



Regione Piemonte
Provincia del Verbano Cusio Ossola
COMUNE DI VOGOGNA



**INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO
IDRAULICO IN SPONDA SINISTRA DEL F. TOCE IN
LOCALITÀ CALAMI**

- cod. ReNDiS: 01IR029/MT -

- cod. CUP: B18H21000190002 - cod. CIG: B2FD9764D5 -

PROGETTO ESECUTIVO

Elab. GEO 1

**RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
GEOTECNICA**

COMMITTENTE: Amministrazione Comunale di Vogogna

Mergozzo, marzo 2025

Dott. Geol. F. D'Elia

STUDIO GEOLOGICO D'ELIA

Via Roma, 3/A - 28802 Mergozzo (VB) tel. e fax 0323/80206 e-mail geodeliaf@gmail.com

SOMMARIO

1. PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO	1
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE	4
4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED EVOLUZIONE QUATERNARIA	8
5. SITUAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA LOCALE.....	10
6. BREVI CENNI SUGLI EVENTI ALLUVIONALI STORICI E SULLA “MOBILITA’ DEL F. TOCE”	12
6.1 Fondovalle del F. Toce.....	12
6.2 Commento della Carta di mobilità nel tempo dell’alveo del F. Toce.....	14
7. EFFETTI DEGLI ULTIMI EVENTI ALLUVIONALI NEL TERRITORIO DI VOGOOGNA (1977÷2000).....	16
8. EVENTO ALLUVIONALE DEL 2-3 OTTOBRE 2020	17
8.1 Informazioni di carattere generale.....	17
8.2. Effetti dell’evento alluvionale nel territorio di Vogogna.....	20
8.2.1. Reticolo idrografico minore – immissione nel fondovalle.....	20
8.3. Esondazioni del F. Toce	21
8.3.1. Località Calami, sinistra idrografica del F. Toce.	21
8.3.2. Sud-Est della Loc. Calami, piana alluvionale in avvicinamento a Premosello.....	22
8.3.3. Periferia meridionale di Vogogna e S.P. per Premosello.....	22
9. VINCOLI PUBBLICISTICI PRESENTI SULLA ZONA D’INTERVENTO	24
9.1 Cartografia P.A.I. – Fasce Fluviali	24
9.2 Mappe di Pericolosità della Direttiva Alluvioni	24
9.3 Parco Nazionale della Val Grande	25
10. INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE IN SITO E RICOSTRUZIONE DELLA SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA DEI DEPOSITI DI COPERTURA.....	26
10.1. Prove penetrometriche: generalità sulla metodologia di prospezione.....	26
10.2 Interpretazione dei dati penetrometrici	28
10.3. Dati pregressi e confronto con i dati attuali	28
11. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE.....	30
11.1 Caratterizzazione geotecnica.....	30
11.2 Caratterizzazione sismica.....	31
12. OPERE DI MITIGAZIONE IN PROGETTO: CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E VERIFICHE DI STABILITÀ DELLE SCARPATE DEL RILEVATO ARGINALE.....	35
12.1 Caratteristiche costruttive	35
12.1.1 Scogliere in massi ciclopici – blocchi lapidei squadrati	35
12.1.2 Muri arginali in c.a.....	36
12.1.3 Rilevato arginale.....	36
12.1.4 Opere accessorie.....	38
12.2 Parametri geotecnici del rilevato arginale	39
12.3 Verifiche di stabilità del rilevato arginale	40
13. CAPACITÀ PORTANTE DEI TERRENI DI FONDAZIONE	42
14. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	43

1. PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO

Avendo l'Amministrazione Comunale di Vogogna la necessità di far realizzare un Intervento di Mitigazione del Rischio Idraulico in sx idrografica del F. Toce, in località Calami, affidava incarico alla Società d'Ingegneria SRIA S.r.l. – Studio Rosso Ingegneri Associati – di Torino, di redigere dapprima uno *“Studio finalizzato alla definizione delle criticità idrauliche generate dal Fiume Toce in Comune di Vogogna e relativa proposta di interventi di mitigazione del rischio idraulico, alla luce degli estesi allagamenti provocati dall'evento alluvionale dell'ottobre 2020”*, quindi della Progettazione degli “Interventi di Mitigazione del Rischio Idraulico in sponda sinistra del F. Toce”, e, con Determinazione del Servizio Opere Pubbliche n. 17 del 11-09-2024, conferiva incarico allo Studio Geologico D'Elia Francesco di Mergozzo, di eseguire le indagini geologiche, idrogeologiche e geotecniche a supporto della Progettazione Esecutiva e Collaborazione alla D.L.

A tal fine ci si è attivati, dapprima partecipando ad una serie di incontri con gli Amministratori e Tecnici Comunali, con i Progettisti e con i Funzionari del Settore Tecnico Regionale, prendendo visione della Proposta d'Intervento (maggio 2022) e del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica (dicembre 2024), quindi effettuando taluni sopralluoghi nelle aree interessate dalle opere di difesa e mitigazione del rischio idraulico, al fine di rilevare le peculiarità geomorfologiche, idrogeologiche ed idrologiche dei luoghi, a cui è seguita la fase delle indagini geognostiche in sito, mediante esecuzione di un congruo numero di prove penetrometriche dinamiche, allo scopo di ottenere precise informazioni sulla stratigrafia dei depositi alluvionali su cui verranno impostate le “Opere di Mitigazione del Rischio Idraulico”, date da strutture arginali, sia in terra, sia in c.a., che in blocchi lapidei, che andranno a raccordarsi alle infrastrutture esistenti (rilevati ferroviari, muri, argine esistente lungo la sponda sx del F. Toce, ecc.).

In funzione della tipologia di opera arginale prevista, verranno fornite specifiche indicazioni sull'assortimento granulometrico dei materiali da utilizzare per la costruzione dei rilevati arginali, eseguendo appropriate verifiche di stabilità delle scarpate dei suddetti rilevati, allo scopo di ottimizzare le pendenze da assegnare ai materiali di riporto, in funzione dei parametri geotecnici che verranno attribuiti ai materiali prescelti.

Le presenti brevi note costituiscono la sintesi esplicativa di quanto emerso dalla ricerca bibliografica ed esame degli studi pregressi eseguiti dallo scrivente, relativi ai fenomeni di allagamenti avutisi durante gli ultimi eventi alluvionali e dalle elaborazioni e considerazioni sviluppate e sono state così strutturate:

- Inquadramento geografico, geologico e geomorfologico regionale;
- Situazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica locale;
- Brevi cenni sugli eventi alluvionali storici e sulla “Mobilità del F. Toce” negli ultimi 150 anni;
- Effetti degli ultimi eventi alluvionali interessanti il territorio di Vogogna;
- Vincoli Pubblicistici presenti sulla zona d'intervento;
- Indagini geognostiche eseguite in sito e ricostruzione della successione litostratigrafica dei depositi di copertura
- Caratterizzazione geotecnica e sismica dei terreni di fondazione;

- Capacità portante dei terreni di fondazione;
- Opere di mitigazione in Progetto: caratteristiche costruttive e verifiche di stabilità delle scarpate del rilevato arginale;
- Considerazioni Conclusive.

A completamento della presente Relazione Geologica, Idrogeologica e Geotecnica, nell'apposito Elaborato "**Geo2 – Allegati Tecnici**", vengono proposti i seguenti elaborati grafici:

- Estratto della "Carta geomorfologica..." del PRG di Vogogna, in scala 1:10.000;
- Estratto della "Carta della mobilità nel tempo del F. Toce..." del PRG di Vogogna, in scala 1:10.000;
- Estratto della "Carta degli eventi alluvionali pregressi" del PRG di Vogogna, in scala 1:6.000;
- Estratto della "Carta degli allagamenti – evento 2-3 ottobre 2020", in scala 1:5.000;
- Sovrapposizione tra aree allagate (evento 2-3/10/2020), Fasce fluviali PAI e PGRA, in scala 1:5.000;
- Opere di Mitigazione, inserite nel Parco della Val Grande;
- Planimetria degli interventi con ubicazione delle indagini geognostiche
- Istogrammi delle Prove Penetrometriche con documentazione fotografica;
- Verifiche di stabilità del rilevato arginale, con il metodo ILA;
- Tabulati di calcolo delle verifiche di stabilità;
- Tabelle di classificazione.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il territorio del Comune di Vogogna è ubicato nella media Valle Ossola, prevalentemente in sponda sinistra orografica del F. Toce; ha un'estensione di 15,24 Km² e confina con i seguenti Comuni:

- a Nord con Beura Cardezza;
- a Est con Premosello Chiovenda;
- a Sud con Premosello Chiovenda e Pieve Vergonte;
- ad Ovest con Pieve Vergonte, Piedimulera e Pallanzeno.

Esso è inquadrabile nella cartografia I.G.M., in scala 1: 25.000, nelle Tavole "Premosello Chiovenda" F° 15 II S.E., "Villadossola" F° 15 II S.O. e "Rumianca" F° 30 I N.O.; nella Carta Tecnica Regionale, in scala 1: 10.000, Sezioni 051160 "Vogogna" e 072040 "Rumianca".

Ad un primo esame delle caratteristiche morfologiche del territorio comunale, sono chiaramente individuabili una fascia di fondovalle, lambita ad Ovest ed a Sud dal F. Toce, pianeggiante o debolmente acclive in corrispondenza delle conoidi di deiezione allo sbocco delle valli laterali, ed il vasto territorio montano che occupa la maggior parte dell'area in esame.

La piana alluvionale occupa circa un terzo della superficie del territorio comunale e ne caratterizza la fascia occidentale e meridionale; è costituita da depositi fluviali del F. Toce, parzialmente interdigitati a materiali di deiezione trasportati dai torrenti tributari sia in sinistra idrografica (Rio di Prata, Rio Dresio, Rio Val delle Chiese), sia in destra (in particolare, T. Anza). La pianura alluvionale è attraversata dalle principali vie di comunicazione presenti nella zona (S.P. dell'Ossola; linee ferroviarie Milano-Domodossola e Novara-Domodossola), che si sviluppano prevalentemente in rilevato, con brevi tratti in viadotto o in galleria. Nella piana si trovano i tre principali centri abitati presenti nel territorio comunale (Prata, Dresio, Vogogna) e gran parte degli insediamenti di tipo produttivo, commerciale ed agricolo.

Nell'ambito del territorio montuoso si distinguono, per caratteri morfologici ed ambientali propri, le zone di Giavinello e Genestredo dai numerosi alpeggi e nuclei rurali.

Gli abitati di Genestredo e Colorie, ed il nucleo rurale di Giavinello sorgono su una zona di spalla glaciale (tra i 300 e 350 m s.l.m.), molto prossima al fondovalle principale e, in particolare, all'abitato di Vogogna; si tratta di aree caratterizzate dal pendenza limitata, sede in passato di attività agricole e agro-pastorali, e circondate da versanti acclivi.

I nuclei rurali di *Capraga*, *Sasso Termine*, *A. Pianoni*, *A. Marona*, (citandone solo alcuni) occupano settori montani (generalmente sopra i 700 m s.l.m.), dove il modellamento glaciale ha prodotto un locale addolcimento della morfologia con condizioni più favorevoli allo sviluppo di attività agro-silvo-pastorali ormai quasi del tutto abbandonate.

Il restante territorio montano si caratterizza, in generale, per gli elevati gradienti topografici: il maggiore rilievo, il P.^{zo} delle Pecore, raggiunge quota 2013 m s.l.m. con un dislivello di ca.1800 m rispetto al fondovalle principale.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

La regione alpina, nel cui ambito ricade l'areale in esame, è stata caratterizzata da condizioni di elevata mobilità durante buona parte della sua storia geologica con alternanza di eventi geodinamici contrastanti. In estrema sintesi, l'evoluzione pre-alpina è segnata dapprima da una lunga orogenesi paleozoica (? 450-300 Ma), riferita secondo le varie tesi ai cicli cadomiano, panafricano, caledoniano e varisico (ercinico), e quindi da un periodo di distensione litosferica (290-150 Ma) che culmina nel rifting continentale e nell'espansione dei bacini oceanici della Tetide. Le condizioni convergenti riprendono nel Cretacico con l'orogenesi alpina, comunemente suddivisa in tre stadi principali (eoalpino, mesoalpino e neoalpino).

Le Alpi hanno una struttura crostale a doppia vergenza, cioè sono formate da due catene a falde che si sono propagate in senso opposto; vengono distinte in una catena a vergenza europea, o catena alpina in senso stretto, costituita da una sequenza di sistemi tettonici traslati, a partire dal Cretacico, verso l'avanpaese europeo (in media verso NW), ed un sistema tettonico meridionale che dal Neogene assume una prevalente vergenza africana (verso Sud), noto con il termine di Alpi Meridionali o Subalpino.

La catena alpina a vergenza europea è suddivisa in alcuni elementi strutturali maggiori (sistemi tettonici) formati da gruppi di falde caratterizzate da una analoga storia cinematica o che rappresentano, in accordo con le concezioni tradizionali, i resti di bacini mesozoici distinti, ubicati in specifici domini paleogeografici della Tetide. Con riferimento alla struttura attuale della pila delle falde si osservano, in successione dall'alto al basso e procedendo dalle zone interne della catena verso l'avanpaese meso-europeo:

- i sistemi Austroalpini delle Alpi occidentali ed orientali;
- i sistemi tettonici della Zona Pennidica (superiori/interni, intermedi ed inferiori/esterni), dominanti nelle Alpi centro-occidentali, cui si associano, a vari livelli strutturali, alcune unità ofiolitiche mesozoiche di origine oceanica;
- il sistema Elvetico-Delfinese, molto esteso nel settore esterno delle Alpi occidentali e centrali, ridotto ad una fascia sottile e discontinua in quelle orientali;
- il bacino della molassa (avanfossa), prisma di sedimenti oligocenico-neogenici che si estende dal lago di Ginevra a Vienna, in parte scagliato e traslato sotto il settore frontale del sistema Elvetico;
- le sottili falde di scollamento del Giura franco-svizzero.

Per quanto riguarda le Alpi Meridionali il fondamentale contributo dei dati geofisici sul sottosuolo della pianura padana ne ha dimostrata la generale alloctonia e la natura di catena neogenica a falde di basamento e copertura sud-vergenti. Il contatto tra le Alpi Meridionali e la catena a vergenza europea è tettonico: esse sono delimitate dal lineamento Periadriatico, sistema neogenico di fratture subverticali (a dominante carattere trascorrente) che si estende dalla linea del Canavese a quella del Tonale (Insubrica), della Pusteria, della Gailtal e delle Karawanken; in un breve tratto del settore nordoccidentale il lineamento si suddivide in due rami che delimitano la ristretta zona tettonica del Canavese, interposta tra Austroalpino e Sudalpino. Le unità Sudalpine si estendono sino al sottosuolo della pianura padana; il loro sovrascorrimento frontale sull'avanpaese neogenico padano-adriatico, privo a tratti di una avanfossa significativa, si avvicina

sensibilmente al fronte compressivo sepolto degli Appennini ed alla loro profonda avanfossa plio-quadernaria. Nel tratto orientale, le deformazioni neogeniche delle Alpi Meridionali interferiscono con il sistema paleogenico delle Dinaridi, vergente a SW.

Il territorio del bacino del F. Toce, descritto nel seguito, comprende le principali unità tettoniche della catena Europa-vergente, dall'Austroalpino al Pennidico inferiore, la Zona del Canavese e la sezione crostale più completa del basamento delle Alpi meridionali.

Percorrendo l'itinerario che dal Lago Maggiore risale la Val d'Ossola e termina in alta Val Formazza, è possibile osservare con grande continuità una sezione completa del basamento delle Alpi Meridionali, dalla Serie dei Laghi alla sottostante Zona Ivrea-Verbano, e l'intera catena alpina a vergenza europea (ad eccezione della Zona Elvetica), in successione dall'alto al basso sino alla cupola di Verampio. Per lunghi tratti la Val d'Ossola taglia quasi ortogonalmente i piani di scorrimento tra le varie unità tettoniche e questa situazione fa sì che i suoi versanti esponano sezioni naturali particolarmente significative. Sino a Domodossola la valle ha una classica forma glaciale ed il suo fondo roccioso è nascosto al di sotto di potenti sequenze di depositi alluvionali; il dislivello tra il Verbano ed il capoluogo ossolano è di soli 72 m. Tutte le valli laterali sono sospese e profondamente incise, nel tratto inferiore, dall'erosione fluviale. A monte del gradino roccioso che chiude la piana di Domodossola continuano vistosi gli effetti del modellamento glaciale, ma sono presenti anche svariate forme di incisione torrentizia subglaciale e postglaciale.

Il tratto terminale del bacino del F. Toce è impostato nei parascisti varisici della Serie dei Laghi, intrusi dai plutoni granitici permiani di Mottarone-Baveno e Montorfano, nonché da coevi filoni di composizione dioritica e granodioritica (appiniti Auct.).

Superata, presso Mergozzo, la linea del Pogallo (che disloca in trascorrenza la linea Cossato-Mergozzo-Brissago), si entra nella crosta inferiore della Zona Ivrea-Verbano.

La Zona Ivrea-Verbano è la più classica ed estesa sezione di crosta continentale profonda delle Alpi, oggi esposta, ma situata in origine in prossimità della zona di transizione tra crosta e mantello litosferico. Comprende due principali unità litologiche di età diversa.

La prima unità litologica (complesso kinzigitico) è formata dall'intima associazione di metapeliti (tra cui prevalenti paragneiss a biotite, granato e sillimanite, detti kinzigiti, ben esposti in particolare in prossimità della Chiesetta di Albo), vari tipi di metabasiti ad affinità tholeiitica (ben osservabili presso la cava di Anzola), marmi puri e a silicati (marmo di Candoglia) e rarissime quarziti a manganese il cui *fabric* metamorfico di alto grado è antecedente all'intrusione dei gabbri, che costituiscono la seconda unità della Zona Ivrea-Verbano.

Tale unità (complesso gabbriaco stratificato, formazione mafica principale), più recente e profonda rispetto al complesso kinzigitico, affiora con continuità a contatto con la linea del Canavese ed assume un'ampiezza molto rilevante (sino a 10 km) nel settore centrale e sud-occidentale della Zona Ivrea-Verbano. tra la Val Mastallone ed il Biellese; in Val d'Ossola un favorevole punto di osservazione dei litotipi che costituiscono

L'unità in esame, si trova in corrispondenza del conoide di deiezione del R. dell'Inferno, tributario di destra del F. Toce, alcuni chilometri a monte di Anzola.

L'unità è costituita da corpi gabbrici stratificati di età permiana (U/Pb). intrusi a livelli crostali profondi ed in parte riequilibrati in condizioni granulitiche. Lo sviluppo dei corpi gabbrici permiani è avvenuto all'interno (filoni strato iniziali) e soprattutto a letto del più antico complesso kinzigitico. il cui graduale sollevamento in condizioni di distensione regionale consentiva la creazione di camere magmatiche sempre più grandi in cui si formavano i corpi stratificati maggiori. Con questo processo, detto di *underplating* magmatico, l'originaria crosta continentale Sudalpina (Serie dei Laghi e complesso kinzigitico) ha potuto accrescersi in modo cospicuo. L'insediamento di magmi molto caldi (provenienti dal mantello) alla base delle metapeliti del complesso kinzigitico di tetto è la causa più probabile dei diffusi processi di anatessi crostale riscontrati in queste ultime e del coevo magmatismo granitico e riolitico diffuso nella crosta superiore della Serie dei Laghi.

Il corpo gabbrico comprende, specie in prossimità della linea del Canavese, alcune scaglie di peridotiti di mantello sottocontinentale (fabric tettonico), perlopiù in facies a spinello (Baldisserro, Balmuccia, Finero). Si tratta di relitti dell'originario substrato dei corpi gabbrici, come attestato dalla presenza di locali contatti intrusivi.

Nella Zona Ivrea-Verbano il metamorfismo pre-alpino aumenta di grado verso N, passando dalla facies anfibolitica a quella granulitica (la trasformazione si verifica nei pressi della cava di Anzola); il metamorfismo alpino, di norma assente nelle Alpi Meridionali, compare tuttavia al margine esterno della Zona Ivrea-Verbano, in una fascia molto laminata che fiancheggia la linea del Canavese, tratto del lineamento Periadriatico che separa le Alpi Meridionali dalla catena a vergenza europea.

Tale fascia si configura come una stretta zona di miloniti e filoniti alpine (Scisti di Fobello-Rimella, osservabili nella panoramica che abbraccia P.^{zo} delle Pecore, sopra Premosello), derivate da litotipi delle due unità di basamento a contatto: Zona Ivrea-Verbano e Zona Sesia-Lanzo (Austroalpino); vi si intercalano sporadiche lame di rocce permo-mesozoiche attribuite alla Zona del Canavese s.l.

Risalendo verso Villadossola la valle incide la "zona radicale" della catena a vergenza europea, costituita da falde Austroalpine, Piemontesi e Pennidiche medio-superiori; rispetto alla Valle d'Aosta e al Vallese tali falde sono tuttavia ridotte, in Val d'Ossola, ad una successione di unità sottili che immergono con forte pendenza (steep belt) verso NW, con assetto quindi retroflesso e rovesciato. Il raccordo avviene tramite la grande struttura antiformale di Vanzone una gigantesca piega di terza fase che deforma la pila delle falde. Questa struttura è affiancata, verso N, dal grande sistema sinformale di Antrona, seguito dalla antiforme del Trifhorn, dalla sinforme del Mittaghorn ed infine dalla mega-antiforme retroflessa del Mischabel, visibili sulle varie quote dell'articolato versante destro idrografico dell'Ossola e nel contiguo settore svizzero. Sul lato sinistro idrografico della valle principale queste unità spariscono al di sopra della superficie topografica per effetto della culminazione Ossola-Ticino.

A Villadossola compaiono le ofioliti a metamorfismo alpino della Zona di Antrona, esclusive di questo settore della catena alpina. Nonostante lo spessore, a volte molto ridotto, esse si interpongono con continuità tra il Monte Rosa ed il sottostante sistema Camughera-Moncucco-Orselina.

Il sistema Camughera-Moncucco-Orselina è ben esposto sul versante lungo la strada da Villadossola verso Domodossola. Tale sistema appartiene al sistema del Pennidico medio del Gran San Bernardo.

Superata, tra Domodossola e Crevoladossola, la linea del Sempione, sepolta sotto le alluvioni, si entra nel dominio Pennidico inferiore. La sua struttura generale comprende, da SE a NW (arrivando fino alla Svizzera), la piega coricata di Antigorio, le sottili lame del Lebendun, l'inviluppo duttile del lembo di Berisal entro il Monte Leone e la sinforme di falde nel settore esterno. Ci troviamo alla confluenza delle valli sospese del Diveria (Val Divedro), del Toce (Valle Antigorio-Formazza) e dell'Isorno, ove ha termine il lungo tratto pianeggiante della Val d'Ossola. Si passa da una larga e profonda valle glaciale, il cui fondo è colmato da depositi alluvionali, ad un settore con morfologia più articolata, frutto degli effetti combinati del modellamento glaciale e dell'azione erosiva del reticolato idrografico.

Per quanto riguarda la cartografia geologica ufficiale, l'area in esame è illustrata nel foglio n°15 "Domodossola" della Carta Geologica d'Italia, in scala 1: 100.000.

4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED EVOLUZIONE QUATERNARIA

Il territorio in esame appare dominato dagli effetti dell'azione morfogenetica di grandi apparati glaciali che, a più riprese nel Pleistocene, hanno modellato le vallate dell'Ossola, sovraescavando sistemi lacustri ed accumulando grandi sistemi morenici, cerchie allo sbocco nella Pianura Padana, morene laterali e di fondo sulle pendici montuose e nei fondovalli.

Nel caso della valle del F. Toce, la dinamica glaciale, con ripetuti cicli di espansione e ritiro di imponenti masse glaciali, ha condotto alla formazione di una tipica sezione ad "U", caratterizzata da versanti a pendenza elevata e da un ampio fondovalle.

L'impronta glaciale determina le peculiarità delle forme vallive: nei fianchi si distinguono una zona inferiore assai ripida, a volte con pareti subverticali, interrotta a mezza costa da una rottura di pendio se non, addirittura, da veri e propri terrazzi (spalle glaciali), prodotto dell'esarazione glaciale prima e del successivo accumulo di depositi morenici.

L'intervento antropico è diffuso in queste fasce di versante a minore acclività (spesso terrazzate per essere assoggettate ad un migliore e più razionale sfruttamento agricolo), sedi di nuclei abitati (nel territorio comunale di Vogogna si tratta di Genestredo, Colorie e Giavinello) o di alpeggi per l'allevamento del bestiame.

All'azione morfogenetica glaciale ha fatto seguito quella legata alla dinamica torrentizia dei corsi d'acqua, caratterizzati, lungo le valli laterali, da intensa attività erosiva con approfondimento più o meno marcato delle incisioni e parziale obliterazione dei tratti morfologici di impronta glaciale.

Nonostante l'intensa attività erosiva operata dalle acque incanalate, che conferisce alle valli laterali il classico profilo a "V", molte valli secondarie, al loro sbocco nella valle principale, risultano tuttora in parte sospese.

In corrispondenza dello sbocco delle valli laterali nel fondovalle alluvionale del F. Toce, lungo tutto il suo sviluppo, si trovano conoidi di deiezione.

Le conoidi di deiezione si formano per accumulo del materiale solido, eroso e trasportato dai torrenti nei tronchi montani; i materiali convogliati dalla corrente si depositano rapidamente allo sbocco delle valli, dove generalmente si ha una forte diminuzione della pendenza dell'alveo e, conseguentemente, della capacità di trasporto del corso d'acqua.

Lungo il corso della Valle Ossola, le maggiori strutture di deiezione sono quelle legate all'attività dei tributari in destra orografica, tra le quali figurano le conoidi del T. Bogna, del T. Ovesca, del T. Anza, del Rio S. Carlo e del T. Strona, mentre, in sinistra idrografica, si hanno quelle del T. Isorno e del T. Melezzo Occidentale ed altre di minori dimensioni (tra cui T. Ogliaana, Rio Crot, Rio del Ponte, e, nella zona di Vogogna, Rio Prata, Rio delle Chiese e Rio Dresio).

Nell'ambito di queste strutture deposizionali si nota una classazione granulometrica in senso longitudinale: passando dai settori apicali a quelli distali, i depositi sono caratterizzati da una progressiva diminuzione nelle dimensioni dei ciottoli e nella granulometria della matrice.

Infine, la pianura alluvionale, alla cui formazione hanno concorso sia i passati cicli glaciali, sia la dinamica fluviale, è formata dai sedimenti alluvionali costituiti da materiali sciolti, a granulometrie fortemente eterometriche, variamente commiste. In particolare, l'assortimento granulometrico che caratterizza le alluvioni del F. Toce varia da monte a valle: nei settori medio-alti della pianura alluvionale predominano sedimenti ghiaioso-ciottolosi a matrice sabbiosa, mentre avvicinandosi alla foce prevalgono sequenze di sedimenti medio-fini, dati da sabbie debolmente ghiaiose e sabbie limose.

Nella piana del F. Toce lo spessore dei depositi alluvionali è rilevante, superando, localmente i 150 m.

Vanno infine ricordati i processi legati alla dinamica gravitativa dei versanti rocciosi, con crolli di porzioni lapidee e la formazione di accumuli detritici grossolani al piede di versanti acclivi.

L'erosione e la disgregazione dei versanti in roccia sono favorite oltre che dalla presenza di famiglie di superfici strutturali che disarticolano gli ammassi, anche dai processi crioclastici.

5. SITUAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA LOCALE

A grande scala, il territorio comunale è suddiviso in due ambienti, morfologicamente e litologicamente distinti tra loro, costituiti dal versante montuoso, con substrato roccioso qui ascrivibile alla formazione degli Scisti di Fobello-Rimella (micascisti muscovitici e gneiss granitoidi, localmente intercalati da filladi e quarziti), caratterizzato da un'accentuata acclività generale, addolcita solo nella fascia prossima al fondovalle per la presenza di estese placche di depositi incoerenti, mentre, al piede del versante, si estende la potente coltre di materiali depositati dalla dinamica del F. Toce e dall'attività torrentizia dei suoi affluenti, i quali hanno costruito estese e ben evidenti conoidi di deiezione ed un potente materasso alluvionale.

L'area oggetto di indagine è situata a Sud dell'abitato di Vogogna capoluogo, estendendosi dal settore Sud-occidentale a quello Sud-orientale della loc. Calami, corrispondente al settore di piana alluvionale, compreso tra il F. Toce a Sud-Ovest ed il rilevato della linea ferroviaria Milano-Domodossola a Nord-Est.

L'area d'intervento è impostata principalmente sulla piana alluvionale del F. Toce, ricadendo solo in parte sulle facies distali all'ampia conoide alluvionale, edificata dal Rio Val della Chiesa; morfologicamente, il settore in esame è pressoché pianeggiante, con presenza di talune blande ondulazioni nell'andamento del piano campagna, corrispondenti a testimonianze della passata attività fluviale, quali dossi e vallecole relitte; in particolare, le Opere Arginali di Mitigazione del Rischio Idraulico si sviluppano dall'immissione del "ramo" non attivo della Tocetta, al margine degli Impianti Sportivi Comunali, nel Rio Val della Chiesa, e proseguono lungo l'alveo del suddetto corso d'acqua, dapprima in fregio a Via Calami e poi lungo via Dott. L. Trincarelli (un tempo Strada Comunale Porto di Megolo), prevedendo la costruzione delle Opere arginali su entrambe le sponde, che poi si sviluppano, con rilevato arginale, in direzione Est, per raccordarsi al rilevato ferroviario della Linea Milano – Domodossola.

Dal punto di vista geologico, i depositi alluvionali del F. Toce sono prevalentemente a granulometria da media a medio-grossolana, risultando costituiti da alternanze di sabbie, sabbie ghiaiose ed orizzonti ghiaiosi con ciottoli eterometrici arrotondati, con eventuale presenza di esigui livelli di sabbie limose; nel complesso, la sequenza litostratigrafica è formata da corpi tabulari, nastriformi o lentiformi, localmente interdigitati tra loro, costituiti da materiali a granulometria e permeabilità variabile; superficialmente, detti materiali risultano ricoperti da un orizzonte di terreno agrario discretamente sviluppato, in conseguenza dell'intenso sfruttamento agricolo di questi terreni.

Le acque di falda nella piana alluvionale, alimentate dai corsi d'acqua principali e dalle aste torrentizie minori che drenano i versanti, saturano l'acquifero, trovando vie di deflusso preferenziali, verticali ed orizzontali che, di fatto, risultano intercomunicanti, con livelli abbastanza prossimi al piano campagna nei settori di territorio più prossimi al F. Toce, soprattutto se morfologicamente depressi; invece, nei settori in esame, la soggiacenza della falda risulta essere dell'ordine di – 4,00 - 5,00 m dal p.c., come da dati disponibili, rilevati in corrispondenza di un pozzo per uso agricolo, ubicato nella zona d'intervento.

L'intera località Boschetto-Calami, in fregio al F. Toce, risulta protetta da un'opera di difesa idraulica, realizzata agli inizi degli anni '80 dal Magistrato per il Fiume Po, costituita da un imponente rilevato in materiali inerti con paramento esterno protetto alla base da una scogliera in blocchi; l'argine si innalza di circa 3÷4 m rispetto al p.c. retrostante, si trova in discrete condizioni di conservazione ed efficienza e localmente, avvicinandosi al F. Toce, risulta affiancato da una seconda opera di difesa, costituita da una mantellata in blocchi lastriformi.

Questo settore della piana alluvionale, viene attraversato dal canale del Rio Tocetta, un modesto canale in parte artificiale (probabilmente la traccia residuale di un paleoalveo secondario del F. Toce, o un'antica derivazione idraulica ad uso agricolo, di origine antropica, riportata dalla mappa Rabbini), che si sviluppa dalla loc. Boschetto in direzione Sud-Est e che, all'altezza della loc. Calami, dopo aver ricevuto i contributi del Rio Val della Chiesa, curva verso Sud, immettendosi nel F. Toce circa 700 m a Sud.

In generale, come risulta dall'analisi dell'idrografia storica, si può affermare che, nel corso degli ultimi 150 anni circa, l'asta principale del fiume Toce, a valle della confluenza del T. Anza ed all'altezza di Vogogna, presenta un andamento tendenzialmente unicursale, del tutto privo di evoluzioni rilevanti.

Il settore di piana alluvionale, comprendente le località Boschetto-Calami, è stato storicamente soggetto a quattro episodi di allagamento, rispettivamente nel 1977, 1978, 2000 e 2020: tra gli eventi precedenti la costruzione dell'argine sulla sponda sx, l'evento massimo per l'area in esame si è verificato nel 1977, ma va sottolineato il carattere anomalo dell'evento, da considerarsi come non ripetibile, essendo stato innescato dal crollo del ponte ferroviario della linea Novara-Domodossola, che provocò un effetto diga, con deviazione dei deflussi verso le zone di Boschetto e Calami; le acque di piena e di laminazione degli eventi alluvionali dell'agosto 1978, di ottobre 2000 e 2020, risalirono "contro corrente" il canale Tocetta, allagando le aree edificate latitanti e l'espansione della "piena" del 2020 si propagò, attraverso i fornicci e sottopassi dei rilevati ferroviari, anche oltre il rilevato della S.P. n. 166 dell'Ossola Inferiore.

In allegato, viene proposto un Estratto dell'Elaborato grafico denominato GEO 3 Carta Geomorfologica, dei Dissesti, della Dinamica Fluviale e del reticolo Idrografico minore – Fascia di Fondovalle.

6. BREVI CENNI SUGLI EVENTI ALLUVIONALI STORICI E SULLA “MOBILITA’ DEL F. TOCE”

6.1 Fondovalle del F. TOCE

1610

Fonti. Archivio Processi-Effetti Banca Dati Geologica (BDG), scheda 90912¹

Tipo di fenomeno. Attività fluviale e torrentizia.

Descrizione evento e danni. Alluvione provoca 32 vittime; molte case crollate e sepolte.

Interventi di sistemazione. Non indicati.

1640

Fonti. Archivio Processi-Effetti Banca Dati Geologica (BDG), scheda 90912²

Tipo di fenomeno. Attività fluviale e torrentizia.

Descrizione evento e danni. "Le acque toccavano le due montagne di là e di qua del Toce".

Interventi di sistemazione. Non indicati.

1834

Fonti. Archivio Processi-Effetti Banca Dati Geologica (BDG), scheda 95085.

Tipo di fenomeno. Piena fluviale.

Descrizione evento e danni. La piena del F.Toce, causata da piogge intense, distrugge il Ponte della Masone (ponte in legno su pile di pietra, formato da sei archi di 15 m di corda).

Interventi di sistemazione. Ricostruzione del ponte, avvenuta nel 1842.

1846

Fonti. Archivio Processi-Effetti Banca Dati Geologica (BDG), schede 95086-90912³.

Tipo di fenomeno. Piena fluviale, con trasporto solido.

Descrizione evento e danni. Il legname trasportato dalla piena del F.Toce, investe il Ponte della Masone (ponte in legno su pile di pietra, formato da sei archi di 15 m di corda), distruggendo due delle cinque pile. "Le acque toccavano le due montagne di là e di qua del Toce".

Interventi di sistemazione. Ricostruzione del ponte, avvenuta nel 1856.

1868

Fonti. Archivio Processi-Effetti Banca Dati Geologica (BDG), scheda 90912⁴.

¹ La notizia è riportata in calce alla scheda della BDG relativa alluvione del novembre 1951; non è chiaro se effetti così gravi siano da attribuirsi alla piena del F.Toce o non, piuttosto, ad attività del conoide del Rio Val delle Chiese (come riferito dalla scheda BDG 51787 che segnala, tra l'altro, per l'alluvione del 17 ottobre 1610, 13 vittime) o, ancora, alla concomitanza dei due fenomeni.

² La notizia è riportata in calce alla scheda della BDG relativa alluvione del novembre 1951.

³ La notizia è riportata in calce alla scheda della BDG relativa alluvione del novembre 1951.

Tipo di fenomeno. Attività fluviale e torrentizia.

Descrizione evento e danni. "Le acque arrivarono in piano a m 1.70".

Interventi di sistemazione. Non indicati.

1926, 3 dicembre

Fonti. Archivio Processi-Effetti Banca Dati Geologica (BDG), scheda 90894.

Tipo di fenomeno. Piena fluviale, con erosione di sponda e deviazione d'alveo.

Descrizione evento e danni. Il corso d'acqua compie un lento, vasto e profondo lavoro di erosione della sponda sinistra in *Regione Isola* (a cavallo della confluenza del Rio Val delle Chiese), asportando un tratto di terreno di circa un migliaio di metri quadrati. Il mutamento d'alveo del fiume (che ora forma una grande ansa) ha distrutto terreni coltivati ed altri ne minaccia sempre in sponda sinistra.

Interventi di sistemazione. Non indicati.

1948, 2 settembre

Fonti. Archivio Processi-Effetti Banca Dati Geologica (BDG), scheda 90915-51786.

Tipo di fenomeno. Piena fluviale, con vasti allagamenti.

Descrizione evento e danni. La piena del F. Toce, causata da piogge intense, raggiunge un livello rare volte superato, invadendo ed allagando vaste zone⁵ e danneggiando numerosi edifici. Lo sfondamento del *canale di Rumianca verso la Mesone*, accentua la violenza della piena.

Interventi di sistemazione. Non indicati.

1951, 12 novembre

Fonti. Archivio Processi-Effetti Banca Dati Geologica (BDG), scheda 90912.

Tipo di fenomeno. Attività fluviale e torrentizia, con vasti allagamenti.

Descrizione evento e danni. La piena del F. Toce⁶, causata da piogge intense, allaga una superficie di oltre 305 ettari che comprende il campo sportivo dell'Oratorio di Vogogna.

Interventi di sistemazione. Non indicati.

1977, 6-8 ottobre

Fonti. Archivio Processi-Effetti Banca Dati Geologica (BDG), schede 51218-51794-90961.

Tipo di fenomeno. Piena fluviale.

Descrizione evento e danni. La piena del F. Toce, causata da un nubifragio, provoca il cedimento del vecchio ponte ferroviario tra Vogogna e Pieve che viene a formare uno sbarramento a livello del ponte nuovo, situato

⁴ La notizia è riportata in calce alla scheda della BDG relativa alluvione del novembre 1951.

⁵ Le coordinate U.T.M. riportate dalla scheda indicano che l'area colpita si estende, soprattutto in sponda sinistra, grosso modo tra la confluenza del Rio Dresio e quella del Rio Val delle Chiese.

⁶ Dalla scheda della BDG non è chiaro se gli effetti siano da attribuire alla sola piena del F.Toce o ad una piena concomitante del F.Toce e del Rio Val delle Chiese.

più a valle; l'ostruzione dell'alveo determina la deviazione della corrente verso Vogogna, allagando le campagne e l'abitato (particolarmente colpita la *frazione Calami*, dove l'altezza dell'acqua supera i 2 m), con danni a numerosi edifici. Distrutto anche il *Ponte di Resiga*.

Interventi di sistemazione. Non indicati.

1981, 22 e 26 settembre

Fonti. Archivio Processi-Effetti Banca Dati Geologica (BDG), scheda 51793.

Tipo di fenomeno. Piena fluviale.

Descrizione evento e danni. La piena del F. Toce si manifesta con due colmi di piena separati, registrati rispettivamente il giorno 22 alle ore 22.40 ed il giorno 26 alle ore 21.20; l'altezza massima raggiunta dalle acque di esondazione è di 1.5 m (misura effettuata il giorno 27 alle ore 3.50). In entrambi gli eventi il corso d'acqua ha allagato tutta la sponda sinistra nel tratto compreso tra la *frazione Prata* e la *frazione Masone*, costringendo ad evacuare numerose abitazioni.

Interventi di sistemazione. Non indicati.

1983, 17 maggio

Fonti. Archivio Processi-Effetti Banca Dati Geologica (BDG), scheda 54510.

Tipo di fenomeno. Piena fluviale.

Descrizione evento e danni. La piena del F. Toce, causata da piogge alluvionali, provoca danni nel capoluogo con allagamento delle cantine delle scuole e di alcuni capannoni industriali.

Interventi di sistemazione. Non indicati.

6.2 Commento della Carta di mobilità nel tempo dell'alveo del F. Toce

Durante la predisposizione dello Studio Geologico Generale del P.R.G.C. era stato condotto uno studio approfondito finalizzato ad individuare le caratteristiche dell'idrosistema fluviale del F. Toce ed i suoi mutamenti nel tempo, estendendo l'analisi oltre i confini del territorio comunale in esame su entrambe le sponde del corso d'acqua, producendo un Elaborato grafico, denominato GEO 4 *Carta della Mobilità nel tempo dell'alveo del Fiume Toce*, di cui viene prodotto un Estratto proposto in allegato.

Lo studio era stato articolato nelle seguenti fasi:

- predisposizione di una base cartografica opportuna, utilizzando la *Carta Tecnica Regionale* (formato raster), in scala 1:10.000, Sezioni 051160 "Vogogna" e 072040 "Rumianca" ed ingrandendo il settore che rappresenta il fondovalle del F. Toce alla scala 1: 5.000;
- consultazione della cartografia storica riportata da pubblicazioni di settore, o depositata presso il Comune di Vogogna e confronto con la cartografia più recente (I.G.M., Carta nazionale della Svizzera, C.T.R.) al fine analizzare la mobilità nel tempo dell'alveo del F. Toce;

- analisi delle foto aeree allo scopo di individuare e cartografare anche le forme fluviali relitte riconoscibili al di fuori del territorio comunale e i tratti d'alveo attuale rettificati per intervento antropico;
- individuazione sul terreno di forme fluviali relitte "minori" e loro rappresentazione cartografica.

Erano stati rappresentati, inoltre, altri elementi che possono influenzare le modalità d'esondazione nel fondovalle, in quanto tendono a "confinare" il corso d'acqua (opere di difesa idraulica longitudinale e rilevati stradali e ferroviari), o che possono influire sulla dinamica delle acque di esondazione (aree rilevate in seguito ad intervento antropico).

Dall'analisi storica comparata dell'idrosistema in esame emergono le seguenti considerazioni:

- ✓ Nel corso degli ultimi 150 anni circa, l'asta principale del fiume Toce, nel territorio comunale di Vogogna, ha subito modifiche rilevanti all'altezza di Prata; l'attuale alveo, tendenzialmente unicursale, non presenta gli ampi meandri e le diramazioni che caratterizzavano il fiume nel periodo 1935/63 e sembra mostrare la tendenza a riassumere il tracciato indicato nella mappa Rabbini (1863).
- ✓ Nel corso dell'evento alluvionale dell'ottobre 2000, all'altezza dello sbocco del Rio Val della Chiesa-Tocetta, il F. Toce ha rioccupato le aree di sua competenza, così come risultano indicate nella cartografia relativa agli anni 1935/63.
- ✓ La mappa Rabbini riporta, all'altezza di Vogogna, uno stretto ramo, di larghezza pressoché uniforme che dapprima attraversa la loc. Boschetto e quindi ricalca, nella parte finale, l'attuale andamento del canale Tocetta; nonostante la ricerca di testimonianze o documenti a riguardo, non è stato possibile accertare se si trattasse di una diramazione naturale del F. Toce o di una derivazione idraulica ad uso agricolo, di origine antropica.
- ✓ Nella carta si nota che il T. Anza, nella zona di confluenza con nel F. Toce, era soggetto a divagazioni e ramificazioni (nel 1935 soprattutto verso Sud, nel 1963 nella parte Nord) nella zona attualmente protetta da opere di arginatura. Queste ultime, che ridisegnano la confluenza con il F. Toce, sono state realizzate successivamente all'evento alluvionale del 1978.

7. EFFETTI DEGLI ULTIMI EVENTI ALLUVIONALI NEL TERRITORIO DI VOGOGNA (1977÷2000)

Durante la redazione dello Studio Geologico Generale, a supporto del vigente P.R.G. di Vogogna, fu predisposto un Elaborato grafico, denominato GEO 9 *Carta degli eventi alluvionali pregressi, in scala 1:5000*, della quale viene prodotto un Estratto, proposto in allegato, evidenziante i limiti delle aree inondate nel corso degli Eventi Alluvionali più significativi tra quelli avutisi negli ultimi 50 anni.

Gli eventi ai quali ci si riferisce, i cui limiti sono stati ricostruiti sulla base di testimonianze verbali, sono quelli dell'ottobre 1977 e agosto 1978, messi a confronto con l'importante alluvione di ottobre 2000.

In particolare, l'alluvione del 1977 è stata presa in considerazione in quanto il crollo del ponte ferroviario della linea Novara-Domodossola (P.te della Resiga), tra Vogogna e Pieve Vergonte, provocò un effetto diga, sia con importanti rigurgiti verso monte, che con la deviazione dei deflussi verso le zone di Boschetto e dei Calami, determinando l'allagamento di tutta l'area situata ad Sud-Ovest del rilevato ferroviario della linea Milano-Domodossola.

A valle della confluenza Toce-Anza, vengono indicati solamente i limiti in sponda sinistra, in quanto in sponda destra le aree alluvionate oltrepassavano abbondantemente il confine comunale.

Dalla carta appare evidente l'influenza che hanno avuto sul territorio, successivamente al 1978, la costruzione, sia delle opere di arginatura, che del rilevato della nuova S.S. 33 del Sempione.

Per quanto riguarda le osservazioni in sito, svolte a seguito della piena del Toce dell'ottobre 2000, sono state circoscritte le aree esondate o allagate, specificando il grado di pericolosità dell'evento attraverso l'indicazione del codice identificativo del tipo di processo, in base a quanto riportato dalla "*Legenda Regionale Carta Geomorfologica e Dissesto*".

8. EVENTO ALLUVIONALE DEL 2-3 OTTOBRE 2020

8.1 Informazioni di carattere generale

Nel corso delle violentissime precipitazioni atmosferiche verificatesi il giorno 2 ottobre e nella notte tra venerdì 2 e sabato 3 ottobre, che avevano colpito il Piemonte e l'intero territorio del VCO, tra le varie forme di dissesto, si era verificata anche l'erosione del F. Toce nei territori della media e bassa Ossola, compreso il territorio del Comune di Vogogna ed in particolare nella zona del fondovalle, partendo da Ovest (Rio di Prata), sino al confine con il Comune di Premosello Chiovenda, ad Est.

Tale evento aveva superato per intensità quanto verificatosi nel corso di precedenti eventi storici, quale l'alluvione del 13-16 ottobre 2000, che era servita per la definizione del quadro del dissesto del P.R.G. adeguato al PAI

Facendo riferimento anche a quanto contenuto nella pubblicazione di ARPA Piemonte "Eventi alluvionali in Piemonte – Evento del 2-3 ottobre 2020", viene di seguito redatta una breve nota descrittiva di tale evento alluvionale.

Dalle analisi dei grafici relativi alle pressioni atmosferiche, si può determinare come, in generale, la Provincia del VCO fosse stata investita da un vortice di bassa pressione, con valori minimi intorno ai 970 hPa (ettoPascal); dalla distribuzione areale delle precipitazioni, considerando un arco di tempo di circa 36 ore, comprendente la tarda giornata di giovedì 1 ottobre e la prima parte della giornata di sabato 3 ottobre, possiamo identificare come zone maggiormente interessate dalle intense precipitazioni le aree del Cusio e della parte bassa dell'Ossola; queste precipitazioni avevano avuto inizio nella tarda serata di giovedì, proseguendo ininterrotte nella giornata di venerdì, aumentando di intensità nella notte tra venerdì e sabato, e arrivando a far cadere quasi 500 mm di acqua, in un periodo di 12 ore, nelle Stazioni di Rilevamento di Sambughetto in Comune di Valstrona e Candoglia in Comune di Mergozzo, epicentri di questi eventi meteorici.

Possiamo perciò affermare come un primo nucleo a forte concentrazione pluviometrica si fosse collocato in corrispondenza della Valle Strona, mentre un secondo importante nucleo può essere collocato nell'intorno della bassa valle del F. Toce (forte analogia con l'alluvione del settembre 1993).

Per la precisione, le Stazioni Pluviometriche avevano registrato i seguenti dati:

PRECIPITAZIONI REGISTRATE DALLE STAZIONI PLUVIOMETRICHE	Pioggia (mm)				
	Max 1 ora	Max 3 ore	Max 6 ore	Max 12 ore	Max 24 ore
SAMBUGHETTO (Valstrona)	66,4	171,2	303,4	491	619,6
CANDOGLIA-TOCE (Mergozzo)	57	138	272	486,2	592
MOTTARONE BAITA CAI (Stresa)	53,2	134	234,8	336,8	423,2
FOMARCO (Pieve Vergonte)	37,6	88,8	161,6	299,6	406,6
CICOGNA (Cossogno)	42	71,6	137,4	254,4	397,8
CESARA	47,8	98,6	169,2	294	351,2
ARVOGNO (Toceno)	30	79,2	146,8	256,8	341,2
ANZINO (Bannio Anzino)	24	63,8	123,4	228	325,6
PIZZANCO (Bognanco)	26,6	62,2	114	213	325,2
DRUOGNO	31,6	77,2	128,8	217	310,8
LARECCHIO (Montecrestese)	29	73,9	121,2	218,3	309,7

Dall'esame e confronto degli ietogrammi e le altezze di pioggia dell'evento, per le stazioni ritenute più significative, espresse in funzione delle diverse durate (1,3,6,12,24 ore), confrontate con le curve di possibilità pluviometriche di assegnato tempo di ritorno (5, 10, 20, 50, 100, 200 anni), si evince quali siano state le durate maggiormente critiche e permettono la determinazione del tempo di ritorno del fenomeno.

Nelle stazioni maggiormente coinvolte dalle precipitazioni, i tempi di ritorno stimati per le durate di 12 e 24 ore superano i 200 anni, confermando l'eccezionalità dell'evento. Si segnalano in particolare, le stazioni di Limone Piemonte (CN) e Sambughetto (VB) con valori estremi per tutte le durate

Per quanto riguarda i livelli idrici dei corsi d'acqua dell'area colpita, le intense e copiose precipitazioni avevano generato onde di piena eccezionali che, nel bacino del F. Toce, aveva superato i livelli di riferimento storici dell'evento di ottobre 2000.

Con le portate di piena generate dall'evento meteorologico del 2-3 ottobre 2020, per il F. Toce erano stati superati i livelli di pericolo lungo tutta l'asta principale e, alla stazione di Candoglia, si era registrato un colmo di 9.34 m, superiore al precedente livello massimo del 2000, che era di 9.16 m, corrispondente ad una portata di 2700 mc/s.

Il F. Toce, anche nella stazione di rilevamento di Domodossola, aveva fatto registrare un aumento del suo livello di circa 3,5 m rispetto al livello standard; comportamento simile anche per il T. Strona, che nella stazione di Gravellona Toce ha fatto misurare un aumento del livello idrico superiore ai 3,5 m rispetto alla media del periodo. Significativo l'aumento del livello idrico del T. San Bernardino, che aveva fatto registrare un aumento del livello di oltre 7 m. Tutto ciò ha portato ad un importante incremento del livello idrico del Lago Maggiore, arrivato a sfiorare i 6 m di aumento.

Nella seguente Tabella si mettono a confronto i dati relativi alle misurazioni del livello idrico (m) del F. Toce e del Lago Maggiore durante gli eventi alluvionali di settembre 1993, di ottobre 2000 e di ottobre 2020:

LIVELLO IDRICO (m oltre la media del periodo)	Alluvione 1993	Alluvione 2000	Alluvione 2020
Fiume Toce (Candoglia)	8.76 m	9.16 m	9.34 m
Lago Maggiore (Pallanza)	7.61 m	7.94 m	5.95 m

Dall'esame dei dati riportati nella tabella precedente, si può notare un'apparente discrasia: nel 2020, a fronte del massimo livello idrico registrato lungo il F. Toce, non si è avuto un incremento di altrettanta rilevanza del livello del Lago Maggiore, rispetto alle alluvioni del 1993 e del 2000.

Questo è dovuto al fatto che, il cospicuo apporto del F. Toce e dei suoi tributari al Lago Maggiore, aveva prodotto innalzamenti significativi ma, in ogni caso, relativamente contenuti, in quanto la precipitazione parossistica si era avuta in un tempo piuttosto ristretto e contenuto e, pertanto, il lago non aveva potuto assorbire più giorni continuativi di precipitazioni, come avvenuto nei precedenti eventi alluvionali del 1993 e del 2000.

Per quanto riguarda, invece, le portate di piena del F. Toce, si hanno i seguenti dati:

PORTATE (m³/s)	Alluvione 1993	Alluvione 2000	Alluvione 2020
Fiume Toce (Candoglia)	2560	2640	2700

I colmi di piena dell'evento lungo il F. Toce, confrontati con i valori ufficiali definiti nel PGRA per vari tempi di ritorno, permettono di indicare un Tempo di Ritorno compreso tra 50 e 100 anni (in particolare, il PGRA indica una portata di piena del F. Toce a Candoglia, pari a 2150 mc/s con Tr 20 anni e 3200 mc/s con Tr 200 anni).

Confrontando i dati relativi alle misurazioni del F. Toce a Candoglia eseguite per l'evento in esame, per l'evento del 2000 e per quello del 1993, e per quanto è stato possibile osservare sul campo (osservando le marche di piena ed ascoltando i resoconti dei testimoni oculari), i livelli raggiunti dall'evento alluvionale in esame hanno superato anche di parecchi decimetri i livelli registrati durante l'evento alluvionale dell'ottobre 2000.

Una particolarità che ha distinto l'evento alluvionale di ottobre 2020 dagli eventi del passato, è la repentinità con cui le precipitazioni erano aumentate nell'arco delle 36 ore: dalla precedente tabella delle precipitazioni, si può notare come, in un esiguo lasso di tempo (12 h), si fossero riversate in un'ampia area precipitazioni nell'ordine delle centinaia di mm; per tale motivo, le Autorità competenti ed il Servizio di Protezione Civile, si erano trovati in difficoltà nell'organizzare il dispiegamento di mezzi e uomini necessari per affrontare l'alluvione, nella stretta tempistica imposta dall'evento.

Conseguentemente, questo rapido afflusso di acque meteoriche aveva incrementato le portate dei corsi d'acqua fino a livelli, in alcuni casi, superiori a quelli registrati durante gli eventi alluvionali del passato, raggiungendo il massimo nella mattina di sabato 3 ottobre. Una volta raggiunto il massimo, con l'attenuarsi

delle precipitazioni, le portate erano diminuite drasticamente, tornando in breve tempo a far registrare livelli normali rispetto alle medie stagionali.

Di notevole rilevanza era stata anche l'azione dei forti venti che avevano accompagnato le intense precipitazioni ed avevano investito il territorio, provocando lo sradicamento ed il crollo, talvolta spezzandoli, di numerosi esemplari arborei, anche di grosse dimensioni; questi, uniti alle consistenti piogge avutesi, avevano innescato fenomeni di instabilità dei versanti, soprattutto in corrispondenza di depositi detritici accumulatisi lungo gli alvei di corsi d'acqua montani e/o linee di ruscellamento concentrato attivatesi lungo le vallecole morfologiche sui versanti montani, portando alla formazione di numerose frane, colate di fango e detrito lapideo-vegetale, come nei territori della Valle Strona (Massiola), Mergozzo (Albo e Pratomichelaccio), Ornavasso e Pieve Vergonte.

8.2. Effetti dell'evento alluvionale nel territorio di Vogogna

Nel territorio del Comune di Vogogna, l'evento alluvionale non aveva dato origine a fenomeni di dissesto di tipo gravitativo, né ad attivazione di violenta attività torrentizia del reticolo idrografico montano; in estrema sintesi, nell'ambito dell'intero versante montuoso, non erano stati registrati fenomeni che potessero comportare un aggiornamento del quadro del dissesto in tal senso.

8.2.1. Reticolo idrografico minore – immissione nel fondovalle

Tutti i corsi d'acqua del reticolo idrografico minore si erano attivati, con portate di piena e occasionalmente anche con trasporto solido, ma in nessun caso si erano verificati fenomeni di erosioni spondali, debris flow od esondazioni al passaggio tra il versante montuoso e la piana alluvionale.

Le portate di piena dei Rii principali (Rio di Prata, Rio Dresio, Rio Val della Chiesa) erano rimaste contenute nei rispettivi alvei canalizzati, in tutte le tratte di conoide, e tutti i rii minori non avevano provocato fenomeni di esondazione nell'ambito del fondovalle.

Gli unici fenomeni di "ricaduta" sul territorio, per tali corsi d'acqua, erano stati limitati alle zone di immissione nel F. Toce, allorché, a causa della rilevante portata di piena di quest'ultimo, vi erano stati fenomeni di mancato deflusso, anche per effetto degli intensi "rigurgiti", contribuendo ad incrementare gli effetti legati all'esondazione del F. Toce.

Qui di seguito vengono riportati gli effetti legati al mancato deflusso delle portate di piena del Rio Val della Chiesa, trascurando gli altri tributari del F. Toce.

Rio Val della Chiesa

Il corso d'acqua che attraversa l'abitato di Vogogna capoluogo, una volta a valle della linea ferroviaria Milano – Domodossola, raggiunge la località Calami, un settore della piana alluvionale estesamente edificato, protetto da un imponente arginatura in sponda sinistra del F. Toce. Il Rio Val della Chiesa si immette nel canale del Rio Tocetta, il quale a sua volta defluisce verso Sud, confluendo nel F. Toce, in corrispondenza della testata meridionale dell'arginatura.

Le portate di piena del F. Toce avevano “risalito” il canale della Tocetta, con un elevato fenomeno di rigurgito, allagando l’intera porzione meridionale della loc. Calami: l’estensione delle aree allagate ed i battenti d’acqua registrati, erano stati incrementati anche del mancato deflusso delle acque dei Rii Tocetta / Val della Chiesa.

8.3. Esondazioni del F. Toce

Come precedentemente illustrato, le intense e copiose precipitazioni e l’apporto del reticolo secondario, avevano generato lungo il F. Toce un’onda di piena eccezionale, con Tempo di Ritorno stimato tra i 50 ed i 100 anni, che ha superato i livelli di riferimento storici dell’evento di ottobre 2000; gli incrementi di livello erano stati repentini e, anche nelle sezioni di chiusura di bacini estesi, il colmo aveva raggiunto il massimo in 12 ore.

In linea generale, il fiume Toce, nell’ambito del fondovalle ossolano, aveva occupato gran parte della pianura intravalliva, causando allagamenti agli abitati di Pallanzeno, Vogogna, Premosello Chiovenda, Ornavasso, e Mergozzo, inoltre, l’acqua del fiume, defluendo attraverso i sottopassi delle arterie stradali e ferroviari principali, aveva invaso strade comunali, strade provinciali, edifici ed aree prative.

Nello specifico del territorio comunale di Vogogna, spostandosi da Nord a Sud lungo l’asse del F. Toce, erano stati registrati i seguenti effetti legati alle esondazioni del F. Toce, facendo anche riferimento all’Estratto della Tavola grafica allegata “*Carta degli Allagamenti e dell’altezza delle acque di esondazione*”, redatta in scala 1:5.000, con rilievi sul territorio sviluppati alla scala di Piano.

8.3.1. Località Calami, sinistra idrografica del F. Toce.

L’intera località Calami, data da un settore della piana alluvionale estesamente edificato, ad Ovest dell’abitato di Vogogna e della linea ferroviaria Milano-Domodossola, è protetta da un’arginatura in sponda sinistra del F. Toce, la quale si sviluppa dalla foce del Rio di Dresio (Nord), fino alla foce del Rio Tocetta, ove si interrompe per consentire il deflusso delle portate di tale corso d’acqua, che raccoglie anche le portate del Rio Val della Chiesa.

Le portate di piena del F. Toce avevano “risalito” il canale della Tocetta, allagando l’intera porzione meridionale della loc. Calami, con altezze dei battenti idrici compresi tra 0.10 m ÷ 1.20 m, nell’ambito del settore edificato (ove è stato possibile ricavare i dati di massima piena): l’estensione delle aree allagate ed i battenti d’acqua registrati, erano stati incrementati anche del mancato deflusso delle acque dei Rii Tocetta e Val della Chiesa.

A causa della presenza di aree riquotate antropicamente, per la costruzione di edifici residenziali sopraelevati rispetto al piano campagna, si era verificata una differenza nell’altezza delle marche di piena, anche nell’ordine di 1.0 m tra aree adiacenti tra loro; sempre a causa dei rimaneggiamenti antropici, era stato possibile registrare taluni battenti d’acqua superiori a 1.0 m, anche al margine dell’estensione delle aree allagate, laddove il piano campagna originale era stato sbancato per la realizzazione di locali seminterrati, annessi agli edifici residenziali.

La classificazione di Sintesi del P.R.G. vigente ascrive le “aree allagate” della zona Calami, alle Classi IIIB2 e IIIA, risultando coerente e compatibile con il dissesto verificatosi.

8.3.2. Sud-Est della Loc. Calami, piana alluvionale in avvicinamento a Premosello

Spostandosi a valle della confluenza del Rio Tocetta nel F. Toce, l'intera piana alluvionale compresa tra il F. Toce ed il rilevato ferroviario, era stata interessata dalle acque di esondazione in maniera estesa, senza soluzione di continuità fino al confine comunale con il territorio di Premosello Chiovenda, estendendosi anche nel territorio pianeggiante di Premosello.

Era stato possibile ottenere talune misure del battente delle acque di esondazione, nell'ambito della fascia edificata prossima alla loc. Calami, ad Est del Rio Tocetta, le quali erano risultate comprese tra 0.10 e 1.50 m rispetto al piano campagna naturale; analogamente alla località Calami, le riquotature di taluni settori edificati avevano influenzato la “magnitudo” dell'evento, riducendola localmente a pochi decimetri o, in taluni casi, ad avere edifici con piano terra abitabile non raggiunto dalle acque di piena, le quali avevano, invece, avuto allagati gli scantinati seminterrati.

Ulteriori differenze nell'altezza dei battenti d'acqua, sono dovute alle stesse ondulazioni del piano campagna; in linea generale, si può affermare che le acque di piena erano caratterizzate da un battente d'acqua all'incirca metrico, con variazioni legate alle irregolarità (naturali ed antropiche) dalla morfologia di questo settore della piana alluvionale.

Spostandosi nella piana ineditata ad Est, l'altezza del massimo battente idrico raggiunto dall'evento rimane incerta, sebbene sia stato possibile osservare, localmente, le marche di piena dell'evento, le quali sono risultate comprese tra 0.40 m e 1.50 m, variabili in funzione dei cambi di morfologia.

La classificazione di Sintesi del P.R.G. vigente ascrive le ampie porzioni allagate alla Classe IIIA; invece i limitati settori edificati, ad uso rurale, sono stati ascritti alle Classi IIIB2 e IIIB3, dove la Classificazione di Sintesi risulta essere coerente e compatibile con il quadro del dissesto verificatosi.

8.3.3. Periferia meridionale di Vogogna e S.P. per Premosello

Le acque di esondazione del F. Toce, nella piana alluvionale a Sud-Est del Rio Tocetta, si erano propagate attraverso i sottopassi del rilevato ferroviario, allagando le aree edificate della periferia meridionale di Vogogna (loc. “Porto di Megolo / S. Rocco”), con battenti d'acqua compresi tra 1.0 m e 1.40 m, quindi avevano raggiunto il rilevato della Strada Provinciale, il cui sedime è posto a quota superiore, arrivando ad esondare anche sulla strada stessa (battente massimo 0.60 m), propagandosi quindi nelle aree poste ad Est (stando a valle dei settori di conoide del Rio Val della Chiesa e dell'area riquotata ove è stato costruito l'Edificio Scuola Media di Vogogna), invadendo tutta la fascia pianeggiante, fino a raggiungere la base del versante montuoso, con altezze misurate comprese, indicativamente, tra 0.40 m e 0.90 m.

Le acque di esondazione, dopo aver aggirato un gruppo di terreni riquotati antropicamente, si erano quindi propagate in direzione di Premosello Chiovenda; i deflussi di piena si erano adattati alla morfologia dei luoghi, invadendo preferenzialmente le aree depresse al piede del versante montuoso, caratterizzate dal

piano campagna naturale (altezze comprese tra 0.50÷0.80 m), e allagando con battenti ridotti, o non raggiungendo le aree riquotate.

Avvicinandosi al confine Comunale con Premosello Chiovenda, il battente delle acque di esondazione si era ridotto gradualmente; anche in questo caso, la repentina riduzione del battente delle acque nella fascia compresa tra la Strada Provinciale ed il piede del versante montuoso, è riconducibile alla presenza di ampi settori riquotati per la realizzazione di taluni capannoni; infine, a ridosso del confine comunale, si erano avuti allagamenti limitati alla sola fascia depressa compresa tra i rilevati stradali e ferroviario.

La classificazione di Sintesi del P.R.G. vigente ascrive le porzioni allagate alle Classi II e IIIA; per quanto riguarda la Classe II, nella zona alla periferia meridionale dell'abitato di Vogogna, laddove si erano avuti battenti d'acqua ad energia ridotta ma altezze superiori a 0.40 m, questa non risulta compatibile con il quadro del dissesto avutosi durante l'evento di ottobre 2020; solo spostandosi verso Premosello Chiovenda, laddove l'altezza del battente d'acqua è risultata attorno a 0.10÷0.30 m, tale classificazione di Sintesi è compatibile con il quadro del dissesto.

A corredo della presente Relazione geologico-tecnica, è stato realizzato uno specifico elaborato cartografico denominato "*Carta delle aree allagate, a seguito dell'evento alluvionale 2-3 ottobre 2020, con altezze dei battenti idrici*", in scala 1:5000; tale elaborato è stato redatto utilizzando come base cartografica la medesima carta catastale impiegata per la cartografia di sintesi del vigente P.R.G.

9. VINCOLI PUBBLICISTICI PRESENTI SULLA ZONA D'INTERVENTO

9.1 Cartografia P.A.I. – Fasce Fluviali

Sulla Gazzetta Ufficiale dell'8/8/2001, è stato pubblicato il D.P.C.M. 24/05/2001, con cui si approvano le modifiche al Progetto di P.A.I., adottate dall'Autorità di bacino del F. Po, con delibera n. 18/01 del 26 aprile 2001; tali modifiche riguardavano, tra l'altro, la ridefinizione dei limiti tra la Fascia A e la Fascia B.

Successivamente, a seguito degli “*Studi di fattibilità della sistemazione Idraulica – Fiume Toce nel tratto da Masera alla foce*”, erano scaturite ulteriori proposte di modifica delle Fasce Fluviali; tali modifiche, avevano portato all'adozione, da parte del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino, dapprima di un “*Progetto di Variante del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Variante delle Fasce Fluviali del F. Toce e dell'Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici*”, approvato con delibera n. 12 del 31 luglio 2003, e quindi alla successiva adozione della “*Variante del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Variante delle Fasce Fluviali del F. Toce*”, approvato con delibera n. 15 del 5 ottobre 2004.

All'interno del Territorio di Vogogna, per quanto attiene alla porzione di territorio interessata dai previsti interventi di mitigazione del rischio idraulico, l'andamento dei limiti delle Fasce Fluviali, è così strutturato:

- in località Boschetto-Calami, in destra idrografica del canale Tocetta, il limite esterno della Fascia A (“*porzione di alveo che è sede prevalente del deflusso della corrente per la piena di riferimento*”) è posizionato lungo gli argini spondali esistenti del F. Toce; solo nella zona della piana alluvionale orientale, in sinistra idrografica del Rio Tocetta / Val della Chiesa, tale limite si sviluppa nell'ambito della piana alluvionale, arrestandosi ad una certa distanza dal rilevato della linea ferroviaria Milano-Domodossola, presente a Nord;
- il limite esterno della Fascia B naturale (“*porzione di territorio interessata da inondazione al verificarsi della piena di riferimento*”), in zona Boschetto coincide con il limite esterno della Fascia A, mentre nella zona Calami si sviluppa a tergo degli argini spondali, nell'ambito di terreni ineditati; solo nella zona della piana alluvionale orientale, in sinistra idrografica del Rio Tocetta / Val della Chiesa, tale limite si spinge sino al piede del rilevato ferroviario;
- i terreni in Fascia C (“*area di inondazione per piena catastrofica*”), comprendono l'intera zona edificata della località Boschetto-Calami.

9.2 Mappe di Pericolosità della Direttiva Alluvioni

In data 14/12/2015, con D.G.R. n. 8-2588, la Regione Piemonte provvedeva a prendere atto del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) relativo al distretto idrografico del fiume Po, approvato in linea tecnica dal Comitato Tecnico dell'Autorità di Bacino del F. Po nella seduta del 10 dicembre 2015 e successivamente approvato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del F. Po con deliberazione n. 2 nella seduta del 03/03/2016.

Con la suddetta deliberazione si è ribadito che il PGRA contiene la mappatura della pericolosità e del rischio, che integra il quadro conoscitivo del PAI, associando alle aree allagabili a differente pericolosità individuate nelle Mappe, una idonea normativa d'uso; l'Autorità di Bacino ha pertanto adottato, con deliberazione n. 5 del 17 dicembre 2015, il “*Progetto di Variante al PAI – Integrazioni all'Elaborato 7 (Norme di Attuazione)*”, finalizzato al coordinamento tra il PAI e il PGRA.

Successivamente, con D.G.R. n. 25-7286 del 30-07-2018, la Regione Piemonte ha emesso le “*Disposizioni regionali riguardanti l'attuazione del Piano di gestione rischio alluvioni (PGRA) nel settore urbanistico (art. 58 Norme di Attuazione PAI, integrate dal Titolo V), le attività per i Comuni non ancora adeguati al PAI e l'aggiornamento del quadro del dissesto a seguito di eventi calamitosi*”.

Per quanto attiene alla porzione di territorio interessata dai previsti interventi di mitigazione del rischio idraulico, il quadro del dissesto riportato nelle Mappe della Pericolosità e di Rischio di Alluvione (ultimo aggiornamento luglio 2024), è così strutturato:

- aree con probabilità di alluvioni elevata (Tr 20/50 anni), “scenario frequente – H”; coincidono con l'alveo ordinario del F. Toce e, nella zona in fregio alla loc. Calami, si estendono all'incirca fino al limite esterno della Fascia A; spostandosi ad Est, tali aree con probabilità a Tr 20/50 anni, rimangono confinate nell'alveo ordinario del F. Toce, mentre la Fascia A risulta più estesa;
- aree con probabilità di alluvioni moderata (Tr 100/200 anni), “scenario poco frequente – M”; nella zona in fregio alla loc. Calami, di fatto coincidono con lo scenario H, attestandosi sul limite delle arginature; spostandosi ad Est, le stesse si estendono sino al rilevato della linea ferroviaria, coincidendo con il limite della Fascia B e, localmente, superando il suddetto rilevato (in corrispondenza dei fornicci);
- aree con probabilità di alluvioni scarsa (Tr 500 anni), “scenario raro – L”; comprendono l'intera zona edificata della località Boschetto-Calami.

Nell'apposito estratto grafico “*Sovrapposizione tra carte della pericolosità da alluvione del PGRA, Fasce Fluviali PAI ed aree allagate*”, si mettono a confronti l'estensione delle aree effettivamente allagate nel corso dell'evento alluvionale di ottobre 2020, con le perimetrazioni delle aree vincolate dal PAI e dal PGRA.

9.3 Parco Nazionale della Val Grande

Il Parco Nazionale della Val Grande, istituito nel 1992 (D.M. 02/03/1992) e successivamente ampliato nel 1998 (D.P.R. 24/06/1998) e nel 2023 (D.P.R. 18.07.23), si estende per circa 17.000 ha., fino a comprendere, nel territorio di Vogogna, parte della piana alluvionale del F. Toce,

Come da estratto grafico allegato all'Indagine geologica ed idrogeologica, gli interventi in Progetto interessano in parte il Territorio del Parco.

10. INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE IN SITO E RICOSTRUZIONE DELLA SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA DEI DEPOSITI DI COPERTURA

Per ottenere informazioni sulla natura del sottosuolo, sull'assortimento granulometrico e sul grado di addensamento dei depositi di copertura, sono state eseguite apposite indagini geognostiche, date da n. 5 Prove Penetrometriche, la cui ubicazione è stata evidenziata nell'elaborato grafico allegato.

L'interpretazione dei dati ottenuti con tali prove, di seguito commentate, unitamente al confronto con i dati litostratigrafici disponibili per la zona in esame, ricavati da indagini geotecniche pregresse effettuate dallo scrivente, hanno permesso di definire meglio la successione stratigrafica locale, assegnando i parametri geotecnici ai depositi di copertura.

10.1. Prove penetrometriche: generalità sulla metodologia di prospezione

La prova penetrometrica dinamica (DP) appartiene a quel gruppo di prove in sito dalle quali si ricava un indice di resistenza del terreno attraversato; la prova consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di una batteria di aste.

La prova penetrometrica dinamica (DP) appartiene a quel gruppo di prove in sito (DP, SPT, CPT) dalle quali si ricava un indice di resistenza del terreno attraversato.

Detta prova consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di una batteria di aste; l'infissione della punta conica avviene per battitura, facendo cadere un maglio di determinato peso M , da determinata altezza H .

Si contano i colpi N_{10} necessari a produrre un determinato affondamento della punta conica; la resistenza del terreno è funzione inversa della penetrazione per ciascun colpo e diretta del numero di colpi (NDP) per una data penetrazione.

Il maggior ostacolo alla precisione del metodo deriva dalla difficoltà di isolare la componente della resistenza dovuta all'attrito laterale del terreno lungo la batteria delle aste.

La prova penetrometrica dinamica è principalmente impiegata in terreni granulari dove i risultati possono essere utilizzati per valutare lo spessore di strati teneri e per localizzare livelli resistenti, fattori utili, per esempio, per valutare lunghezza e portata di punta di pali in terreni non coesivi; inoltre, con buona approssimazione, possono essere valutati il tipo di terreno e la presenza di ghiaia.

Dopo un'appropriata taratura, i risultati di prove DP possono essere utilizzati per ottenere indicazioni relative a parametri geotecnici, quali densità relativa, angolo di resistenza al taglio, compressibilità e consistenza.

A causa delle differenze nei modelli dei penetrometri esistenti e nelle modalità esecutive, le correlazioni tra prove penetrometriche dinamiche ed i parametri geotecnici sono meno sviluppate rispetto ad altre prove in sito, risultando dipendenti dalle caratteristiche del penetrometro impiegato; pertanto è fondamentale specificare il tipo di strumento utilizzato nel corso dell'indagine.

L'attrezzatura utilizzata nelle prove è il penetrometro DPM 30 PAGANI Geotechnical Equipment, motorizzato, le cui caratteristiche tecniche vengono riportate nella tabella seguente.

Elemento	Simbologia	Unità misura	DPM 30 PAGANI
Maglio	M	(kg)	30
Caduta	H	(m)	0,2
Peso testa di battuta, asta di guida		(kg)	18
Lunghezza aste		(m)	1
Massa aste		(kg/m)	2,4
Lavoro specifico per colpo	M g H	(Joule)	58,86
Diametro esterno aste		(mm)	20
Diametro interno aste		(mm)	-
Diametro base punta conica		(mm)	35,7
Angolo di apertura cono		(°)	60
Lunghezza complessiva punta		(mm)	41
Penetrazione standard	N ₁₀	(cm)	10 cm
Rivestimento/fango bentonitico		(-)	NO
Diametro eventuali rivestimenti		(mm)	NO
Tipo di prova eseguita			DPB

L'alleggerimento dell'attrito laterale lungo le aste è affidato alla rotazione manuale delle stesse, eseguendo almeno 1,5 giri ogni metro di penetrazione.

I risultati di differenti tipi di prove dinamiche possono essere paragonati tra loro come valori di resistenza dinamica alla punta, q_d ricavabile dalla relazione:

$$q_d = \frac{M}{M+M'} \frac{M \cdot g \cdot H}{A \cdot e}$$

essendo:

- q_d = valori della resistenza dinamica alla penetrazione, in MPa,
- M' = massa complessiva di aste, testa di battuta, asta di guida del maglio, in kg,
- e = penetrazione media per colpo, in m,
- A = area sezione trasversale della base della punta conica, in mm²,
- M g H = lavoro specifico per colpo, in joule.

L'interpretazione dei risultati delle prove penetrometriche dinamiche è fondata sulla correlazione di NDP con gli indici di resistenza ricavabili da altre prove in sito e sulla utilizzazione delle correlazioni esistenti tra gli indici così ricavati ed i parametri geotecnici dei terreni investigati; in particolare il metodo comunemente utilizzato è quello di risalire da N_{DP} a N_{SPT} (Standard Penetration Test in foro di sondaggio).

In tal caso, per quanto riguarda il penetrometro dinamico da noi utilizzato (Penetrometro Dinamico Medio DPM - 30), di Pagani Geotechnical Equipment, si riporta una serie di correlazioni tra l'indice N_{10} e l'indice N_{SPT} ; in particolare:

Nei terreni prevalentemente coesivi:

$$\frac{N_{10}}{N_{SPT}} \geq 0.7 \div 0.8 ; \text{ per } 8 \leq N_{10} \leq 14 ; \frac{N_{10}}{N_{SPT}} \geq 0.8 \div 1.0 ; \text{ per } 14 \leq N_{10} \leq 18$$

Nei terreni prevalentemente granulari:

$$\frac{N_{10}}{N_{SPT}} \geq 0.95 \div 1.0 ; \text{ per } 8 \leq N_{10} \leq 15 ; \frac{N_{10}}{N_{SPT}} \geq 1.0 \div 1.2 ; \text{ per } 15 \leq N_{10} \leq 30$$

Pertanto, in base alle correlazioni citate, è lecito ritenere che, in prima approssimazione, l'indice N_{10} sia equivalente all'indice N_{SPT} in foro di sondaggio: $N_{10} \cong N_{SPT}$.

10.2 Interpretazione dei dati penetrometrici

La scelta dei punti in cui ubicare le prove penetrometriche, è stata effettuata in funzione delle previsioni progettuali, in maniera da indagare le aree ove verranno impostate le nuove opere di mitigazione, aventi le strutture e/o i manufatti maggiormente significativi; come detto, l'ubicazione delle prove penetrometriche è stata evidenziata in un elaborato planimetrico.

In particolare, dall'esame degli istogrammi penetrometrici, evidenzianti i valori dell'indice N_{10} misurati in sito e proposti in allegato, si ricava una situazione litostratigrafica relativamente omogenea nell'ambito dell'intera area della piana alluvionale interessata dall'intervento, discretamente correlabile tra le cinque prove, che può essere così schematizzata:

- a) dal p.c. sino a circa - 1.40÷2.30 m : coltre superficiale di terreno soffice, dato da limi-sabbiosi e sabbie medio-fini, caratterizzato da una bassa resistenza alla penetrazione (N_{10} mediamente compreso fra 2-10 colpi), con presenza di orizzonti più resistivi (dovuti a locali rimaneggiamenti superficiali con presenza di materiali di riporto, nelle aree poste in stretta vicinanza ad esistenti opere spondali o di attraversamento), con sabbie medio-grossolane e taluni ciottoli (punte di 30-50 colpi);
- b) a partire da -1.40÷2.30 m e sino al limite inferiore dell'investigazione, si è rinvenuto un orizzonte del terreno, con N_{10} che ha rapidamente raggiunto valori superiori a 200 colpi, corrispondente ai depositi alluvionali medio-grossolani del F. Toce, dati da un orizzonte ghiaioso, debolmente sabbioso, con numerosi ciottoli eterometrici.

10.3. Dati pregressi e confronto con i dati attuali

Nel novembre 2011 e nel giugno 2017, a supporto della realizzazione di alcuni interventi edilizi privati, nell'ambito delle porzioni di territorio in fregio al Rio Tocetta / Val della Chiesa (località Calami e via Trincavelli), in aree ubicate rispettivamente a circa 100 m e 30 m di distanza rispetto all'attuale area di previsto sviluppo delle nuove arginature, ovvero nello stesso ambito geomorfologico e litologico (piana

deposizionale del F. Toce, esterna alle facies di conoide del Rio Val della Chiesa, lo scrivente aveva effettuato una serie di indagini geognostiche, date dall'esecuzione di diverse prove penetrometriche, spinte fino a profondità comprese tra circa -1.80 e -3.0 m dal p.c., le quali avevano permesso di investigare i materiali alluvionali, riconoscendone la sequenza litostratigrafica e, successivamente, di ricavare i parametri geotecnici dei diversi orizzonti litologici.

In sintesi, la stratigrafia desunta con le varie prove penetrometriche, facendo riferimento anche allo stato di addensamento, era stata la seguente:

- a) dal p.c. sino a circa - 1.50 m (via Trincavelli) ÷ 2.70 m (Calami): coltre superficiale di terreno soffice, data da limi-sabbiosi e sabbie medio-fini, caratterizzata da una bassa resistenza alla penetrazione (N_{10} mediamente compreso fra 1-10 colpi);
- b) a partire da -1.50÷2.70 m e sino al limite inferiore dell'investigazione, si è rinvenuto un orizzonte di ghiaie sabbiose, con numerosi ciottoli eterometrici. che aveva rapidamente portato a "rifiuto" la penetrazione dinamica del terreno, con valori di N_{10} superiori a 100 colpi.

Come si può vedere dalle descrizioni e dai valori di N_{10} , i livelli riconosciuti con le prove geognostiche pregresse, corrispondono esattamente a quelli attraversati con le prove penetrometriche condotte a supporto del presente Progetto delle nuove opere di mitigazione del rischio idraulico.

Le prove geognostiche, sia quelle pregresse, sia quelle di nuova esecuzione, non hanno rilevato la presenza di umidità capillare, a testimonianza dei buoni valori di permeabilità dei materiali alluvionali.

11. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Per ottenere informazioni sulla natura del sottosuolo, sull'assortimento granulometrico e sul grado di addensamento dei depositi di copertura, sono state eseguite apposite indagini geognostiche, date da n. 5 Prove Penetrometriche, la cui ubicazione è stata evidenziata nell'elaborato grafico allegato.

11.1 Caratterizzazione geotecnica

In base alle prove geognostiche eseguite nell'area d'intervento, nonché sulla scorta delle conoscenze che lo scrivente ha della zona, acquisite nel corso di precedenti indagini geologiche e geotecniche condotte nel territorio comunale, con riferimento alle tabelle "Relazione fra numero di colpi del penetrometro, densità relativa e angolo di attrito interno nelle sabbie" (Terzaghi e Peck e Mejerhof) e "Valori di ϕ per vari tipi di terreno" (NAVFAC, 1971), per terreni non coesivi con frazione fine non plastica, oltre che "Valori orientativi dei parametri che caratterizzano la curva sforzi-deformazioni di forma iperbolica – primo carico", proposte in allegato, assieme alla tabella "Unified Soil Classification System", è stato possibile attribuire i valori dei parametri geotecnici ai depositi di copertura, escludendo l'orizzonte più superficiale costituito da terreno vegetale.

Depositi alluvionali del F. Toce: limi sabbiosi e sabbie medio-fini (SM-SP)

γ (peso di volume)	$\approx 1.60 \text{ t/m}^3$;
γ_{sat} (peso di volume saturo)	$\approx 2.00 \text{ t/m}^3$;
γ' (peso di volume sommerso)	$\approx 1.00 \text{ t/m}^3$;
ϕ (angolo di attrito di picco)	$\approx 28^\circ$
ϕ_b (angolo di attrito di base)	$\approx 24^\circ$
Dr (densità relativa)	$\approx 25\div 35 \%$
c (coesione)	$= 1,0 \text{ t/m}^2$.

Depositi alluvionali del F. Toce: ghiaie sabbiose (GP)

γ (peso di volume)	$\approx 1.90 \text{ t/m}^3$;
γ_{sat} (peso di volume saturo)	$\approx 2.20 \text{ t/m}^3$;
γ' (peso di volume sommerso)	$\approx 1.20 \text{ t/m}^3$;
ϕ (angolo di attrito di picco)	$\approx 37^\circ$
ϕ_b (angolo di attrito di base)	$\approx 32^\circ$
Dr (densità relativa)	$\approx 50\div 60 \%$
c (coesione)	$= 0 \text{ t/m}^2$.

Per quanto riguarda i valori geotecnici caratteristici, a cui fare riferimento, questi possono essere cautelativamente rappresentati da quelli dell'angolo di attrito interno a volume costante ϕ_{cv} , solitamente applicati nel caso di problemi che comportino fenomeni di rottura progressiva, come quelli nel caso in esame (spinta passiva, capacità portante delle fondazioni).

11.2 Caratterizzazione sismica

Premesso che con la D.G.R. n. 6-887 del 30 dicembre 2019 è stato recepito l'aggiornamento della classificazione sismica di cui alla D.G.R. n. 11-13058 del 19-01-2010, la quale aggiorna la suddivisione del territorio regionale in diverse "zone sismiche", riassegnando il territorio comunale di Vogogna alla Zona 4 della Classificazione Sismica Regionale, sono state condotte appropriate valutazioni sismiche per l'attribuzione della categoria di suolo di fondazione, riferendosi alle prove geognostiche eseguite in sito ed ai dati litostratigrafici pregressi.

Per quanto riguarda spessore e caratterizzazione delle coltri di copertura, i terreni di fondazione vanno classificati in una delle seguenti categorie elencate dalle N.T.C. del D.M. 17-01-2018 (capitolo 3.2, *Azione Sismica*, paragrafo 3.2.2. *Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche* - Tabella 3.2.II):

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

Poiché le indagini geognostiche sopra richiamate hanno evidenziato la presenza, al di sotto dell'orizzonte più superficiale, di una sequenza litostratigrafica costituita da depositi a grana medio-grossolana da mediamente addensati a molto addensati, si è ritenuto ragionevole assegnare il suolo di fondazione alla **Categoria C**.

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle nuove strutture ed alla verifica di quelle esistenti: la pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici, che in termini temporali; questo porta ad un approfondimento dell'aspetto relativo ai valori di accelerazione

sismica orizzontale a_g (effetti di sito), superando il concetto di attribuzione di un unico valore di a_g , all'intero territorio comunale, in base alla sua Zona Sismica.

Per gli spettri di risposta delle componenti verticale ed orizzontale delle azioni sismiche, è stato utilizzato il foglio di calcolo di GeoStru software, messo a confronto con i dati forniti dal foglio di calcolo "SPETTRI – NTC", sviluppato ai sensi del D.M. 17-01-2018 e messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici; in base a tali fogli di calcolo, la definizione dei vari spettri di risposta è articolata in 3 fasi:

- *Fase 1: individuazione della pericolosità del sito.* Per valutare le azioni sismiche all'interno del territorio comunale, si effettua una ricerca in base alle coordinate (WGS84) del sito specifico:

Coordinate medie: Lat 46.004100; Long 8.293500

- *Fase 2: scelta della strategia di progettazione.* In base alle tabelle di riferimento delle Nuove Norme Tecniche per la Costruzioni, sono stati inseriti i dati relativi alla vita nominale del progetto e del suo Coefficiente d'uso, ricavando il periodo di ritorno per la definizione dell'azione sismica.

- ✓ la vita nominale della costruzione, trattandosi di un'opera di grandi dimensioni (o di importanza strategica), è stata assunta pari ad un minimo di 100 anni, in analogia alla funzione idraulica svolta ($V_N \geq 100$ anni);
- ✓ per la classe d'uso è stata assunta la classe III, trattandosi di un'opera il cui collasso può provocare situazioni di emergenza ($CU = 1.5$).

- *Fase 3: determinazione dell'azione di progetto.* sono stati considerati i vari Stati Limite (SLO "Operatività" – SLD "Stato Limite Danno" - SLV "Salvaguardia Vita" e SLC "Prevenzione Collasso"); sono state selezionate la categoria di Sottosuolo (Tipo C) e, per le condizioni topografiche, la categoria T1 "pendii con inclinazione media <15°";

In base ai dati inseriti, si ottengono, per i vari Stati Limite, i valori di F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale), a_g (accelerazione sismica orizzontale massima) e T^*C (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale):

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	Tc^* [s]
Operatività (SLO)	90	0,035	2,532	0,223
Danno (SLD)	151	0,042	2,537	0,250
Salvaguardia vita (SLV)	1424	0,083	2,710	0,315
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0,096	2,776	0,329

A questo punto si può ottenere, per ciascuno Stato Limite, il valore di a_{max} (accelerazione massima attesa):

$$a_{max} = S_s \cdot a_g \cdot S_T$$

dove S_s (fattore di amplificazione dipendente dalla categoria del suolo di fondazione), è così definito:

CATEGORIA SUOLO	S_s
A	1.0
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.20$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.50$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.80$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.60$

Nel caso in esame (Categoria di Suolo C), il valore di S_s è pari a 1,50; mentre il fattore di amplificazione topografica (S_T), trattandosi di terreni pianeggianti, viene assunto pari a 1,0.

Per il calcolo dei coefficienti sismici orizzontali e verticali K_h e K_v , si procede con le formule:

$$K_h = \beta_s \cdot a_{\max} / g$$

$$K_v = 0.5 K_h$$

dove β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima del sito, definita in base alla tabella:

Tabella 7.11.I - Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (N.T.C.)

	CATEGORIA SUOLO	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0.2 < \cdot a_g / g \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < \cdot a_g / g \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g / g \leq 0.1$	0.20	0.20

Quindi, i coefficienti sismici relativi a ciascuno Stato Limite, in base alle caratteristiche dell'area, della categoria del suolo e della morfologia, nonché del tipo di opera da considerare nelle successive Verifiche, sono i seguenti:

(“Stabilità dei pendii e fondazioni” – muri d’argine in c.a., scogliere, nuovo ponte, ecc.)

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
k_h	0,010	0,013	0,025	0,029
k_v	0,005	0,006	0,012	0,014
a_{\max}	0,052	0,063	0,124	0,144
β_s	0,20			

(“Fronti di scavo e rilevati”, argine trapezoidale)

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
k_h	/	0,030	0,047	/
k_v	/	0,015	0,024	/
a_{max}	0,052	0,063	0,124	0,144
β_s	/	0,470	0,380	/

Si tiene a precisare che le indagini geognostiche precedentemente condotte nell’ambito dell’areale di interesse, avevano permesso di escludere la presenza delle condizioni al contorno caratteristiche dei terreni suscettibili a liquefazione.

12. OPERE DI MITIGAZIONE IN PROGETTO: CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E VERIFICHE DI STABILITÀ DELLE SCARPATE DEL RILEVATO ARGINALE

12.1 Caratteristiche costruttive

Il progetto prevede la realizzazione di opere di mitigazione del rischio idraulico, ossia opere di difesa dalle piene del fiume Toce, costituite essenzialmente dalle seguenti tipologie di opere, di seguito brevemente descritte, con particolari grafici esplicativi:

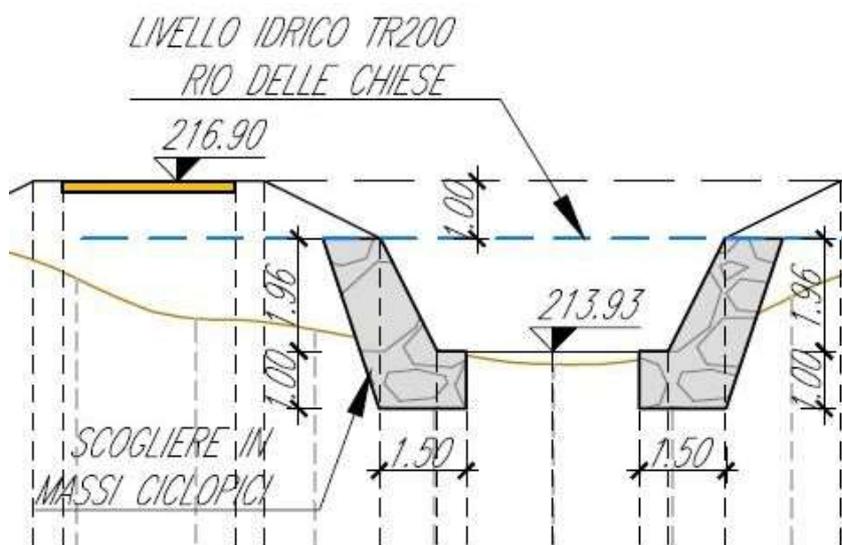
- Scogliere in massi ciclopici (blocchi lapidei squadrati), con o senza taglione;
- Muri arginali in c.a.
- Rilevato arginale in terra con pista sterrata alla sommità
- Opere accessorie (chiaviche, rifacimento attraversamento stradale, fossi di scolo in terra, ecc.)

12.1.1 Scogliere in massi ciclopici – blocchi lapidei squadrati

Le scogliere in massi ciclopici, verranno realizzate sia in fregio all'alveo del Rio Tocetta / Val della Chiesa (previe operazioni di sbancamento / riprofilatura delle sponde del canale di deflusso), sia nell'ambito della piana alluvionale del F. Toce, con scavi che verranno spinti sino ad un minimo di -1.0 m rispetto al fondo alveo attuale del Rio Val della Chiesa, o sino a circa -1.50 m dal piano campagna, nella zona della piana alluvionale posta ad Est.

La base di appoggio delle scogliere, pertanto, verrà impostata sui depositi alluvionali medio grossolani del F. Toce, dati da ghiaie sabbiose con ciottoli, previa stesura, qualora necessaria, di un sottofondo uniforme ghiaioso.

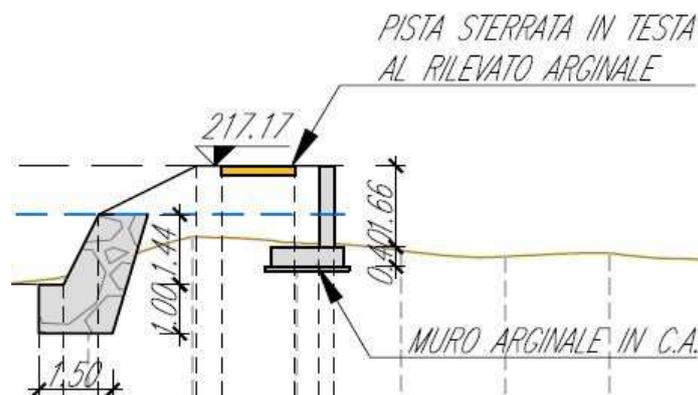
La “base di fondazione” delle scogliere, sarà larga 1.50 m, e si svilupperanno per altezze comprese tra 2.50÷3.50 m, fungendo da sostegno al piede dell'adiacente rilevato arginale.



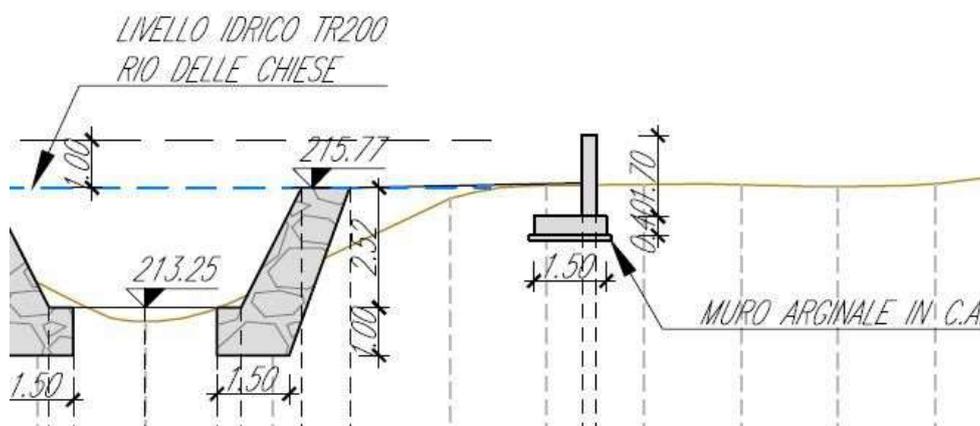
12.1.2 Muri arginali in c.a.

Sono previsti lungo limitate tratte, in fregio alla sponda destra dell'alveo del Rio Tocetta / Val della Chiesa, rispettivamente:

- in corrispondenza del ponte della linea ferroviaria Novara-Domodossola: opera alta fuori terra 1.60 m, con ciabatta di fondazione larga 1,5 m, con funzione di contenimento del fianco rivolto verso via Calami, del rilevato arginale in terra battuta con pista sterrata sommitale;



- nella tratta a valle dell'attraversamento stradale oggetto di rifacimento: muro d'argine arretrato rispetto alla difesa spondale, a protezione di Via Calami; opera alta fuori terra 1.20 m, con ciabatta di fondazione posta a circa -1.0 m di profondità, larga 1,5 m;



Laddove le basi delle fondazioni dei muri d'argine, non dovessero raggiungere i depositi alluvionali medio grossolani del F. Toce, sarà necessario, in fase esecutiva, approntare lo scavo sino a raggiungere le ghiaie sabbiose e riquotare con materiali granulari, al fine di ottenere una base di appoggio uniforme, data da un sottofondo ghiaioso ciottoloso, steso al fondo dello scavo e compattato meccanicamente.

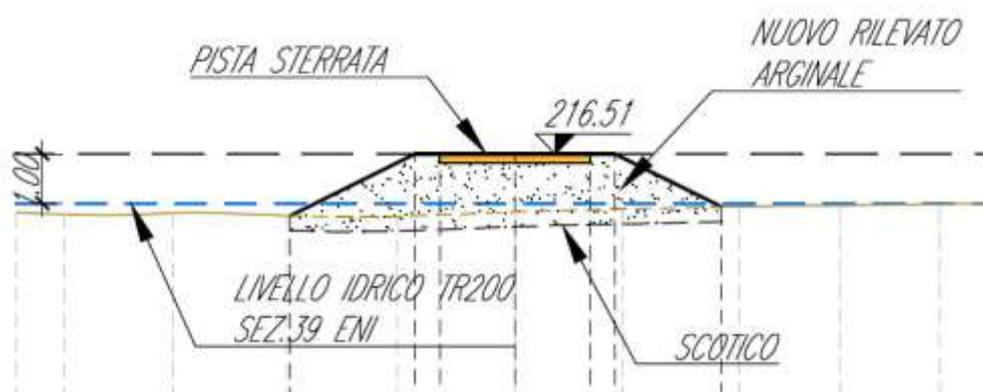
12.1.3 Rilevato arginale

I nuovi rilevati d'argine si svilupperanno in fregio alla tratta finale del Rio Tocetta / Val della Chiesa, che in zona Calami rappresenta un punto di criticità, in quanto "direttrice di ingresso e risalita" delle acque di piena del F. Toce; tali nuove arginature si raccorderanno, ad Ovest, alle difese arginali esistenti lungo il F. Toce e, ad Est, si svilupperanno nella piana alluvionale fino a raccordarsi al rilevato della linea ferroviaria;

spostandosi in direzione di Premosello Chiovenda, due ulteriori, brevi tratte di difesa arginale, verranno realizzate a difesa delle aperture (sottopassi / fornic) nel suddetto rilevato ferroviario.

Laddove non “delimitato” lateralmente da opere in muratura (scogliere o muri), l’argine sarà dato da un rilevato trapezoidale largo in media circa 9.0 m alla base e 4.0 m alla sommità (ove si svilupperà una pista carrabile sterrata), alto circa da +1.20 m a +2.20 m rispetto al piano campagna, in maniera che la sommità sia sempre posta a +1.0 m, rispetto al livello idrico atteso per le piene con Tr 200 anni.

La costruzione del rilevato dovrà essere preceduta dallo scotico del terreno agrario superficiale, per una profondità di 30-40 cm, fino al raggiungimento del terreno sottostante (materiali a granulometria fine, dati da sabbie limose, limi sabbiosi e sabbie fini, con occasionale presenza di clasti e ciottoli).



Nel periodo 2015-2018, il sottoscritto, sempre su incarico del Comune di Vogogna, aveva svolto le indagini geologico-tecniche a supporto del Progetto di “Interventi di difesa spondale ed arginatura del F. Toce in Comune di Vogogna”, finalizzate alla messa in sicurezza delle aree poste in destra idrografica del F. Toce, a monte del Ponte di Masone, in cui sono localizzati gli insediamenti produttivi e commerciali del Comune di Vogogna, situate a tergo di un “Limite B di progetto” delle Fasce Fluviali del F. Toce

Vengono di seguito riprese, dal citato Studio, le caratteristiche costruttive del rilevato arginale realizzato a difesa degli insediamenti produttivi, che si ritiene potranno essere adottate anche nella realizzazione del rilevato d’argine oggetto del presente Progetto.

Il rilevato verrà realizzato con materiale proveniente da cava, opportunamente frantumato e miscelato. Gli inerti, sia naturali che di frantumazione, saranno privi di componenti nocivi (max 0.02% di cloruri e 1% solfati) e saranno costituiti esclusivamente da rocce: granitiche, gneiss, porfidi, calcari e dolomie compatte, anche metamorfosate, con densità specifica apparente non inferiore a 2.2 tonnellate a metro cubo.

Essi risulteranno raggruppati in sei classi granulometriche, con percentuali in peso determinabili, in prima approssimazione, attraverso la seguente curva:

$$p = 100 (d/D_{max})^{1/3} \text{ con } D_{max} = 60 \text{ mm}$$

Tale composizione percentuale potrà essere migliorata, in sede di offerta, introducendo una frazione coesiva (limi, argille-limose, argille) nella misura del 10%.

Tipologia	Pezzatura (mm)	Percentuale in peso m³
Sabbia fine di frantumazione	< 0.2	3.0%
Sabbia di frantumazione	0.2 – 4.0	9.0%
Sabbia naturale	0.2 – 4.0	18.0%
Pietrischetto	4.0 – 10.0	16.0%
Pietrisco	10.0 – 35.0	28.0%
Pietrisco grosso	35.0 – 60.0	16.0%
Frazione coesiva (limi, argille limose, argilla)	<0.075	10.0%

Tale materiale, adeguatamente miscelato, sarà compattato, per singoli strati ciascuno di spessore non superiore a 30 cm, fino a raggiungere il 95% della densità secca AASHTO (ASTM D1557); la compattazione dovrà essere effettuata mediante rulli dinamici di congrue dimensioni e peso.

La frazione coesiva dei materiali utilizzati (limi, argille limose, argilla), dovrà essere collocata nella parte centrale dello strato e nella scarpata potenzialmente interessabile dalle acque di piena, in maniera da ridurre sensibilmente la permeabilità del “nucleo centrale” e del paramento esterno

Ogni strato messo in opera sarà addensato sino a raggiungere un grado di compattazione pari al 95% del valore fornito dalle prove Proctor (ASTM D 1557). La compattazione dovrà essere condotta con metodologia idonea ad ottenere un addensamento uniforme. A tale scopo, i mezzi dovranno operare con sistematicità lungo direzioni parallele, garantendo una sovrapposizione fra ciascuna passata e quella adiacente pari al 10% del mezzo costipante. Il livello prestazionale degli strati posti in opera può essere accertato, in relazione alla granulometria del materiale impiegato, attraverso il controllo dell’addensamento raggiunto, rispetto al riferimento desunto dalle prove AASHO di laboratorio, e/o attraverso il controllo della capacità portante.

Le prove di controllo (carico su piastra) della portanza devono essere effettuate mediante misure del modulo di deformazione Ev2 secondo la Norma DIN 18134. Possono inoltre essere impiegate prove rapide e/o ad alto rendimento come ad esempio la piastra dinamica leggera LFWD.

Il corpo del rilevato, avrà scarpate laterali inclinate di circa 26°; sul lato potenzialmente interessato dalle acque della piena fluviale, si potrà posare un telo bentonitico impermeabilizzante, accoppiato a un geotessuto.

12.1.4 Opere accessorie

Chiavica

Presso l’immissione della Tocetta nel Rio Val della Chiesa, laddove il nuovo argine, intersecherà il canale della Tocetta per attestarsi contro il rilevato ferroviario, è prevista la realizzazione di una chiavica, per impedire fenomeni di “rigurgito” da parte del Rio Val della Chiesa, lungo il canale della Tocetta, latistante il Campo Sportivo.

In questo settore, è stata effettuata la Prova penetrometrica P1.

Rifacimento attraversamento stradale

È previsto il rifacimento dell'esistente ponticello stradale di via Calami, ove sono situati i sensori di rilevamento delle altezze delle acque di piena, collegati al sistema di allarme della Protezione Civile; in corrispondenza delle previste, nuove spalle dell'opera di attraversamento, sono state eseguite le Prove penetrometriche P2 e P3.

Nuovo canale in terra

La realizzazione della prevista arginatura presso il Fornice 2 (il sottopasso del rilevato ferroviario posto più ad Ovest), comporterà l'interruzione di un fosso di scolo che, attualmente, si sviluppa all'incirca al piede del rilevato ferroviario, sul lato rivolto verso Sud.

Per garantire la continuità del deflusso superficiale delle acque di scolo, al piede del nuovo rilevato arginale, verrà realizzato un fosso in terra (con raccordi in cls in corrispondenza delle rampe carrabili che rimonteranno il rilevato).

12.2 Parametri geotecnici del rilevato arginale

Con le specifiche costruttive precedentemente dettagliate al cap. 13.1., si può affermare che, il materiale inerte che costituirà il corpo del rilevato arginale, può essere assimilato al gruppo A1 della Classificazione AASHO (o UNI-CNR 10006).

A tale materiale, adeguatamente addensato (con densità specifica apparente dell'ordine di $2.0 \div 2.2 \text{ t/m}^3$), è possibile attribuire i seguenti parametri geotecnici, facendo riferimento alla tabella *Valori di ϕ per i vari tipi di terreno* (NAVFAC, 1971), oltre che al tipo di terreno secondo la tabella USCS (*Unified Soil Classification System*).

USCS	GW
γ (peso di volume)	$2,0 \div 2,2 \text{ t/m}^3$
γ_{SAT} (peso di volume)	$2,1 \div 2,3 \text{ t/m}^3$
γ' (peso di volume sommerso)	$1,1 \div 1,3 \text{ t/m}^3$
Dr (densità relativa)	$60 \div 75\%$
ϕ_{TC} (angolo di attrito interno di picco)	$36^\circ \div 38^\circ$
ϕ_{cv} (angolo di attrito interno a volume costante)	$32^\circ \div 34^\circ$
c (coesione)	$0,2 \div 0,5 \text{ t/m}^2$

12.3 Verifiche di stabilità del rilevato arginale

Si ricorda che, per quanto riguarda le verifiche sul rilevato arginale, queste sono di competenza dell'ing. strutturista dello Studio SRIA (verifiche interne, effetti di spinta dell'acqua, sifonamento, ecc.); a mero titolo di contributo, si è comunque provveduto ad eseguire una verifica di stabilità globale del pendio lungo il paramento esterno dell'argine.

Il programma I.L.A. (Interactive Landslides Analysis), prodotto dalla "geo&soft international", ottempera alle specifiche richieste del D.M. 17-01-2018 ed è basato sul calcolo dell'equilibrio limite proposto da S.K. Sarma (1974, 1979) e sviluppato da E. Hoek (1981, 1983, 1987): tale metodo permette di analizzare pendii interessati da superfici di scivolamento circolari, non circolari e planari; il fattore di sicurezza viene ricavato calcolando l'accelerazione critica orizzontale necessaria ad indurre uno stato di equilibrio limite e riducendo la tangente dell'angolo di attrito e la coesione, secondo il fattore di sicurezza stesso, in modo tale che l'accelerazione critica sia ridotta a zero.

Ne deriva quindi la piena applicabilità, sia nei casi di pendii in frana, sia negli altri casi, con l'esame delle superfici di scorrimento cinematicamente possibili, in numero sufficiente per ricercare la superficie alla quale corrisponda il coefficiente di sicurezza più basso.

In base ai disposti del D.M. 17-01-2018, per la valutazione della sicurezza di un'opera, bisogna verificare che la resistenza di progetto R_d , sia maggiore (o uguale) del valore di progetto delle azioni E_d ($R_d \geq E_d$); ai parametri caratteristici dei terreni, vengono applicati dei coefficienti parziali di sicurezza ("metodo semiprobabilistico agli Stati Limite").

Per quanto riguarda i parametri caratteristici dei terreni, come da indicazioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, in merito alle N.T.C. 2018, nelle valutazioni che il geotecnico deve svolgere, per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, quando è coinvolto un grande volume di terreno (come nel caso in esame), si potrà fare riferimento a valori caratteristici medi dei parametri, precedentemente riportati.

I coefficienti parziali di sicurezza vengono definiti per le azioni, per i parametri geotecnici e per le resistenze, nell'ambito di differenti Approcci Progettuali; il D.M. 17-01-2018, per le verifiche di stabilità di pendii in materiali sciolti, prevede l'uso dell'**Approccio 1 – Combinazione 2**, in base al quale, i coefficienti parziali di correzione sono i seguenti:

- | | | |
|--|-------|--|
| - tangente all'angolo di resistenza al taglio: | 1,25 | (Resistenze R_d) |
| - tangente all'angolo di resistenza al taglio: | 1,40 | (Resistenze R_d in <u>condizioni non drenate</u>) |
| - coesione efficace: | 1,25 | (Resistenze R_d) |
| - coesione efficace c_{uk} : | 1,40 | (condizioni non drenate, Resistenze R_d) |
| - carichi sfavorevoli (permanenti / variabili) | 1,30 | (Azioni E_d) |
| - Fattore di sicurezza F_s | > 1,1 | |

Applicando i suddetti coefficienti parziali di correzione (con arrotondamenti a favore della sicurezza) ai parametri geotecnici dei terreni investigati, si ottengono i seguenti valori caratteristici o di progetto, utilizzati nelle verifiche di stabilità:

- per i materiali inerti selezionati (che verranno usati per il corpo del rilevato arginale): $\varphi = 31,0^\circ$ (partendo da $\varphi = 37^\circ$) e $c = 0,2 \text{ t/m}^2$ (partendo da $0,35 \text{ t/m}^2$). Gli arrotondamenti sono tutti a favore della sicurezza.

Le altre “condizioni al contorno” utilizzate nella verifiche, sono le seguenti:

- A. le verifiche sono state condotte in condizioni non drenate e non considerando l’azione stabilizzante della coltre di terreno agrario vegetata, simulando, in tal modo, una verifica di stabilità in fase realizzativa;
- B. Si è tenuto conto di condizioni di saturazione dei materiali di copertura pari al 30%, in considerazione delle caratteristiche granulometriche e tessiturali dei materiali;
- C. Si è tenuto conto di condizioni di sovraccarico alla sommità dell’argine, dati dal passaggio dei mezzi sulla pista sterrata, pari a 20 kN/m^2 , che incrementato del fattore di sicurezza 1.3 previsto dall’Approccio 1, Combinazione 2, diventa 26 kN/m^2 .

Per quanto riguarda, invece, la componente sismica, in accordo con il punto 7.1 del D.M. 17-01-2018, sono state sviluppate le verifiche di stabilità, limitatamente agli Stati Limite Ultimi (SLV), in funzione dei coefficienti sismici qui di seguito riportati (valevoli per fronti di scavo e rilevati):

Coefficienti	SLD	SLV
Kh	0,030	0,047
Kv	0,015	0,024
a_{\max}/g	0,063	0,124
β_s	0,470	0,380

(in caso di verifica positiva per gli SLV, si considerano verificati automaticamente anche gli SLD)

Si ricorda che, secondo il D.M. 17.01.2018, nell’ambito dell’Approccio utilizzato, per la Verifica degli SLU, le condizioni critiche di stabilità si hanno per valori del coefficiente di sicurezza (F_s) inferiori a 1.00, mentre per valori pari o superiori ad 1.10, si hanno condizioni di assoluta stabilità; i valori tra 1.01÷1.09, sono rappresentativi di situazioni comprese tra “assoluta stabilità ed “equilibrio limite”.

Le verifiche sono state condotte analizzando una serie di superfici di scivolamento circolari, coinvolgenti i materiali di riporto; tutte le verifiche di stabilità, hanno fornito risultati positivi: in particolare, i valori del coefficiente di sicurezza (F_s) per le sei superfici di scivolamento analizzate, sono risultati compresi tra 1.41÷1.63, risultando tutte ampiamente stabili.

13. CAPACITÀ PORTANTE DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Come precedentemente dettagliato, le nuove difese arginali saranno date da un rilevato trapezoidale largo in media circa 9.0 m alla base, alto circa da +1.20 m a +2.20 m rispetto al piano campagna, realizzato con materiale proveniente da cave, opportunamente frantumato e miscelato, steso a strati addensati meccanicamente, con orizzonte basale posato ad una profondità di -30÷40 cm dal p.c., previo scotico del terreno agrario superficiale.

Per tale tipo di opera, priva di ÷fondazione, non è necessario verificare la capacità portante dei terreni in sito, che si ritiene verificata empiricamente.

Le nuove strutture con opere di fondazione vere e proprie, saranno date da:

- scogliere in blocchi, localmente con “taglione”;
- muri d’argine in c.a.;
- spalle del ponte stradale lungo via Calami, oggetto di rifacimento;

In particolare, le scogliere in blocchi e le spalle del ponte, previsti in fregio al Rio Tocetta / Val della Chiesa poggeranno sui depositi alluvionali di fondo medio-grossolani del F. Toce, dati da ghiaie sabbioso-ciottolose, normalmente asciutte ma che, in ottica cautelativa, possono essere considerate “sotto falda”, in quanto, in presenza di deflussi idrici lungo il corso d’acqua, la superficie freatica coincide con il livello di subalveo dello stesso Rio Val della Chiesa.

Sulla scorta dei parametri geotecnici di tali materiali, prima riportati al cap. 11.1, in funzione delle dimensioni delle “opere di fondazione”, ovvero della larghezza basale delle scogliere e delle spalle del ponte, si può cautelativamente ipotizzare che a tali materiali, competano valori di capacità portante nell’ordine di 1.60÷1.80 Kg/cm².

Un discorso analogo può essere fatto per le opere di fondazione dei previsti muri d’argine in c.a., che saranno dotati di “ciabatta” di fondazione larga 1.50 m; se la profondità di imposta delle opere di fondazione, non raggiungerà i depositi alluvionali medio-grossolani di fondo, ma i materiali fini sabbioso-limosi superficiali, si dovrà predisporre una base di appoggio uniforme, data da un sottofondo ghiaioso ciottoloso, di congruo spessore, steso al fondo dello scavo e compattato meccanicamente; in questo caso, i carichi ammissibili potranno essere stimati nell’ordine di 1.00÷1.20 kg/cm², laddove le opere di fondazione del muro d’argine, dovranno sostenere il solo peso della struttura in elevazione (h 1.70 m), senza sovraccarichi.

Qualora, in fase esecutiva, venissero approfonditi gli scavi, sino al raggiungimento delle alluvioni medio-grossolane, il valore della capacità portate sarà pari a quanto detto precedentemente, ovvero nell’ordine di 1.60÷1.80 Kg/cm².

Si ricorda che un’opera risulta verificata quando la resistenza di progetto Rd, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali ed ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate, risulta maggiore od uguale al valore di progetto Ed delle azioni.

14. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente Relazione Geologica, Idrologica e Geotecnica è stata prodotta a supporto della progettazione esecutiva per la realizzazione di “*Interventi di Mitigazione del Rischio Idraulico in sponda sinistra del Fiume Toce, in località Calami*” in Comune di Vogogna (cod. CIG B2FD9764D5; Codice CUP B18H21000190002), predisposto dalla Società di Ingegneria SRIA S.r.l. – Studio Rosso Ingegneri Associati di Torino.

Le opere in progetto, sono finalizzate alla messa in sicurezza delle aree poste in sinistra idrografica del F. Toce, in loc. Calami, oltre che delle aree antropizzate poste a tergo del rilevato delle linee ferroviarie Milano-Domodossola e Novara-Domodossola, storicamente vulnerabili in caso di esondazioni del F. Toce ed allagatesi nel corso dell’ultimo evento alluvionale del 2-3 ottobre 2020.

In particolare, l’intera località Calami, è data da un settore della piana alluvionale estesamente edificato, ad Ovest dell’abitato di Vogogna e della linea ferroviaria Milano-Domodossola, parzialmente protetta da un’arginatura in sponda sinistra del F Toce, la quale si interrompe per consentire il deflusso delle portate del Rio Tocetta / Rio Val della Chiesa, che attraversa la suddetta località.

Le portate di piena del F. Toce tendono a “risalire” il canale della Tocetta, allagando l’intera porzione meridionale della loc. Calami; anche spostandosi a valle della confluenza del Rio Tocetta nel F. Toce, l’intera piana alluvionale compresa tra il F. Toce ed il rilevato ferroviario, è soggetta ad allagamenti da parte delle acque di esondazione, le quali, in presenza di fornicci / sottopassi del rilevato ferroviario, raggiungono i terreni posti a monte di quest’ultimo, come accaduto durante l’ultimo evento alluvionale di ottobre 2020.

In funzione della morfologia dei luoghi e delle modellazioni idrauliche, l’intervento in progetto è rappresentato dalla realizzazione di strutture arginali, date da rilevati in terra, scogliere in blocchi lapidei e muri in c.a., le quali, risalendo lungo le sponde del Rio Val della Chiesa / Tocetta, andranno a raccordarsi alle infrastrutture esistenti (rilevati ferroviari, argine esistente lungo la sponda sx del F. Toce, ecc.); è inoltre prevista la realizzazione di opere arginali anche in corrispondenza delle suddette aperture / fornicci nel rilevato ferroviario.

L’intervento di messa in sicurezza verrà quindi completato da una serie di opere accessorie (chiaviche, rifacimento attraversamento stradale, formazione di piste carrabili alla sommità del rilevato arginale in terra).

In particolare, il canale di deflusso del Rio Tocetta / Val della Chiesa, verrà delimitato lungo le sponde da scogliere in blocchi lapidei, per poi essere contenuto da un rilevato arginale, realizzato con materiale inerte selezionato proveniente da cave, opportunamente frantumato, miscelato nelle percentuali prima indicate e messo in opera per strati successivi, adeguatamente costipati.

Gli studi e le analisi condotte a supporto del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica, avevano verificato la fattibilità della soluzione progettuale prescelta, che risultava idonea a minimizzare il rischio idraulico per le aree edificate della località Calami.

A supporto della Progettazione Esecutiva si è provveduto ad effettuare la presente, dettagliata indagine geologica e geotecnica, tesa ad accertare la sequenza litostratigrafica dei depositi alluvionali caratterizzanti le

aree d'intervento, definendo le caratteristiche geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione, in modo da poter ottimizzare le soluzioni tecniche progettuali.

In conclusione, si può affermare che le opere di Mitigazione del Rischio idraulico proposte, sono perfettamente compatibili con l'assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico dei luoghi e risulteranno efficaci nel contenere le portate di piena del F. Toce con Tr 200 anni, proteggendo le aree edificate del Comune di Vogogna, situate in località Calami e nel territorio posto a tergo del Rilevato ferroviario, nella tratta prossima al confine comunale con Premosello Chiovenda.