, ghiaia-sabbiosa e sabbia-limosa, con clasti eterogenei, da sub-arrotondati ad arrotondati.

Nel Foglio n°257-270 Dolceacqua–Ventimiglia della nuova Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 sono presenti in lembi distribuiti su tutta l'area e sono stati indicati con numeri crescenti in relazione alla loro età relativa, dal più recente e topograficamente più basso (b_{n1}) al più antico e topograficamente più alto (b_{n3}).

Si tratta di depositi piuttosto grossolani, caratterizzati dalla presenza di ghiaia, ghiaia-sabbiosa e sabbia-limosa, con clasti eterogenei, da sub-arrotondati ad arrotondati. I depositi alluvionali terrazzati b_{n1} si presentano come ghiaioso-sabbiosi non cementati e poco alterati, spesso reincisi. I depositi alluvionali terrazzati b_{n2-3} sono ciottolosi-ghiaiosi mediamente alterati e, a tratti, con abbondante cemento.

Molto spesso si presentano come superfici erosionali relitte ricoperte soltanto da limitati depositi raramente rinvenuti di spessore superiore ai cinque metri. Si è quindi utilizzata una correlazione geometrica di tali superfici: i più antichi hanno altezze rispetto ai corsi d'acqua attuali comprese tra 10 e 20 m, i più recenti si elevano di 2 - 3 metri.

Per quanto attiene all'attribuzione cronologica, l'unico dato in possesso, oltre alle già citate datazioni dei materiali rinvenuti nelle caverne dei Balzi Rossi, è il ritrovamento illustrato da ISSEL (1892) in Val Nervia, a Camporosso in località Sant'Andrea (cartografato come b_{n2}), di "due molari di Mammut" (Elephas primigenius). Sulla base dei rapporti di incassamento nell'unità terrazzata indicata come b_{n2}, si propone pertanto che i depositi più recenti possano essere attribuiti all'Olocene mentre quelli più antichi (b_{n2-3}) al Pleistocene medio-superiore.

4.5.3.Depositi di spiaggia

Si tratta di depositi prevalentemente ghiaioso - ciottolosi, più raramente sabbioso-ghiaiosi con ciottoli arrotondati e talora appiattiti di dimensioni centimetriche. I depositi di maggiore estensione e continuità sono localizzati tra le foci del Roja e del Vallecrosia, fino alla parte orientale del foglio presso Bordighera, in presenza delle maggiori piane fluviali. Nella zona ad Ovest di Bordighera, dove la costa è alta e rocciosa, i depositi di spiaggia sono per lo più discontinui.

L'origine dei sedimenti è solo parzialmente naturale (sedimenti trasportati dai corsi d'acqua principali e rielaborati dal mare). Molte sono, infatti, le forme di ripascimento artificiali che ripristinano tratti di spiagge in erosione ad opera di processi marini. Infatti le spiagge, in tutta l'area mostrano una tendenza generalizzata all'arretramento, ivi compresa la spiaggia ghiaiosa che borda il piccolo delta del Torrente Latte.

Le stratigrafie dei pozzi e dei sondaggi disponibili denotano la presenza di depositi sabbiosi e sabbioso ghiaiosi di origine marina localizzati alcune decine di metri alle spalle dell'attuale linea di costa e ricoperti da alcuni metri di ghiaie alluvionali.

Questi depositi possono essere attribuiti all'intervallo cronologico Olocene - Attuale.

4.5.4.Depositi alluvionali

Si tratta di depositi ciottolosi, ghiaiosi, sabbiosi e, più raramente sabbioso-limosi, presenti lungo le principali aste fluviali e torrentizie. Vengono compresi in questa categoria sia i depositi costituenti gli alvei attivi, ancora oggi marcatamente soggetti ad evoluzione ad opera della dinamica fluviale sia i depositi che costituiscono le cosiddette piane inondabili che, soprattutto verso la costa sono protette da arginature e sono generalmente urbanizzate e quindi non più in evoluzione.

I depositi alluvionali degli alvei attivi sono presenti con discontinuità nei tratti più montani dei principali corsi d'acqua (in particolare, Roja, Nervia, Barbaira), soprattutto sottoforma di barre alternate o barre di meandro (point bar). Questi tratti sono caratterizzati, frequentemente, da alvei in roccia dove si possono ritrovare massi spesso angolari provenienti dai versanti in seguito a processi gravitativi. Mano a mano che ci si sposta verso valle la granulometria diminuisce, mantenendosi comunque relativamente grossolana e, anche in prossimità della costa, si ritrova la componente ghiaiosa frammista a quella sabbiosa.

Nelle aree costiere, generalmente, i depositi alluvionali poggiano su quelli di origine marina. Gli spessori sono variabili anche in funzione della posizione: minori verso monte e verso i versanti, maggiori verso il centro delle piane e verso la costa; dai sondaggi effettuati nella piana del Roja, circa alla confluenza con il Bevera si è riscontrato un materasso alluvionale potente fino a circa 60 metri. Gli affioramenti maggiormente estesi arealmente si ritrovano nelle piane dei torrenti Latte e Bevera, del fiume Roja e dei torrenti Nervia, Vallecrosia e Borghetto. Dal punto di vista morfologico costituiscono aree pianeggianti, ad eccezione dei conoidi che talora presentano pendenze anche del 3 - 4%.

I depositi alluvionali sono attribuibili all'Olocene.

4.5.5.Depositi di frana e debris flow

Nei versanti collinari e montani a Nord di Bordighera sono presenti alcuni corpi di frana. I materiali costituenti

questi depositi sono generalmente eterogenei ed eterometrici, con clasti di varie dimensioni, da centimetrici a decimetrici o metrici. Non mancano massi di grosse dimensioni. I clasti sono immersi generalmente in un'abbondante matrice spesso argillosa. Le caratteristiche sedimentologiche e i meccanismi di movimento sono necessariamente legate alle caratteristiche litologico-strutturali del substrato.

I cinematismi possono essere ricondotti alle seguenti tipologie principali:

- frane per crollo e ribaltamento;
- frane per scivolamento rotazionale;
- frane per scivolamento planare
- colamenti lenti
- colamenti rapidi;
- frane complesse
- debris flow.

Per una più completa e dettagliata descrizione dei fenomeni di dissesto presenti nell'areale e negli immediati dintorni di Bordighera vedasi i capitoli particolareggiati inseriti nelle note illustrative del Foglio n°257-270 Dolceacqua –Ventimiglia della nuova Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 e nello Studio di Bacino della Provincia di Imperia (e relativa Variante di approfondimento) ed in particolare dallo studio sui "Torrenti

Vallecrosia, Borghetto e rii minori (Ambito di bacino n°2 – Nervia)" (redatto nell'Ottobre 2002 con modifiche di Aprile 2019).

4.5.6.Coltri eluvio-colluviali e detriti di falda

Si tratta di accumuli detritici di spessore da decimetrico a metrico a plurimetrico, derivanti da alterazione in situ del substrato (eluvio) e, frequentemente in seguito mobilizzati, per azione combinata della gravità e delle acque di ruscellamento superficiale (colluvio). Il deposito è costituito da clasti eterometrici di varia litologia, spigolosi, immersi in una abbondante matrice pelitica e/o sabbiosa-ghiaiosa. Anche questi accumuli, come peraltro quelli detritici e i depositi alluvionali sono molto spesso rimaneggiati dall'uomo che, per fini agricoli soprattutto, ha rimodellato le superfici formando terrazzette sostenute per lo più da muri a secco.

Le coltri eluvio-colluviali si ritrovano su tutta l'area esaminata, fatta eccezione per la zona compresa tra il Torrente Bevera e il Fiume Roja, nel pieno dominio dei calcari cretacici, dove la loro presenza è più sporadica. Esse caratterizzano la maggior parte dei fianchi vallivi dei corsi d'acqua principali, costituendo molto spesso una fascia di raccordo tra i depositi alluvionali, talora terrazzati e i versanti modellati in roccia.

Cronologicamente questi depositi sono attribuibili all'Olocene.

I detriti di falda hanno attributi tessiturali estremamente eterogenei e dipendono soprattutto dalle caratteristiche del substrato dal quale derivano. Di origine gravitativa, sono costituiti da materiali eterometrici, privi di matrice, con prevalenza di granulometrie grossolane e ciclopiche, con clasti spigolosi. Lo spessore è variabile dal metro alla quindicina di metri e non è presente una copertura pedogenetica. Sono del tutto simili ai detriti di versante e da essi discriminati per una maggiore estensione, continuità e spessore. Sono generalmente caratterizzati da una maggiore presenza di cemento di norma calcitico. Questi depositi sono disposti in fasce ai piedi delle principali pareti calcaree, soprattutto laddove gli strati si presentano maggiormente fratturati. Sia i depositi presenti nella fascia più settentrionale, lungo la Gola dell'Incisa sia quelli più occidentali, disposti lungo la dorsale di confine, sono spesso organizzati in spettacolari coni detritici. L'unità comprende, oltre alle falde, anche i coni detritici. Questi depositi sono arealmente diffusi nelle zone caratterizzate dalle altitudini più elevate. Più precisamente si rinvengono nella parte più settentrionale e in quella più orientale del Foglio Dolceacqua, lungo la linea di cresta M. Pietravecchia, M. Toraggio, M. Bauso, M. Lega, ai piedi delle pareti scolpite nei calcari nummulitici, e ai piedi delle pareti scolpite nei calcari giurassici che caratterizzano la dorsale di confine (M. Mergo, M. Grammondo, Cima Longoira). Questi depositi possono essere attribuiti all'Olocene.

4.5.7.Detriti di versante

I depositi di versante, di origine gravitativa, sono costituiti da materiali eterometrici con prevalenza di granulometrie grossolane talvolta addirittura con massi, per lo più spigolosi, non cementati e con scarsa matrice. Gli spessori di questi depositi sono molto vari: da ridotti, anche meno di un metro, possono arrivare anche alla decina di metri. Le litologie, prevalentemente arenacee e/o calcaree dei clasti, sono da mettere il relazione al fatto che il detrito proviene per lo più dalla disgregazione delle bancate calcaree e arenacee, sui versanti delle quali il materiale si adagia. Le principali coltri detritiche di versante sono presenti nelle porzioni settentrionali del Foglio Dolceacqua, in presenza delle facies arenacee del Flysch di Ventimiglia, prevalentemente nelle valli Nervia e Barbaira nonché nelle aree più costiere caratterizzate dall'affioramento dei litotipi conglomeratico-arenacei di età pliocenica. Verso Ovest, in corrispondenza delle valli Roya e Latte, la frequenza di tali depositi tende a diminuire. I depositi arealmente più estesi sono molto spesso terrazzati con muretti a secco e coltivati prevalentemente ad ulivo, eucalipto e mimosa. In relazione alla cronologia, i detriti di versante possono essere attribuiti all'Olocene.

4.6. ELEMENTI DI TETTONICA

Come indicato nella parte iniziale del § *"4. Inquadramento Geologico"* del presente documento il substrato roccioso presente nei dintorni di Bordighera appartiene a diversi domini paleogeografici, rispettivamente riferibili alla Zona Delfinese-Provenzale ad Ovest e alla Falda del Flysch ad Elmintoidi di Sanremo-M. Saccarello ad Est. Entrambi appaiono interessati da una tettonica polifasica complessa, il cui effetto macrostrutturale più evidente in questa zona risulta essere il generalizzato accavallamento dell'unità del Flysch ad Elmintoidi, completamente scollata dal proprio originario basamento, sul Flysch Delfinese-Provenzale. La migrazione delle pulsazioni orogeniche dall'interno verso l'esterno dell'edificio alpino ha avuto come conseguenza una diversa successione delle fasi deformative nei diversi domini.

L'unità del Flysch ad Elmintoidi è interessata da ripiegamenti a tutte le scale, riferibili ad almeno due fasi principali sovrimposte: a) una prima fase si materializza soprattutto nel "complesso di base" e nelle unità pelitiche a stratificazione sottile con pieghe isoclinali e sub-isoclinali e una scistosità poco inclinata rispetto alle superfici litologiche; essa ha lasciato rarissime tracce nell'Unità Sanremo-M. Saccarello per la posizione sommitale rispetto all'edificio strutturale che essa ha assunto durante la traslazione; b) la seconda fase principale è quella responsabile della formazione delle grandi pieghe chilometriche ad assi all'incirca NO-SE, perlopiù cilindriche e concentriche, con piano assiale immergente verso NE, che caratterizzano tutte le unità fliscioidi. In quest'area, le strutture plicative riferite alla suddetta fase subiscono una rotazione assiale in senso orario, verosimilmente legata a fasi tardive.

L'unità del Flysch di Ventimiglia, riconosciuta anch'essa ampiamente scollata dal proprio substrato prepaleogenico, anche se non vistosamente traslata, è caratterizzata da una tettonica più blanda, certamente posteriore almeno alla fase delle deformazioni descritta al punto a), che realizza una successione di anticlinali e sinclinali aperte, che solo di rado nell'area studiata sono responsabili di estesi rovesciamenti di serie.

Entrambe le unità sono poi interessate da deformazioni di tipo fragile, espresse soprattutto da faglie dirette e/o trascorrenti che dovevano essere attive sin dalle fasi iniziali della deposizione pliocenica. Esse hanno direzioni riferibili a due sistemi principali: l'uno diretto N120-150 e l'altro all'incirca N40. Le maggiori deformazioni rigide si riflettono alla mesoscala in fratture e disgiunzioni che identificano un sistema di giunti subverticali coniugati aventi le medesime direzioni dominanti (MARINI, 1987). Procedendo da Ovest verso Est, le principali strutture deformative e di interesse tettonico-strutturale sono le seguenti:

- il grande accavallamento tettonico della falda del Flysch ad Elmintoidi sul Flysch di Ventimiglia che interessa il versante idrografico sinistro della Valle del Torrente di Vallecrosia, dal limite settentrionale del bacino sino ai terreni pliocenici e quaternari del fondovalle. Gli effetti del sovrascorrimento sono evidenziati da una fascia di terreni ad assetto fortemente caotico, potente sino ad un centinaio di metri, con lenti e inclusioni sia dell'unità soprastante sia di quella sottostante, e numerosi orizzonti cataclastici. E' da rimarcare che il segno convenzionale di sovrascorrimento presente nelle cartografie di carattere geologico-strutturale è un'inevitabile semplificazione grafica, poiché il sovrascorrimento si è in realtà realizzato lungo diverse superfici di scollamento complesse. Le migliori esposizioni della struttura si hanno tra Perinaldo, Suseneo e S. Martino;
- la stretta sinclinale del Torrente Borghetto-Rio Battagli, avente a nucleo il litotipo marnoso-arenaceo del Flysch di Sanremo, che affiora con notevole estensione longitudinale ma spessore limitato, mentre i fianchi, molto ravvicinati, sono dati dal litotipo calcareo marnoso affiorante sia nel fondovalle in serie diritta, sia superiormente in serie rovesciata. All'altezza dell'abitato di Seborga, il fianco superiore della struttura appare lacerato, con gli strati calcareo-marnosi in spesse bancate e con giacitura rovesciata che si sovrappongono bruscamente alle marne diritte;

- la grande anticlinale M. Nero - M. Carparo - M. Caggio, di cui è ben individuabile la superficie assiale sulle pendici sud occidentali del M. Carparo, con le bancate di arenarie che, diritte sul crinale, si rovesciano rapidamente poche decine di metri al di sotto, giungendo a sovrapporsi ai calcari marnosi. Il fianco diritto dell'anticlinale realizza una struttura tabulare immergente a SE con angolo complessivamente superiore a quello del pendio, a parte ripetute inversioni di polarità degli strati dovute a ripiegamenti parassiti di raggio decametrico.

5. ANALISI DEGLI STRUMENTI URBANISTICI E PERICOLOSITA' DEL SITO

Le principali informazioni relative agli strumenti urbanistici vigenti sono state desunte dallo studio per il "Piano di Bacino Stralcio per la Tutela dal Rischio Idrogeologico - Torrenti Vallecrosia, Borghetto e rii minori - Ambito di Bacino n°2 – Nervia" della Regione Liguria.

In particolare, sono state consultate la "Carta della suscettività al dissesto" e la "Carta del Rischio geomorfologico".

Nella "Carta della suscettività al dissesto" (Figura 7) il tratto d'alveo del Rio Borghetto interessato dalle opere in progetto è inserito all'interno della classe di suscettività al dissesto "Pg0 - Molto Bassa".

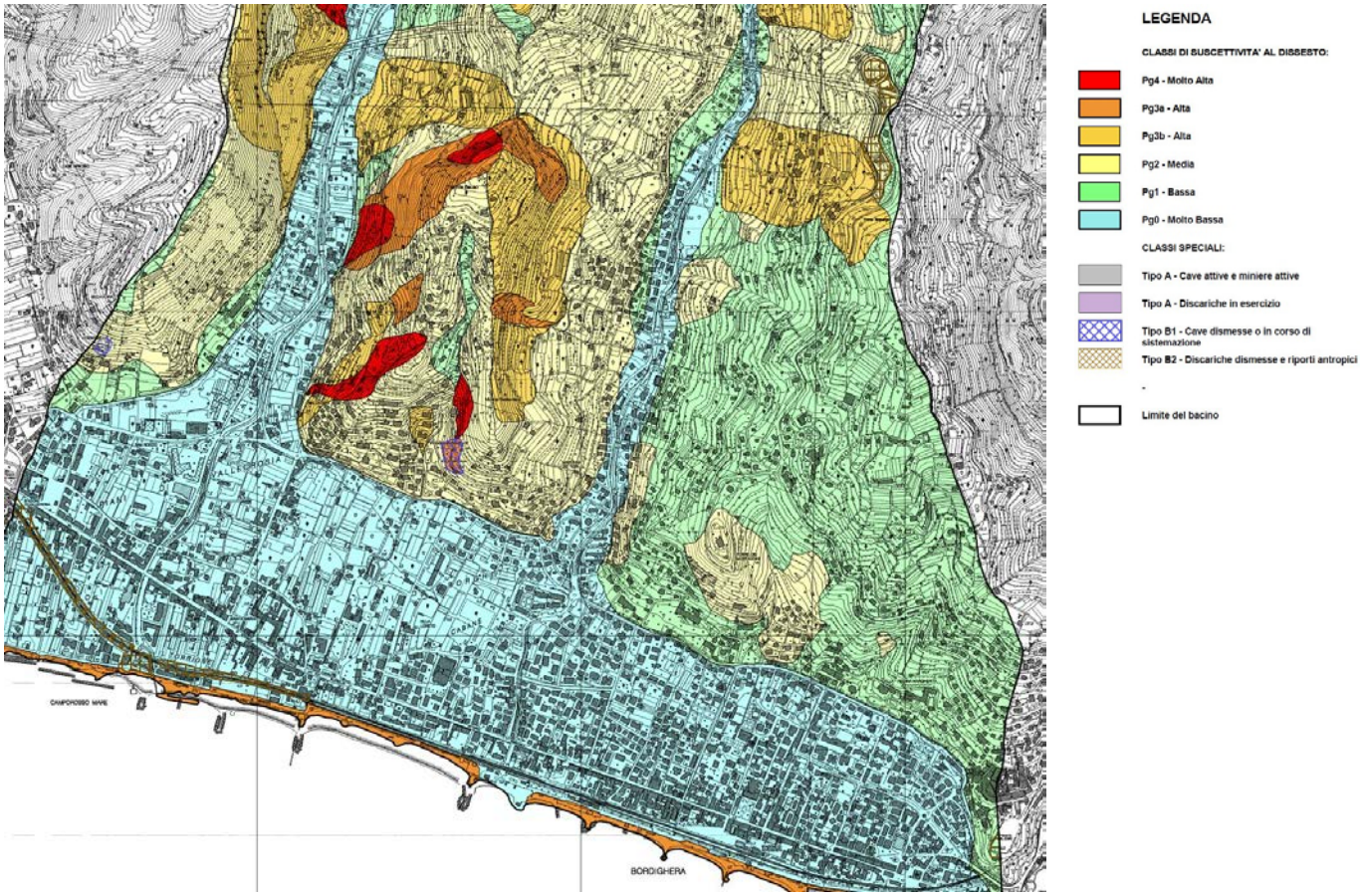


Figura 7: *stralcio "Carta della suscettività al dissesto" del Piano di Bacino Torrenti Vallecrosia - Borghetto*

Mentre nella "Carta del rischio geomorfologico" (Figura 8) il tratto d'alveo del Rio Borghetto oggetto di indagine ricade all'interno della classe di rischio "Rg0 - lieve o trascurabile".

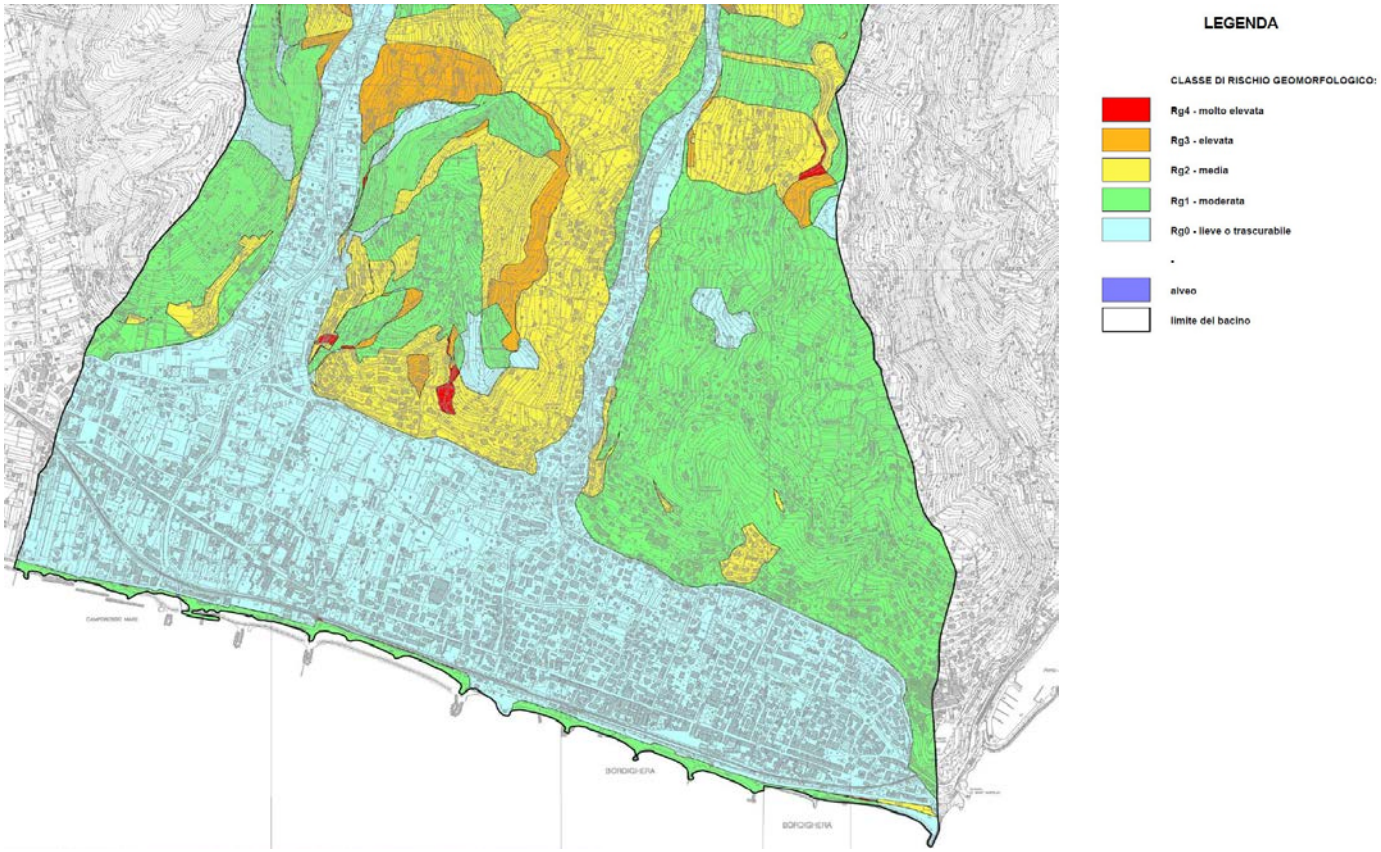


Figura 8: *stralcio "Carta del rischio geomorfologico" del Piano di Bacino Torrenti Vallecrosia - Borghetto*

6. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

Nei paragrafi seguenti saranno brevemente illustrate le principali caratteristiche geomorfologiche, litostratigrafiche, idrogeologiche e di pericolosità del sito interessato dalle opere in progetto.

6.1. GEOMORFOLOGIA

Il territorio di Bordighera si compone di numerosi bacini imbriferi morfologicamente tra loro indipendenti; tuttavia, dal punto di vista idrogeologico-geomorfologico, mostra ad una attenta analisi, notevoli elementi di omogeneità e lo si può descrivere riferendosi a soli due sistemi:

- il "bacino imbrifero" del T. Vallecrosia;

- il "bacino imbrifero" del R. Borghetto.

Entrambi i bacini imbriferi presentano una serie di caratteri unificanti ed in particolare il reticolo idrografico è caratterizzato da una notevole omogeneità strutturale e tessiturale; infatti, tutto l'ambito presenta il seguente uniforme "disegno" morfo-strutturale:

- i "solchi" hanno tutti andamento vistosamente arcuato, all'apice (a monte) circa NE-SO, al termine (a valle) circa N-S. Questa morfologia appare assai evidente nel bacino del Rio Borghetto;
- i "bacini" sono caratterizzati da un andamento decisamente e significativamente "tubiforme" nella porzione medio-bassa per aprirsi in ventagli asimmetrici solo nell'estremo settore apicale;
- nei settori terminali, prima di confluire nel mare, i bacini vengono "orlati" da una fascia di competizione tra i depositi fluviali di fondovalle e la spiaggia marina depositata, caratterizzata da un suo progressivo ed evidente ampliamento spostandoci progressivamente da levante a ponente;
- anche i settori apicali sono assai poco sviluppati;
- i settori mediani, infine, sono molto sviluppati rispetto agli altri, e lo sono in senso generale; cosicché il "profilo di fondo" dei due corsi d'acqua principali, è caratterizzato da una breve "fase senile" terminale depositata, da una modesta fase apicale erosiva a forte acclività e da una lunga fase intermedia di transizione e bilanciamento ad inclinazione moderata piuttosto costante;
- il settore medio-terminale "tubiforme" è caratterizzato dalla totale assenza o ridottissima presenza di "bacini secondari affluenti", sia in destra sia in sinistra; e i solchi confluenti sono caratteristicamente tutti di 1÷2° grado. Lo stesso settore medio-terminale è caratterizzato dalla sezione trasversale molto ristretta, quindi dalla notevole vicinanza dei due spartiacque di destra e di sinistra e dalla notevole acclività dei versanti laterali;
- il settore medio-apicale comincia a presentare lo sviluppo di piccoli "bacini secondari" ma solo nel settore apicale si possono osservare veri bacini e corrivi "affluenti" di ordine fino al 3÷4°, caratterizzati da forte asimmetria: più sviluppati e articolati quelli dei versanti idrografici di destra, macroscopicamente più brevi e lineari quelli dei versanti idrografici di sinistra;
- i versanti in destra, per quanto più sviluppati e articolati hanno mediamente e tendenzialmente acclività maggiore di quella dei versanti in sinistra.

6.1.1.Il Bacino del Rio Borghetto

Il bacino del Rio Borghetto presenta una superficie di circa 14,5 km^2 ed è caratterizzato da una evidente immaturità geomorfologica; infatti, la fase "senile", della sezione pianeggiante sedimentaria e alluvionale, tanto è breve che si confonde con la piana costiera depositata e il "bacino" vero e proprio sembra finire con l'improvviso sbocco del solco di corrivazione dalle prime propaggini collinari a pochi metri dalla costa. Infine, il corso d'acqua non annovera affluenti con bacini secondari significativi e il bacino si risolve in poco più che in un "canale" fortemente arcuato.
Nel complesso, appare oltremodo evidente che la struttura morfologica è "controllata" in modo quasi assoluto dalla tettonica, dalla tessitura, dalla litologia e dai ritmi formazionali.
Agli assi delle strutture plicative, al loro "andamento", al sovrapporsi di più fasi deformative e alla segnalata debole rotazione degli stessi assi, si devono infatti:
- il "disegno" complessivo (direzione dei solchi vallivi precedentemente indicati);
- l'asimmetria morfologica laterale dei versanti laterali.

In particolare, è evidente come i versanti più acclivi corrispondano regolarmente ai fianchi molto raddrizzati delle megastrutture plicative.
Alle lineazioni più marcate, alle quali è stato attribuito il significato di faglie di vario tipo, segnatamente ai due sistemi diretti N 120 e N 40 si devono:

- i lineamenti della costa;
- gran parte delle deviazioni assiali dei solchi erosivi e dei crinali spartiacque, soprattutto interni all'ambito;

- l'andamento prevalente dei solchi erosivi principali, ma soprattutto la direzione dei corrivi secondari, segnatamente nella zona apicale.

Ai sistemi di fratture coniugate si debbono le repentine e piccole o medie deviazioni dei solchi erosivi (meandri e salti di fondo), caratteristicamente diretti N 120 e N 40.
L'asimmetria della sezione apicale e il suo allungamento in senso circa NE-SO è riconducibile ad una direzione dominante dei paleo-solchi erosivi, già altrove notata (ad esempio nell'alta Valle Argentina), declassata a diramazione e affluenza da una precoce cattura da parte dei solchi ad andamento meridiano, più attivi per diretta loro connessione con l'assetto della costa e con le oscillazioni del livello del mare e quindi del livello di base.

L'evidente curvatura del tratto terminale del Rio Borghetto, è verosimilmente legata alla presenza di paleosolchi curvilinei al margine delle terminazioni periclinali delle grandi pieghe dell'unità del Flysch ad Elmintoidi, legate ad una generalizzata inclinazione degli assi verso Sud e ai successivi basculamenti dei settori costieri, come visibile nel modello schematico di seguito riportato.

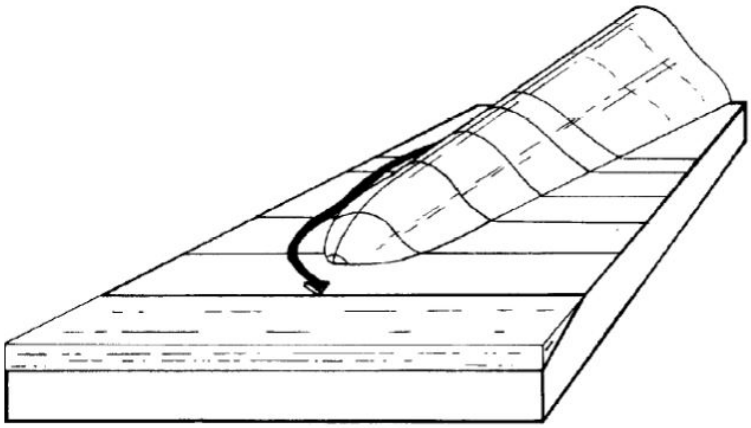


Figura 9: *schema tettonico-morfologico della curvatura terminale del Rio Borghetto*

Il tratto di Rio Borghetto interessato dalle opere in progetto, a monte della Via Cesare Augusto, è situato nella zona terminale del corso d'acqua prima dello sbocco nella pianura antistante la linea di costa. Il corso d'acqua in questo settore risulta confinato lateralmente da rilievi collinari poco pronunciati, mediamente tra quote altimetriche massime comprese tra 150 e 230 m slm, con andamento morfologico caratterizzato prevalentemente da deboli pendenze in prossimità dell'alveo. Allontanandosi lateralmente dall'alveo le pendenze tendono ad aumentare in direzione delle zone di dorsale morfologica.

Nella zona di indagine il fondovalle del corso d'acqua presenta mediamente larghezze tra i 150 m e i 250 m e risulta caratterizzato da diffuse zone urbanizzate soprattutto in destra orografica, lungo e in prossimità della Via Pasteur che fiancheggia la sponda destra del Rio Borghetto, come evidenziato dalla "Carta Geomorfologica" allegata al "Piano di Bacino Stralcio per la Tutela dal Rischio Idrogeologico - Torrenti Vallecrosia, Borghetto e rii minori - Ambito di Bacino n°2 – Nervia" della Regione Liguria (Figura 10).

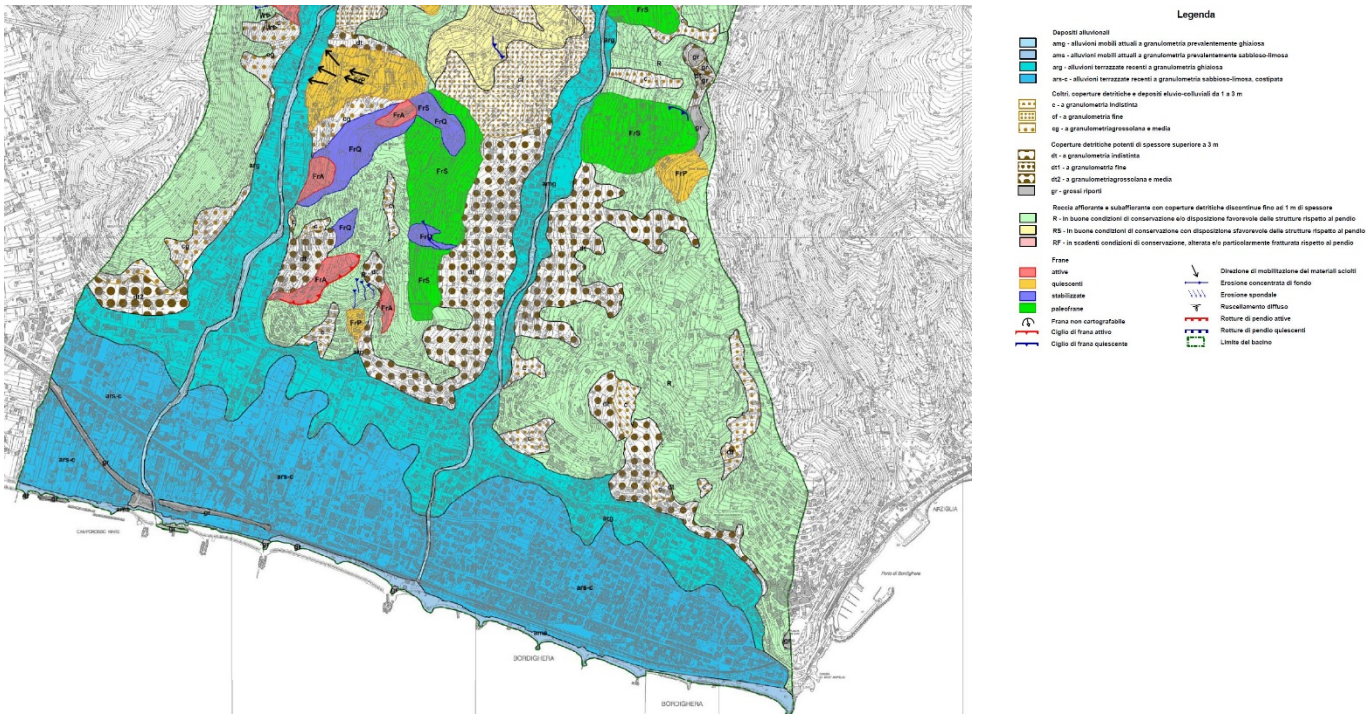


Figura 10: *stralcio "Carta geomorfologica" del Piano di Bacino Torrenti Vallecrosia - Borghetto*

L'analisi della "Carta Geomorfologica" allegata al "Piano di Bacino Stralcio per la Tutela dal Rischio Idrogeologico - Torrenti Vallecrosia, Borghetto e rii minori - Ambito di Bacino n°2 – Nervia" della Regione Liguria di Figura 10 evidenzia che l'alveo del Rio Borghetto è caratterizzato da "amg – alluvioni mobili attuali a granulometria prevalentemente ghiaiosa" mentre lateralmente risultano essere presenti dei depositi fluviali del tipo "arg – alluvioni terrazzate recenti a granulometria ghiaiosa".

.

6.2. ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE

Per la caratterizzazione litostratigrafica dell'area oggetto di indagine sono stati utilizzati in parte i dati provenienti dalle indagini eseguite (nei periodi Luglio-Agosto 2009, Febbraio 2011 e Marzo 2011) per la redazione della Relazione Geologica inerente il progetto dei "Lavori di sistemazione ed adeguamento idraulico Torrente Borghetto" (Ottobre 2011) che hanno interessato l'alveo del corso d'acqua a valle della Via Romana.

In tale occasione sono state effettuate una serie di indagini di seguito elencate e la cui ubicazione è riportata negli stralci di Figura 11 e di Figura 13:

- n°8 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, realizzati tra la Via Romana e la Linea Ferroviaria Genova-Ventimiglia;
- n°4 indagini sismiche del tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), realizzati sempre tra la Via Romana e la Linea Ferroviaria Genova-Ventimiglia;
- n°7 analisi granulometriche di laboratorio su campioni di depositi sciolti raccolti in corrispondenza del greto del Rio Borghetto nel tratto compreso tra il viadotto dell'Autostrada A10 Genova – Ventimiglia e la linea di costa marina.

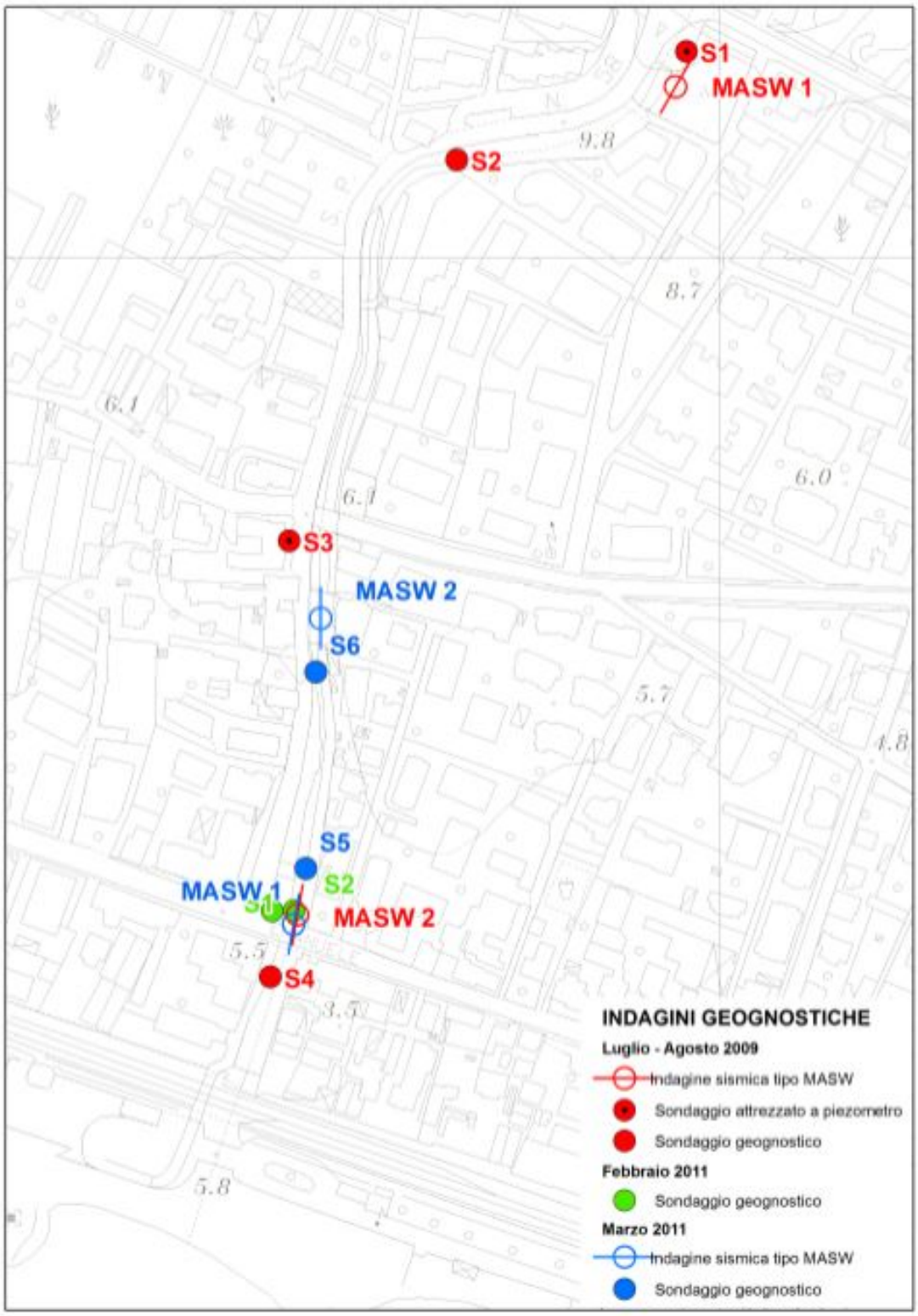


Figura 11: *stralcio cartografico con ubicazione delle indagini geognostiche eseguite (nei periodi Luglio-Agosto 2009, Febbraio 2011 e Marzo 2011) per la redazione della Relazione Geologica inerente il progetto dei "Lavori di sistemazione ed adeguamento idraulico Torrente Borghetto" (Ottobre 2011)*

6.2.1.Dati da sondaggi geognostici

Dal punto di vista litostratigrafico, per la caratterizzazione dell'area oggetto di indagine, sono risultati di particolare interesse i dati forniti dalla stratigrafia del sondaggio denominato S1, attrezzato con piezometro e realizzato nel periodo Luglio-Agosto 2009, in quanto realizzato nel greto del Rio Borghetto, in prossimità della rotonda all'incrocio tra la Via Romana e la Via Pasteur e risultando il più vicino al sito interessato dalle opere in progetto.

Dal punto di vista litostratigrafico, per la caratterizzazione dell'area oggetto di indagine, sono risultati di particolare interesse i dati forniti dalla stratigrafia del sondaggio denominato S1, attrezzato con piezometro e realizzato nel periodo Luglio-Agosto 2009 nel greto del Rio Borghetto in prossimità della rotonda all'incrocio tra la Via Romana e la Via Pasteur, che risulta il più vicino al sito interessato dalle opere in progetto.

La stratigrafia semplificata del sondaggio S1 è riassunta nella seguente tabella:

Campagna di indagini del 2009

Sondaggio S1 (testa foro = fondo alveo)

Profondità (m)	Materiale
0.00-0.20	Soletta in cls
0.20-0.80	Terreno di riporto: prevalenza di ghiaia sabbiosa in matrice limosa
0.80-1.60	Ghiaia con clasti in matrice sabbioso-limosa
1.60-4.70	Ghiaia con ciottoli di calcare marnoso
4.70-6.40	Ghiaia sabbiosa con ciottoli e discreto grado di ossidazione
6.40-7.20	Limo sabbioso con ghiaia alterata
7.20-9.00	Argilla limosa, platica moderatamente consistente
9.00-10.20	Calcare marnoso scaglioso
10.20-11.90	Argillite laminata e/o fissile moderatamente consistente
11.90-14.10	Calcarenite litoide con fratture
14.10-15.20	Calcare marnoso litoide a frattura concoide
15.20-19.70	Calcare marnoso scaglioso sub-litoide con discreto grado di alterazione
19.70-20.00	Argillite laminata sub-litoide

Risulta evidente dalla tabella sopra riportata che al di sotto di circa 0.80 metri di materiale di riporto sono presenti dei depositi di origine fluviale di natura ghiaioso-sabbiosa con ciottoli fino alla profondità di circa 6.40 metri. Seguono fino a circa 7.20 metri di profondità dei depositi limoso sabbiosi con ghiaie alterate. A profondità maggiori e fino a circa 9.00 metri sono presenti dei sedimenti di tipo argilloso-limosi, plastici, moderatamente consistenti che potrebbero rappresentare la porzione fortemente alterata del substrato mesozoico (Flysch di San Remo), che risulterebbe sicuramente presente a partire da circa 9 metri di profondità e fino a fondo foro (circa 20 metri dal piano alveo).

Nella seguente figura si riporta la stratigrafia completa del sondaggio S1 (Figura 12).

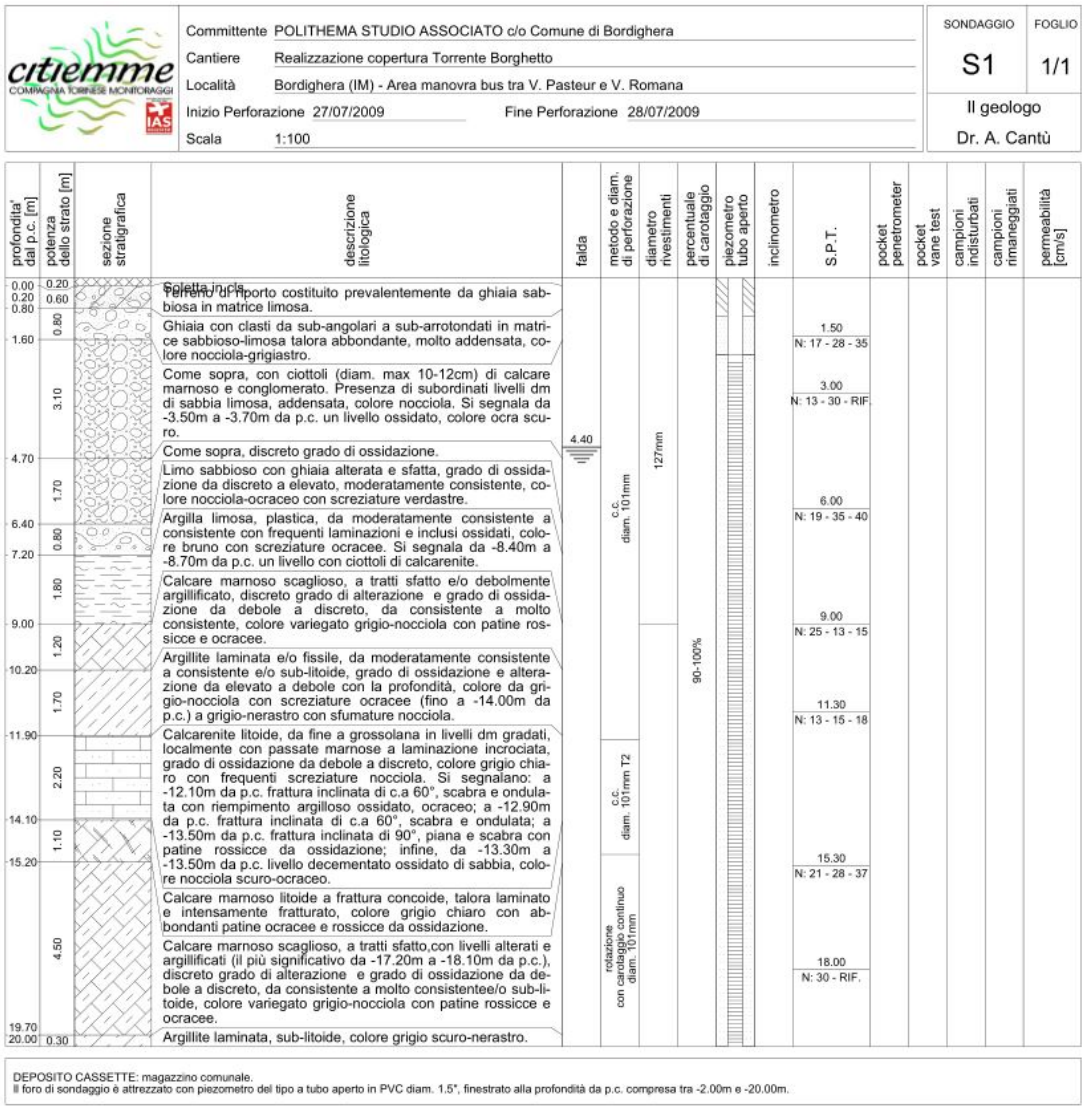


Figura 12: *stratigrafia del sondaggio a carotaggio S1 realizzato in prossimità della rotonda all'incrocio tra la Via Romana e la Via Pasteur (luglio 2009)*

Con ogni probabilità all'interno del vallone del Rio Borghetto, a monte della Via Cesare Augusto, lo spessore dei depositi ghiaioso-sabbiosi con ciottoli che ricoprono il substrato mesozoico tende leggermente a diminuire, come evidenziato dalla presenza di affioramenti di tipo arenaceo marnoso del Flysch di San Remo in prossimità della sponda sinistra del corso d'acqua in corrispondenza del ponte di attraversamento di Via del Fabbro, che corrisponde ad uno dei punti più stretti del fondovalle.

All'interno dell'alveo del Rio Borghetto nel tratto oggetto di indagine lo spessore dei depositi fluviali di tipo ghiaioso-sabbioso con ciottoli potrebbe variare mediamente tra i 4 e i 6.50 metri.

I sopralluoghi in sito, l'ungo il greto del Rio Borghetto hanno confermato la presenza lungo l'intera asta del corso d'acqua, esclusi i tratti coperti interessati da manufatti di tipo scatolare, di depositi fluviali costituiti da ghiaie sabbiose con ciottoli. Generalmente si tratta di depositi sciolti ben addensati anche se in corrispondenza della sponda sinistra, a Nord della Piazza Due Strade e a monte del campo sportivo, sono stati osservati affioramenti di depositi fluviali ghiaioso-ciottoli talora cementati.

Lungo la sponda sinistra del corso d'acqua non è invece possibile osservare affioramenti del terreno essendo l'alveo delimitato quasi continuamente dal muro di sostegno della Via Pasteur, che si sviluppa lateralmente e parallelamente al Rio Borghetto fino a monte del viadotto dell'Autostrada A10 Genova-Ventimiglia.

6.2.1.Dati da analisi granulometriche

Lungo il tracciato del Rio Borghetto in occasione della redazione del progetto dei "Lavori di sistemazione ed adeguamento idraulico Torrente Borghetto", realizzati a valle della Via Romana, sono stati effettuati anche dei campionamenti dei depositi fluviali (dicembre 2009) presenti lungo il greto del corso d'acqua al fine di eseguire delle analisi granulometriche di laboratorio.

I campioni sono stati raccolti lungo il tratto compreso tra la linea di costa (a valle) e il viadotto dell'Autostrada A10 Genova-Ventimiglia, come indicato nella Figura 13.

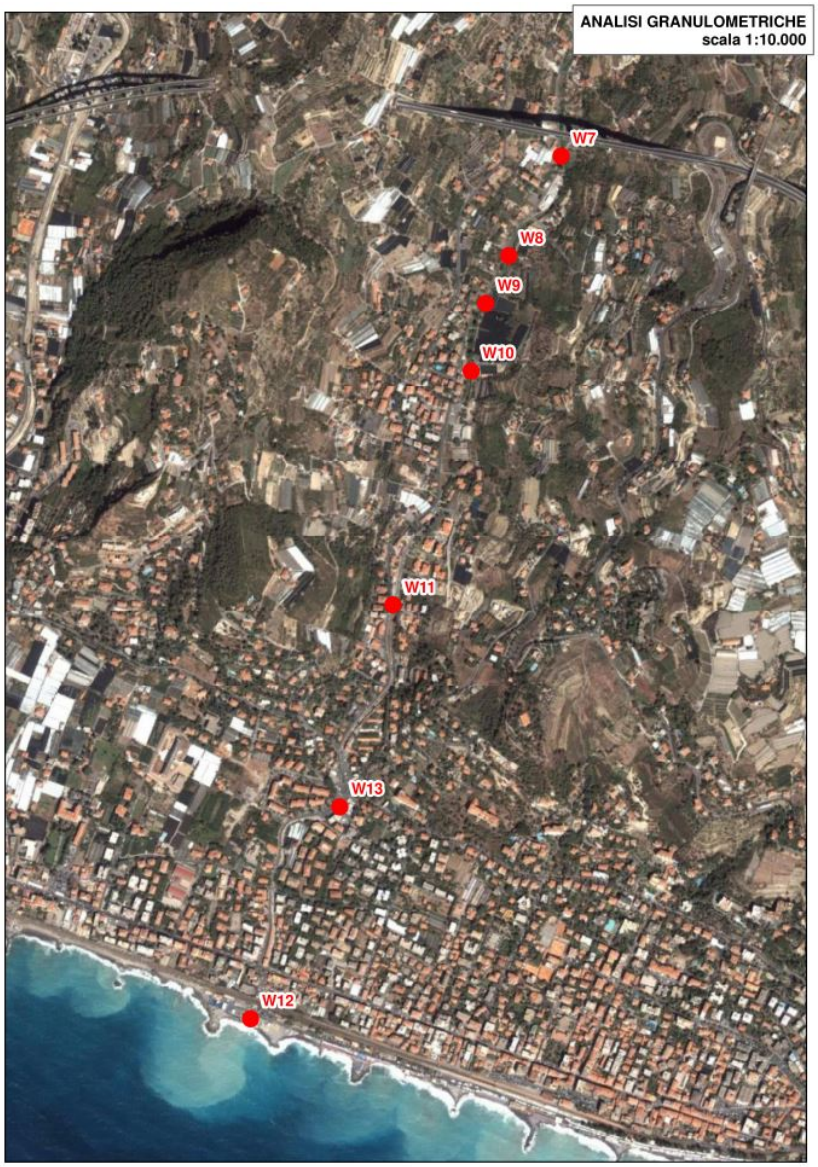


Figura 13: *planimetria satellitare con ubicazione delle analisi granulometriche (2009)*

Nelle seguenti tabelle sono riportati i rapporti analitici delle analisi granulometriche effettuate sui campioni prelevati (dicembre 2009) nel tratto di corso d'acqua interessato dalle opere del presente progetto.

TISSONI Dott. Alberto		LABORATORIO GEOTECNICO			
10126 Torino		ANALISI GRANULOMETRICA PER VAGLIATURA			
Via Canova 36 - Tel. 011-69667.18					
Committente	POLITHEMA s.r.l.				
Località	Bordighera (IM) - Alveo T.te Borghetto				
N° sond.	W7	N° camp.	1	N° prova	1
Data prelievo	01-dic-09	Prof. m	——	Data prova	09-dic-09
Operatore:	Dott. BENNA Alberto		Terreno analizzato totale (g)		6361,00

Setaccio ASTM	Apertura maglie	Parziali trattenuti	Parziali trattenuti	Totali trattenuti	Totali passanti
n°	mm	g	%	%	%
4"	101,60	0,00	0,00	0,00	100,00
3"	76,20	903	14,20	14,20	85,80
2"	50,80	476	7,48	21,68	78,32
1" ½	38,10	481	7,56	29,24	70,76
1"	25,40	582	9,15	38,39	61,61
3/4"	19,10	320	5,03	43,42	56,58
1/2"	12,70	544	8,55	51,97	48,03
3/8"	9,52	364	5,72	57,70	42,30
4	4,76	487	7,66	65,35	34,65
10	2,00	559	8,79	74,14	25,86
40	0,42	1258	19,78	93,92	6,08
80	0,18	157	2,47	96,38	3,62
200	0,07	32	0,50	98,89	3,11
Fondo	=	198	3,11	100,00	0,00

Percentuali			
	Ghiaia	74,14%	
	Sabbia	22,75%	Wnat (%)
	Limo	3,11%	

TISSONI Dr. Alberto
W7C1

TISSONI Dott. Alberto		LABORATORIO GEOTECNICO			
10126 Torino		ANALISI GRANULOMETRICA PER VAGLIATURA			
Via Canova 36 - Tel. 011-69667.18					
Committente	POLITHEMA s.r.l.				
Località	Bordighera (IM) - Alveo T.te Borghetto				
N° sond.	W8	N° camp.	2	N° prova	2
Data prelievo	01-dic-09	Prof. m	——	Data prova	09-dic-09
Operatore:	Dott. BENNA Alberto		Terreno analizzato totale (g)		7152,00

Setaccio ASTM	Apertura maglie	Parziali trattenuti	Parziali trattenuti	Totali trattenuti	Totali passanti
n°	mm	g	%	%	%
4"	101,60	0,00	0,00	0,00	100,00
3"	76,20	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,80	223	3,12	3,12	96,88
1" ½	38,10	192	2,68	5,80	94,20
1"	25,40	462	6,46	12,26	87,74
3/4"	19,10	487	6,81	19,07	80,93
1/2"	12,70	403	5,63	24,71	75,29
3/8"	9,52	467	6,53	31,24	68,76
4	4,76	940	13,14	44,38	55,62
10	2,00	935	13,07	57,45	42,55
40	0,42	2322	32,47	89,92	10,08
80	0,18	406	5,68	95,60	4,40
200	0,07	40	0,56	96,15	3,85
Fondo	=	275	3,85	100,00	0,00

Percentuali			
	Ghiaia	57,45%	
	Sabbia	38,70%	Wnat (%)
	Limo	3,85%	

TISSONI Dr. Alberto
W8C2

TISSONI Dott. Alberto		LABORATORIO GEOTECNICO			
10126 Torino		ANALISI GRANULOMETRICA PER VAGLIATURA			
Via Canova 36 - Tel. 011-69667.18					
Committente	POLITHEMA s.r.l.				
Località	Bordighera (IM) - Alveo T.te Borghetto				
N° sond.	W9	N° camp.	3	N° prova	3
Data prelievo	01-dic-09	Prof. m	——	Data prova	09-dic-09
Operatore:	Dott. BENNA Alberto		Terreno analizzato totale (g)		7596,00

Setaccio ASTM	Apertura maglie	Parziali trattenuti	Parziali trattenuti	Totali trattenuti	Totali passanti
n°	mm	g	%	%	%
4"	101,60	0,00	0,00	0,00	100,00
3"	76,20	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,80	649	8,54	8,54	91,46
1" ½	38,10	795	10,47	19,01	80,99
1"	25,40	1217	16,02	35,03	64,97
3/4"	19,10	418	5,50	40,53	59,47
1/2"	12,70	1023	13,47	54,00	46,00
3/8"	9,52	446	5,87	59,87	40,13
4	4,76	787	10,36	70,23	29,77
10	2,00	874	11,51	81,74	18,26
40	0,42	1158	15,24	96,99	3,01
80	0,18	132	1,74	98,72	1,28
200	0,07	13	0,17	98,89	1,11
Fondo	=	84	1,11	100,00	0,00

Percentuali			
	Ghiaia	81,74%	
	Sabbia	17,15%	Wnat (%)
	Limo	1,11%	

TISSONI Dr. Alberto
W9C3

TISSONI Dott. Alberto		LABORATORIO GEOTECNICO			
10126 Torino		ANALISI GRANULOMETRICA PER VAGLIATURA			
Via Canova 36 - Tel. 011-69667.18					
Committente	POLITHEMA s.r.l.				
Località	Bordighera (IM) - Alveo T.te Borghetto				
N° sond.	W10	N° camp.	4	N° prova	4
Data prelievo	01-dic-09	Prof. m	——	Data prova	09-dic-09
Operatore:	Dott. BENNA Alberto		Terreno analizzato totale (g)		6283,00

Setaccio ASTM	Apertura maglie	Parziali trattenuti	Parziali trattenuti	Totali trattenuti	Totali passanti
n°	mm	g	%	%	%
4"	101,60	0,00	0,00	0,00	100,00
3"	76,20	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,80	961	15,34	15,34	84,66
1" ½	38,10	489	7,81	23,15	76,85
1"	25,40	983	15,70	38,85	61,15
3/4"	19,10	355	5,67	44,52	55,48
1/2"	12,70	286	4,57	49,08	50,92
3/8"	9,52	204	3,26	52,34	47,66
4	4,76	467	7,46	59,80	40,20
10	2,00	434	6,93	66,73	33,27
40	0,42	1452	23,18	89,91	10,09
80	0,18	284	4,53	94,44	5,56
200	0,07	41	0,65	95,10	4,90
Fondo	=	307	4,90	100,00	0,00

Percentuali			
	Ghiaia	66,73%	
	Sabbia	28,37%	Wnat (%)
	Limo	4,90%	

TISSONI Dr. Alberto
W10C4

TISSONI Dott. Alberto		LABORATORIO GEOTECNICO			
10126 Torino		ANALISI GRANULOMETRICA PER VAGLIATURA			
Via Canova 36 - Tel. 011-69667.18					
Committente	POLITHEMA s.r.l.				
Località	Bordighera (IM) - Alveo T.le Borghetto				
N° sond.	W11	N° camp.	5	N° prova	5
Data prelievo	01-dic-09	Prof. m	—	Data prova	09-dic-09
Operatore:	Dott. BENNA Alberto		Terreno analizzato totale (g)		7567,00

Setaccio ASTM	Apertura maglie	Parziali trattenuti	Parziali trattenuti	Totali trattenuti	Totali passanti
n°	mm	g	%	%	%
4"	101,60	0,00	0,00	0,00	100,00
3"	76,20	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,80	368	4,86	4,86	95,14
1" ½	38,10	261	3,45	8,31	91,69
1"	25,40	392	5,18	13,49	86,51
3/4"	19,10	307	4,06	17,55	82,45
1/2"	12,70	466	6,16	23,71	76,29
3/8"	9,52	369	4,88	28,58	71,42
4	4,76	720	9,51	38,10	61,90
10	2,00	1184	15,65	53,75	46,25
40	0,42	3133	41,40	95,15	4,85
80	0,18	238	3,15	98,30	1,70
200	0,07	26	0,34	98,64	1,36
Fondo	=	103	1,36	100,00	0,00

Percentuali			
	Ghiaia	53,75%	
	Sabbia	44,89%	Wnat (%)
	Limo	1,36%	

W11C5

TISSONI Dott. Alberto		LABORATORIO GEOTECNICO			
10126 Torino		ANALISI GRANULOMETRICA PER VAGLIATURA			
Via Canova 36 - Tel. 011-69667.18					
Committente	POLITHEMA s.r.l.				
Località	Bordighera (IM) - Alveo T.le Borghetto				
N° sond.	W13	N° camp.	7	N° prova	7
Data prelievo	Febbraio 2010	Prof. m	—	Data prova	10-feb-10
Operatore:	Dott. BENNA Alberto		Terreno analizzato totale (g)		9026,00

Setaccio ASTM	Apertura maglie	Parziali trattenuti	Parziali trattenuti	Totali trattenuti	Totali passanti
n°	mm	g	%	%	%
4"	101,60	0,00	0,00	0,00	100,00
3"	76,20	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,80	1793	19,86	19,86	80,14
1" ½	38,10	768	8,51	28,37	71,63
1"	25,40	847	9,38	37,76	62,24
3/4"	19,10	600	6,65	44,41	55,59
1/2"	12,70	694	7,69	52,09	47,91
3/8"	9,52	462	5,12	57,21	42,79
4	4,76	756	8,38	65,59	34,41
10	2,00	836	9,26	74,85	25,15
40	0,42	1886	20,90	95,75	4,25
80	0,18	230	2,55	98,29	1,71
200	0,07	22	0,24	98,54	1,46
Fondo	=	132,00	1,46	100,00	0,00

Percentuali			
	Ghiaia	74,85%	
	Sabbia	23,69%	Wnat (%)
	Limo	1,46%	

W13C7

Le analisi granulometriche eseguite nei campioni prelevati nel tratto oggetto di questa indagine (W7, W8, W9, W10, W11, W13) evidenziano che il materiale raccolto risulta essere costituito da ghiaie sabbiose con percentuali di ghiaia comprese tra il 54% e 82%, di sabbia comprese tra il 17% e 45% e di limo comprese tra l'1% e il 5%.

Tali depositi possono essere associabili al materiale riscontrato all'interno del sondaggio S1 a carotaggio continuo, realizzato in prossimità della rotonda all'incrocio tra la Via Romana e la Via Pasteur (luglio 2009), compreso tra le quote di 0.80 m e 6.40 m di profondità dal piano dell'alveo del Rio Borghetto (depositi fluviali ghiaioso-sabbiosi con ciottoli).

6.3. IDROGEOLOGIA

Per il controllo del livello piezometrico della falda idrica di tipo freatico, presente nei depositi alluvionali e marini costituenti il settore settentrionale del tratto di piana costiera attraversato dal Rio Borghetto, sono stati utilizzati i dati provenienti da n°2 piezometri a tubo aperto posti all'interno dei fori di sondaggio S1 e S3, realizzati nel 2009 in occasione del progetto dei "Lavori di sistemazione ed adeguamento idraulico Torrente Borghetto" (2011), realizzati a valle della Via Romana.

I valori della falda acquifera freatica forniti dal piezometro situato all'interno del sondaggio S1 possono essere utilizzati ai fini del presente progetto a differenza di quelli forniti dal piezometro ubicato nel sondaggio S3, in quanto tale perforazione è stata realizzata nella piana del Rio Borghetto ad una distanza tale da rendere il dato di difficile utilizzo. Si evidenzia, inoltre che i valori del piezometro S3 sono stati misurati dal piano strada mentre in S1 i valori sono relativi alla quota del piano d'alveo del Rio Borghetto.

Nella tabella seguente sono riportati i dati di soggiacenza della falda acquifera misurati in corrispondenza nei piezometri installati all'interno dei sondaggi S1 e S3 realizzati nel 2009.

	Sondaggi Luglio- Agosto 2009	
Data	S1 Livello falda (m)	S3 Livello falda (m)
28/07/2009	4.4	4,13
20/10/2009	3.9	3,9
18/01/2010	2.6	3.4
03/02/2010	2.93	3.64
20/10/2010		4.4
01/03/2011		3.6
14/03/2011		3.8
29/03/2011		3.57

I valori riportati nella tabella precedente fanno riferimento alla falda acquifera che interessa lo spessore di sedimenti alluvionali e marini interdigitati verticalmente e orizzontalmente fra loro, con superficie freatica che si conforma come un regolare piano inclinato verso mare, il quale rappresenta il livello di base imposto al sistema idrogeologico sotterraneo. I sedimenti fluviali presenti lungo l'asta del Rio Borghetto sono caratterizzati da una permeabilità primaria mediamente elevata ($K = 10^{-3} \div 10^{-5}$ m/sec).
La base di tale acquifero è rappresentata verosimilmente dal substrato roccioso, che come si è detto in precedenza è costituito dai litotipi afferenti al Flysch di Sanremo nella sua litofacies a componente prevalentemente marnoso-calcarea, che può essere considerato un elemento praticamente impermeabile o al massimo dotato di una permeabilità secondaria modesta lungo i giunti di fratturazione.
Nel piezometro installato all'interno del sondaggio S1 le quote della falda acquifera, misurate nel periodo luglio 2009 – febbraio 2010, oscillano tra 2.60 m a 4.40 m dal piano alveo.
Dalle misure effettuate emerge che il periodo estivo, caratterizzato da precipitazioni molto modeste, comporta un abbassamento generalizzato del livello della falda nell'ambito del settore di piana costiera di interesse, tanto che in corrispondenza del piezometro posto in S1, cioè in corrispondenza dello scatolare già realizzato immediatamente a Nord della Via Romana, il livello piezometrico evidenzia una misura assoluta a soli +1.50 m s.l.m. in data 28/07/2009. Considerando una distanza di circa 620 metri in linea retta tra la posizione del piezometro e la linea di costa, ne deriva una pendenza della superficie piezometrica della falda contenuta allo 0.24 % verso il mare (ovvero in direzione Sud), che costituisce l'elemento idraulico di maggior drenaggio della zona.
Il valore massimo di soggiacenza è stato registrato nel mese di ottobre 2010, mese nel quale all'interno del piezometro S3, per il quale si dispone del periodo di monitoraggio più lungo, si registra il livello di falda più basso, inferiore anche al livello osservato a luglio 2009.
Al contrario l'escursione massima è stata riscontrata nel corso del mese di gennaio 2010, quando il livello piezometrico ha raggiunto +3.30 m circa s.l.m., indicando una escursione massima di circa 1.80 metri in corrispondenza di S1. Considerando il valore di +3.30 m s.l.m., ne deriva in questo caso una pendenza della superficie piezometrica della falda dello 0.53 %.
Si segnala che i valori più elevati (prossimi alla superficie) corrispondono alle misurazioni effettuate successivamente alle forti precipitazioni avvenute nei mesi invernali, ed in particolare nel mese di dicembre 2009, che sono sicuramente andate a rifornire abbondantemente l'acquifero fortemente impoveritosi nel precedente periodo estivo.
Per quanto concerne le possibili interazioni del livello della falda e delle sue escursioni con le nuove opere in progetto, si evidenzia la potenziale interferenza almeno temporanea o stagionale con la struttura fondazione

dei nuovi muri di sostegno in progetto da realizzarsi sul lato orientale (sinistra orografica) del Rio Borghetto e con il taglione previsto in progetto a monte dello scatolare già realizzato presso la Via Romana.
Anche i pali sui quali sarà intestato il muro di sostegno in sinistra orografica, a monte dello scatolare già realizzato di Via Romana, saranno immersi all'interno della falda acquifera.
In particolare, l'interferenza della falda con le opere in progetto appare maggiore durante i mesi invernali immediatamente successivi a periodi caratterizzati da elevate precipitazioni. Durante il periodo estivo più siccitoso tale interferenza dovrebbe sostanzialmente ridursi fino a quasi annullarsi.
Le precedenti osservazioni valgono nei limiti di affidabilità di un modello idrogeologico ricostruito sulla base di due piezometri (senza considerare il "piezometro" naturale e stabile rappresentato dal livello del mare).

6.4. PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

In questo capitolo vengono esposte alcune considerazioni sul grado di pericolosità geomorfologica del sito.

Le principali criticità di carattere geomorfologico del Rio Borghetto sono legate alla dinamica fluviale del corso d'acqua ed in particolare ai fenomeni di esondazione che interessano il corso d'acqua.
La zona di Bordighera limitrofa al corso d'acqua nella parte valliva è caratterizzata dalla presenza di molti locali seminterrati, per lo più posteggi condominiali, e giardini o piazzali in depressione rispetto al torrente, mai protetti da rampe d'accesso e, quindi, pronti ad invasare le acque d'alluvione. Pare importante sottolineare che le suddette situazioni presentano elementi di notevole pericolosità.
La Via Pasteur, la strada che costeggia l'alveo in destra, pare poi evidente possa costituire un elemento di elevata pericolosità, poiché in caso d'inondazione si trasformerebbe in un alveo golenale dal fondo estremamente levigato, dove la velocità dell'acqua può raggiungere valori molto elevati.
La S.S. Aurelia costituisce un'altra via preferenziale di scorrimento, in quanto l'estradosso della tombinatura nei pressi della foce, a valle dell'Aurelia, presenta una rampa in contropendenza che forma una barriera capace di deviare lateralmente, nelle due direzioni, il deflusso delle acque che scavalcano il ponte e che sopraggiungono dalla Via Pasteur.
Il contenuto dei seguenti capitolo relativi alle fasce di inondabilità con periodi di ritorno pari a 50, 200 e 500 anni sono ripresi dallo Studio di Bacino della Provincia di Imperia (e relativa Variante di approfondimento) ed in particolare dallo studio sui "Torrenti Vallecrosia, Borghetto e rii minori (Ambito di bacino n°2 – Nervia)" (redatto nell'Ottobre 2002 con modifiche di Aprile 2019). Uno stralcio delle fasce di pericolosità è riportata nella Figura 14.

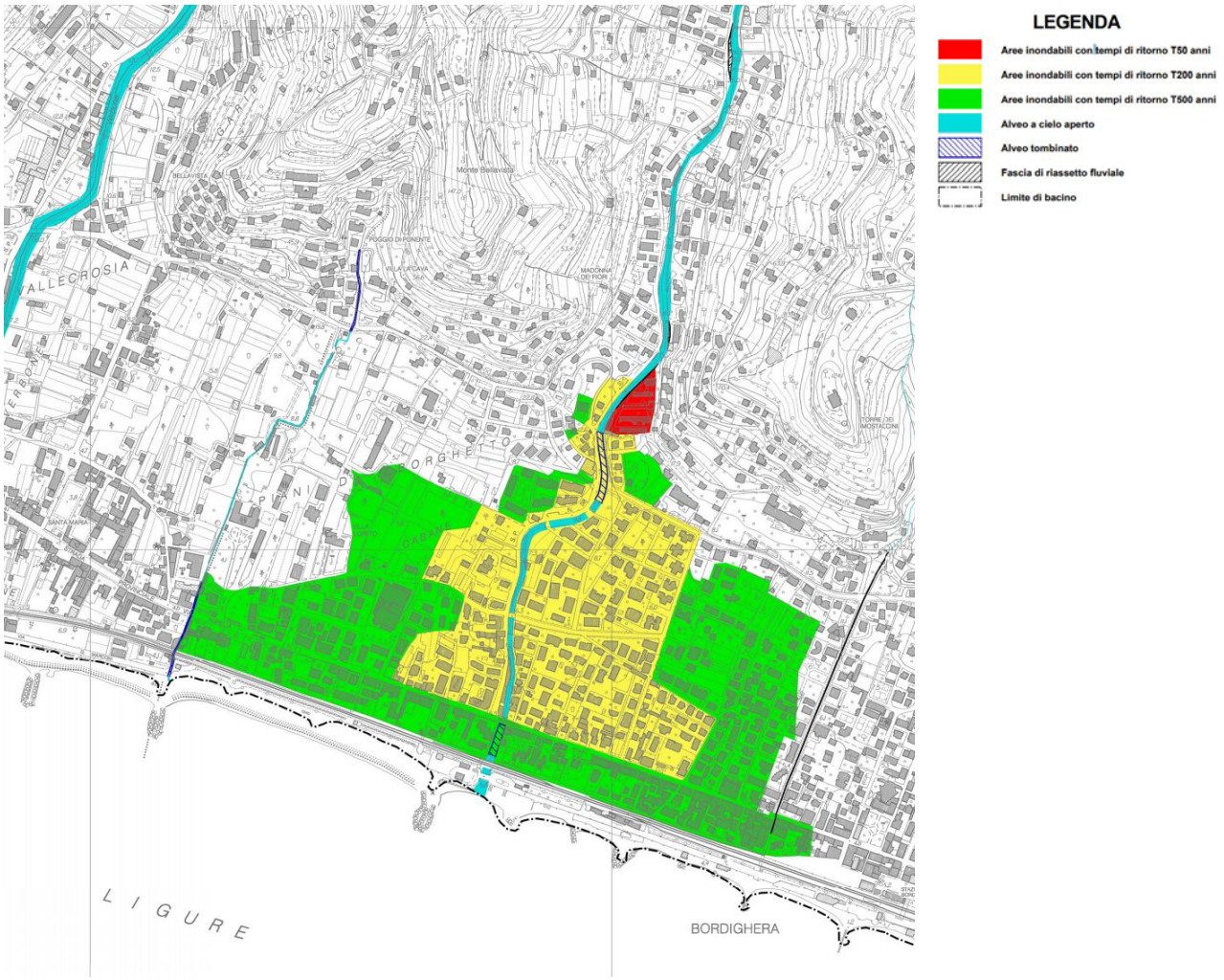


Figura 14: *stralcio cartografico con indicazione delle fasce di pericolosità idrauliche. Da studio sui "Torrenti Vallecrosia, Borghetto e rii minori (Ambito di bacino n°2 – Nervia)" (redatto nell'Ottobre 2002 con modifiche di Aprile 2019)*

6.4.1.Fascia inondabile con periodo di ritorno 50 anni

La portata con periodo di ritorno cinquantennale è pari a Q= 120 m^3/s, pertanto la portata che non trova recapito in alveo è pari a circa Q= 43 m^3/s.
Considerando che l'intervallo di tempo in cui defluisce una portata maggiore rispetto a quella massima smaltibile in alveo è dell'ordine dei 50 minuti, il volume d'acqua che si riversa nelle aree limitrofe all'alveo è dell'ordine di 64.000 m^3.
Supponendo un battente idrico medio di 50 cm si ottiene una superficie pari a 130.000 m^2.
Sono state mappate 4 zone inondabili separate, di cui segue la descrizione da monte verso valle:

- I zona: in corrispondenza di Via Bandiera l'attraversamento crea un rigurgito verso monte che provoca la fuoriuscita delle acque dall'alveo e la conseguente inondazione dell'area adiacente.
- II zona: il tratto a monte e a valle dell'attraversamento in piazza Due Strade risulta inondabile a causa del rigurgito generato dalla presenza del ponte con pila in alveo;

- III zona: il livello del profilo liquido si innalza nel tratto terminale della copertura localizzata in prossimità di Via del Lavoro, pertanto il tombino risulta insufficiente per il regolare deflusso della portata ed una limitata fascia adiacente all'alveo è invasa dalle acque;
- IV zona: a partire dalla copertura in prossimità di Via Augusto fino a ponte della S.S. Aurelia, la portata esonda e si distribuisce nelle aree limitrofe le cui quote sono spesso più basse rispetto alle quote degli argini.

6.4.2.Fascia inondabile con periodo di ritorno 200 anni

La portata con periodo di ritorno duecentennale è pari a Q=180 m^3/s, pertanto la portata che non trova captazione in alveo è pari a Q= 98 m^3/s.
Considerando che l'intervallo di tempo in cui defluisce una portata maggiore rispetto a quella massima smaltibile è dell'ordine dei 50 minuti, il volume d'acqua che si riversa nelle aree limitrofe all'alveo è dell'ordine di 147.000 m^3.
Supponendo un battente idrico medio di 40 cm, si ottiene una superficie pari a 367.000 m^2.
E' stata mappata un'unica area inondabile, che inizia dal ponte localizzato nei pressi di Via Bandiera e si estende fino alla foce.
Nell'ambito della fascia di inondabilità duecentennale si evidenzia nuovamente che Via Pasteur è caratterizzata da estrema pericolosità poiché rappresenta una via di scorrimento preferenziale per le acque di esondazione. Si segnale inoltre che anche in sponda sinistra è necessario considerare una fascia di larghezza 10 m analogamente caratterizzata da elevata pericolosità.

6.4.3.Fascia inondabile con periodo di ritorno 500 anni

La portata con periodo di ritorno cinquecentennale è pari a Q= 210 m^3/s, pertanto la portata che non trova captazione in alveo è pari a Q= 134 m^3/s.
Considerando che l'intervallo di tempo in cui defluisce una portata maggiore rispetto a quella massima smaltibile è dell'ordine dei 50 minuti, il volume d'acqua che si riversa nelle aree limitrofe all'alveo è dell'ordine di 200.000 m^3. Supponendo un battente idrico medio di 30 cm si ottiene una superficie pari a 670.000 m^2.

E' stata mappata un'unica zona inondabile: l'area inondabile si estende dal ponte in corrispondenza di Via Bandiera fino alla foce.

6.4.4.Fenomeni di dissesto di tipo franoso

Per quanto concerne i dissesti di tipo franoso si evidenzia che lateralmente all'alveo del Rio Borghetto è presente esclusivamente un fenomeno franoso ubicato in sinistra orografica nel tratto più a monte del settore di intervento come evidenziato nello stralcio della precedente Figura 10. Si tratta di fenomeno franoso di tipo "paleofrana" stabilizzata che verso valle non raggiunge l'alveo del corso d'acqua ma si ferma sul ripiano terrazzato laterale, mentre verso monte raggiunge la quota di circa 150 m slm dove è presente una evidente nicchia di distacco.

Lungo l'alveo del Rio Borghetto, soprattutto in corrispondenza della sponda sinistra nei tratti non protetti da opere di sostegno e contenimento, sono rilevabili ristrette zone di dissesto del tipo erosioni e scalzamenti spondali.

6.5. PERICOLOSITA' SISMICA

Come definito nel testo unico allegato al D.M. del 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" (Capitolo 3.2 Azione Sismica), "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 ag ….".

In relazione all'aggiornamento generale apportato dall'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri OPCM n°3274 del 20/03/2003 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"* recepita dalla Regione Liguria inizialmente con la D.G.R. n°1362 del 19/11/2010 e poi aggiornata con la D.G.R. n.216 del 17 marzo 2017: *"OPCM 3519/2006. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria"*, che la sostituisce, il **Comune di Bordighera (IM)** ricade all'interno della **Zona 3** nelle tabelle della zonazione sismica, cui corrisponde nell'Allegato 2 *"Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici"* dell'OPCM n°3274, un valore del parametro ag = accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A) pari a 0,15g (m/s^2), come riportato nella seguente tabella:

Zona	Valore di a_g
1	0,35 g
2	0,25 g
3	0,15 g
4	0,05 g

La normativa vigente, riprende i principi della classificazione sismica dei suoli dell'OPCM n°3274 e successive modifiche, ed individua come parametro di riferimento per la classificazione la velocità media di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna (Vs30). Il parametro di riferimento viene calcolato con la seguente formula:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

nella quale:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

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

I valori di V_S 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.

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 $V_{S,30}$, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella seguente tabella (D.M. 17/01/2018, Tabella 3.2.II).

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

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

Per la definizione della categoria di sottosuolo sono stati utilizzati i dati provenienti da un'indagine sismica del tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) realizzata in prossimità dello scatolare già realizzato nei pressi di Via Romana, nel settembre 2009. I dati provenienti dall'indagine, riepilogati in Figura 15, evidenziano una velocità V_{S30} di 629 m/s per cui è possibile classificare il sito in esame, in prima approssimazione, come suolo di **categoria B**.

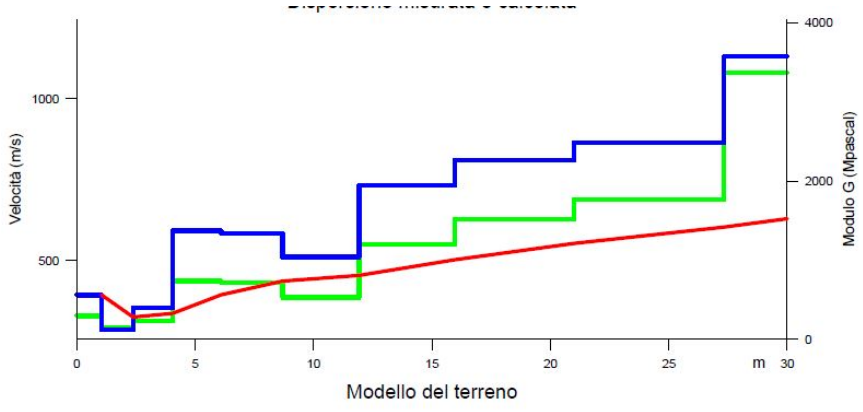


TABELLA DI CALCOLO

Da Prof.	a Prof.	Vs	Hi/Vi	VsX	G
0	1.1	393	.0027	393	293
1.1	2.4	286	.0046	326	146
2.4	4	354	.0047	337	232
4	6.1	592	.0035	394	733
6.1	8.7	584	.0044	436	710
8.7	11.9	511	.0063	454	525
11.9	16	732	.0055	503	1197
16	21	810	.0062	553	1514
21	27.3	864	.0073	603	1765
27.3	30	1131	.0024	629	3368

VALORE CALCOLATO VS30 = 629 m/s

Figura 15: *schema di modello del terreno sulla base dell'indagine MASW (settembre 2009). In blu è indicata la velocità sismica delle onde (m/s) , in verde è indicato il modulo di taglio G (MPa), in rosso è indicato la VsX*

Sulla base della classificazione sismica ottenuta e delle coordinate geografiche del sito in esame nonché delle caratteristiche topografiche, ed altri parametri relativi alla nuova costruzione in oggetto, è possibile definire gli spettri di risposta in accelerazione per ogni stato limite (di esercizio e ultimo) considerato. In funzione dello spettro di risposta sarà quindi possibile determinare l'azione sismica, ai sensi del D.M. 17/01/2018.

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 che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. (§ 3.2 NTC-18).

Individuata la categoria del sottosuolo, si procede alla valutazione delle condizioni topografiche al fine di valutare l'amplificazione sismica locale (tabella seguente).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15°$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15°$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15° \leq i \leq 30°$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30°$

Il sito in esame appartiene alla categoria T1.

E' necessario inoltre, al fine di valutare gli spettri di risposta per i diversi stati limite, fare alcune considerazioni di carattere generale sull'opera che si va a realizzare.

In primo luogo deve essere definita la vita nominale della struttura V_N: *"La vita nominale di un'opera strutturale V_N 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 Tab. 2.4.I (§ 2.4.1 NTC-2018)".*

Si riporta di seguito la tabella utilizzata per la definizione di V_N

Tab. 2.4.I – *Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni*

	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

L'opera in progetto ricade nella seconda categoria, pertanto si considera una vita nominale pari a 50 anni.

Per valutare il periodo di riferimento per l'azione sismica è necessario definire il coefficiente d'uso funzione della classe di uso della struttura in progetto (§ 2.4.3 NTC-18).

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

La struttura ricadrebbe in Classe d'uso II a cui corrisponde un coefficiente d'uso C_u=1.

In relazione alle considerazioni fino ad ora esplicitate, è possibile calcolare gli spettri di risposta partendo dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;

F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri sono forniti per una serie di punti sul territorio, e possono essere opportunamente interpolati. A tal proposito é stato utilizzato il supporto informatico denominato "Geostru PS" della Geostru Software che permette un calcolo agevole dei parametri a_g, F_o, T_c e degli stessi spettri di risposta.

Si riportano di seguito i parametri di progetto relativi all'azione sismica per i diversi stati limite, inerenti il sito indagato ubicato nel Comune di **Bordighera (IM):**

Indirizzo

Bordighera, Rio Borghetto

WGS84: Lat 43.789690 - Lng 7.658056

ED50: Lat 43.790679 - Lng 7.659118

Stati limite

Classe Edificio: II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.025	2.533	0.187
Danno (SLD)	50	0.037	2.607	0.205
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.134	2.445	0.290
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.180	2.485	0.305
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 — us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: B

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,54	1,51	1,41	1,40
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]: 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.006	0.009	0.039	0.052
kv	0.003	0.004	0.019	0.026
Amax [m/s²]	0.299	0.434	1.575	2.122
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

6.6. SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

Per liquefazione si intende un processo di accumulo della pressione del fluido interstiziale che in un terreno saturo non coesivo (sabbia, ghiaia, limo non plastico) causa la diminuzione della resistenza e/o rigidezza a taglio a seguito della presenza di carichi superficiali o dello scuotimento del suolo (terremoti), potendo dar luogo a deformazioni permanenti significative. La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno, a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità. La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che riempie gli interstizi arriva a uguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. Una volta che si è innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.

C'è da dire, inoltre, che tale fenomeno può manifestarsi in vari modi, principalmente:

- diffusione;
- scorrimento fluido;
- perdita di portanza.

La diffusione la si ha quando uno strato superficiale comincia a muoversi su quello sottostante a causa della liquefazione di quest'ultimo.

Lo scorrimento fluido lo si ha quando porzioni di terreno vengono letteralmente trasportati dalla massa liquefatta in movimento. E' un fenomeno che può verificarsi sovente in terreni costituiti da sabbie sciolte e, ovviamente, in siti sottofalda e sottomarini. Per quanto pericoloso, lo scorrimento fluido è un fenomeno meno devastante del precedente, dato che le forze impresse dal flusso sono minori di quelle che competono al terreno soggetto a diffusione.

La perdita di capacità portante è dovuta alla perdita di resistenza a taglio del terreno, la quale conduce a grandi deformazioni superficiali.

Sono suscettibili alla liquefazione:

- i suoli non coesivi e saturi (sabbie e limi, occasionalmente ghiaie) con contenuto di fini plastici relativamente basso (meno del 15%);
- i suoli costituiti da particelle relativamente uniformi (predomina una dimensione delle particelle);
- i depositi sabbiosi recenti (età Olocenica).

Le norme NTC del D.M. 17/01/2018 al Capitolo 7.11.3.4.2 indicano che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti quattro circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60 > 30 oppure qc1N > 180 dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3,5 ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3,5. (Uc rapporto D60/D10, dove D60 e D10 sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa).

Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO

La caratterizzazione geomeccanica dei terreni è stata eseguita al fine di fornire dei parametri dei terreni per i calcoli geotecnici e per le verifiche strutturali delle opere in progetto.

7.1. PARAMETRI GEOTECNICI

I principali parametri utilizzati per caratterizzare i materiali presenti nell'immediato sottosuolo dell'area oggetto d'indagine ed interessati dalle opere fondazionali delle opere in progetto, sono stati stimati (stima cautelativa del valore del parametro appropriato) sulla base dei soli dati provenienti dalle prove SPT (Standard Penetration Test) eseguite all'interno del sondaggio S1 realizzato nel mese di luglio 2009, lungo l'alveo del Rio Borghetto all'incrocio tra la Via Pasteur e la Via Romana, in quanto trattasi dell'indagine geognostica più vicina all'area interessata dalle opere in progetto.

Nella seguente tabella sono stati schematizzati i livelli litostratigrafici riscontrati durante la perforazione del sondaggio S1 e i relativi valori (numero di colpi) inerenti le prove SPT eseguite all'interno del foro.

Campagna di indagini del 2009

Sondaggio S1 (testa foro = fondo alveo)

Profondità (m)	Materiale	PROVA SPT		
		quota (m)	N	N_{SPT}
0.00-0.20	Soletta in cls			
0.20-0.80	Terreno di riporto: prevalenza di ghiaia sabbiosa in matrice limosa			
0.80-1.60	Ghiaia con clasti in matrice sabbioso-limosa	1.50	17-28-35	63
1.60-4.70	Ghiaia con ciottoli di calcare marnoso	3.00	13-30-RIF	>80
4.70-6.40	Ghiaia sabbiosa con ciottoli e discreto grado di ossidazione	6.00	19-35-40	75
6.40-7.20	Limo sabbioso con ghiaia alterata			
7.20-9.00	Argilla limosa, platica moderatamente consistente			
9.00-10.20	Calcare marnoso scaglioso	9.00	25-13-15	28
10.20-11.90	Argillite laminata e/o fissile moderatamente consistente	11.30	13-15-18	33
11.90-14.10	Calcarenite litoide con fratture			
14.10-15.20	Calcare marnoso litoide a frattura concoide			
15.20-19.70	Calcare marnoso scaglioso sub-litoide con discreto grado di alterazione	15.30 18.00	21-28-37 30-RIF	65 >80
19.70-20.00	Argillite laminata sub-litoide			

L'analisi dei dati indicati nella precedente tabella evidenziano che i depositi fluviali di natura ghiaioso-ciottolosa presenti nell'alveo del Rio Borghetto fino alla profondità di circa 6.40 metri dal piano del fondo alveo sono caratterizzati da un ottimo grado di addensamento come testimoniato dagli elevati valori di N_{SPT} riscontati (da N_{SPT} = 65 a N_{SPT} >80).

I materiali presenti immediatamente al di sotto dei depositi fluviali ghiaioso-ciottoli (argille limose, calcari marnosi scagliosi, argilliti laminate presenti fino alla profondità di circa 11.90 m) sono caratterizzati da un buon grado di addensamento con valori di N_{SPT} = 28 a N_{SPT} =33, ma senza raggiungere i valori dei depositi fluviali soprastanti.

Al di sotto sono presenti i calcari marnosi che caratterizzano il Flysch di San Remo che sono caratterizzati da un elevato grado di consistenza come evidenziato, anche in questo caso, dagli elevati valori di N_{SPT} riscontati (da N_{SPT} = 63 a N_{SPT} >80).

Per caratterizzare il terreno presente a tergo del muro attuale ubicato in sinistra orografica, immediatamente a monte dello scatolare di Via Cesare Augusto, sono stati invece utilizzati, non essendo state effettuate in questa fase ulteriori indagini geognostiche rispetto a quelle effettuate negli anni 2009-2011, i dati della prova SPT eseguita nel sondaggio S3 (Agosto 2009), essendo il più vicino all'area oggetto di indagine (realizzato nell'area parcheggio tra Via Pasteur e Via A. Moro), che alla profondità di 3.20 metri, all'interno di terreno di riporto e di depositi limoso sabbiosi debolmente argillosi, ha fornito i seguenti valori di N_{SPT}:

Profondità (m)	Materiale	PROVA SPT		
		quota (m)	N	N_{SPT}
0.00-4.00	Terreno di riporto e limo debolmente argilloso con subordinati livelli di sabbie e ghiaie fini	3.20	5-7-7	14

L'analisi dei dati indicati nella soprastante tabella evidenziano che il terreno di riporto e i depositi limosi debolmente argillosi sottostanti sono caratterizzati da un basso a mediocre grado di addensamento come testimoniato dai ridotti valori di N_{SPT} riscontati (N_{SPT} = 14).

7.1.1.Stima dell'angolo di resistenza al taglio

I dati relativi alle prove SPT eseguite all'interno del sondaggio S1 e del sondaggio S3 (quest'ultimo esclusivamente per la prova SPT superficiale nel materiale di riporto) permettono di stimare, mediante formule empiriche di letteratura, il valore dell'angolo di resistenza al taglio (ϕ') dal valore di N_{SPT}.

Per la valutazione di tale parametro geotecnico (ϕ') è stata utilizzata la relazione del Road Bridge Specification:

$$\phi' = \sqrt{15N_{SPT}} + 15$$

dove N_{SPT} è il numero di colpi medio misurato nello strato.

Sulla base di tale relazione sono stati stimati i valori dell'angolo di resistenza al taglio (ϕ') che sono riassunti nella seguente tabella dove sono stati anche indicati gli altri parametri geotecnici principali caratteristici stimati relativi ai terreni presenti nell'immediato sottosuolo e negli immediati dintorni dell'area interessata dalle opere in progetto.

Tali parametri caratteristici sono riassunti nella seguente tabella:

Materiali	N_{SPT}	γ' (kN/m³)	ϕ' (°)	ϕ_{CV} (°)	c' (kPa)	c_u (kPa)
Terreno coltivo e di riporto	14	18	29	25-26	0	-
Depositi fluviali costituiti da ghiaie e sabbie con ciottoli	63-80	19	42	37	0	-
Calcare marnoso scaglioso argillificato e argilliti	28-33	20	35-37	30-32	-	10
Calcarenite litoide, calcare marnoso scaglioso e argilliti	65-80	24	42	37	-	20

dove:

γ': Peso di Volume

ϕ': Angolo di resistenza al taglio

ϕ_{cv}: Angolo di resistenza al taglio a volume costante (Lambe & Whitman, 1969)

c': Coesione drenata

c_u Coesione non drenata

Il valore dell'angolo di resistenza al taglio ϕ' stimato rappresenta un valore di picco che risulta non compatibile con i valori di Q_{limite} ottenibili. Infatti, secondo *Yamaguchi et al. (1977)*, il raggiungimento della Q_{limite} si ha in corrispondenza di elevate deformazioni, ovvero quando il comportamento del materiale incoerente risulta caratterizzato dall'assenza di variazioni di volume e la resistenza disponibile è quella corrispondente allo stato critico, individuato dall'angolo a volume costante (ϕ_{cv}). I valori dell'angolo a volume costante sono stati stimati sulla base di quanto indicato da *Lambe & Whitman (1969)*.

L'analisi dei parametri geotecnici caratteristici sopra stimati ed indicati nella tabella precedente evidenzia che i depositi fluviali ghiaioso sabbiosi con ciottoli presenti lungo il greto del Rio Borghetto e nell'immediato sottosuolo (primi metri) al di sotto dell'alveo del corso d'acqua sono caratterizzati mediamente da buoni parametri geotecnici. Il terreno di riporto e i depositi limoso sabbiosi debolmente argillosi, presenti a tergo dei muri di sostegno laterali all'alveo del corso d'acqua o lungo i tratti di sponde laterali non delimitati da manufatti antropici, sono invece caratterizzati da mediocri a scadenti parametri geotecnici.