



PROVINCIA DI VERBANIA
REGIONE PIEMONTE

COMUNE DI MACUGNAGA

**SISTEMAZIONE IDROGEOLOGICA TORRENTE ANZA ED
AFFLUENTI**

**PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO
INTERVENTI 1 – 4 – 5 – 8**

Progettazione

Studio Geologico EPIFANI dr. FULVIO
Via XX Settembre, 73 – 28041 ARONA (NO)
tel. 0322/241531 - fax 0322/48422
e-mail fulvio.epifani@tin.it

Progettista

dott. geol. Fulvio Epifani

**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E
IDROGEOLOGICA**

codice lavoro

File
Relazione.doc

Scala

Emissione
Giugno 2008

Committente

AMMINISTRAZIONE COMUNALE
Piazza Municipio, 1 – 28876 Macugnaga (VB)

revisione	oggetto	data	controllato
1			
2			
3			
4			
5			

SOMMARIO

1	PREMESSA	2
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	3
2.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO	7
3	ANALISI DEI SETTORI E DELLE OPERE IN PROGETTO	10
4	ANALISI IDROLOGICA	15
4.1	ANALISI MORFOMETRICA	15
4.1.1	Generalità	15
4.1.2	Metodologia utilizzata.....	16
4.1.3	Commento ai dati ottenuti	16
4.2	DETERMINAZIONE CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA	16
4.2.1	Generalità	16
4.2.2	Metodologia utilizzata.....	17
4.2.3	Commento dei dati ottenuti.....	17
4.3	VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA	18
4.4	TRASPORTO SOLIDO.....	20
4.5	VERIFICA DELLE SEZIONI DI DEFLUSSO	22
4.5.1	Considerazioni generali.....	22
4.5.2	Commento dei dati ottenuti.....	23
5	PARAMETRAZIONE GEOTECNICA E CONDIZIONI SISMICHE	26
6	FENOMENI VALANGHIVI	27
7	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	28
	ALLEGATI.....	38

1 PREMESSA

Gli eventi alluvionali verificatisi negli scorsi anni hanno provocato imponenti dissesti nel bacino del torrente Anza, sia nel territorio comunale di Macugnaga che nei comuni sottostanti.

Nell'ottobre 2005 è stato predisposto il progetto preliminare per i lavori di *"Sistemazione idrogeologica del Torrente Anza ed affluenti"*, a firma degli ingegneri S. Chieu e G.P. Bortot.

Tale progetto è stato sottoposto alla fase di verifica della procedura V.I.A. ai sensi della L.R. 40/98 in quanto rientrante nella categoria progettuale B1 n. 15 (opere di regolazione del corso dei fiumi e dei torrenti, canalizzazione e interventi di bonifica idraulica ed altri simili destinati ad incidere sul regime delle acque, compresi quelli di estrazione di materiali litoidi dal demanio fluviale e lacuale) ed è stato escluso dalla fase di valutazione fatto salvo il rispetto delle prescrizioni indicate nella Determinazione Dirigenziale (n. 560 del 07.04.2006).

Lo scrivente è stato ora incaricato di predisporre la relazione geologica, geotecnica e idrogeologica nell'ambito della predisposizione del progetto esecutivo.

Le presenti note vengono redatte secondo quanto disposto dal Decreto Ministeriale 11.03.88 *"NORME TECNICHE RIGUARDANTI LE INDAGINI SUI TERRENI E SULLE ROCCE, LA STABILITÀ DEI PENDII NATURALI E DELLE SCARPATE, I CRITERI GENERALI E LE PRESCRIZIONI PER LA PROGETTAZIONE, L'ESECUZIONE ED IL COLLAUDO DELLE OPERE DI SOSTEGNO DELLE TERRE E DELLE OPERE DI FONDAZIONE"* e dalla Legge Regionale n° 40/98 *"DISPOSIZIONI CONCERNENTI LA COMPATIBILITÀ AMBIENTALE E LE PROCEDURE DI VALUTAZIONE"*.

Si ricorda infine che l'intero territorio comunale di Macugnaga risulta sottoposto a vincolo idrogeologico ai sensi della L.R. 45/89 *"NUOVE NORME PER GLI INTERVENTI DA ESEGUIRE IN TERRENI SOTTOPOSTI A VINCOLO PER SCOPI IDROGEOLOGICI - ABROGAZIONE LEGGE REGIONALE 12 AGOSTO 1981, N°27"*.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Per tentare di capire almeno in parte la complessa geologia della Valle Anzasca, occorre riassumere brevemente i concetti fondamentali della geologia strutturale della catena alpina.

Le Alpi hanno una struttura crostale a doppia vergenza, ossia comprendono due catene a falde che si sono propagate in senso opposto; in particolare si possono distinguere una catena a vergenza europea (o catena alpina in senso stretto), costituita da una sequenza di sistemi tettonici traslati verso l'avanpaese europeo (generalmente verso NO), ed un sistema tettonico meridionale a prevalente vergenza africana (Sud) noto con il termine di Alpi Meridionali o Sudalpino.

La catena alpina a vergenza europea è suddivisa in alcuni elementi strutturali maggiori (sistemi tettonici) in cui sono riuniti gruppi di falde rappresentanti precisi domini paleogeografici.

Facendo riferimento all'attuale struttura delle Alpi si osservano, in successione dall'alto verso il basso e procedendo dalle zone interne della catena verso l'Europa centrale, i seguenti sistemi:

- 1) Sistemi Austroalpini delle Alpi occidentali ed orientali,
- 2) Sistemi tettonici della Zona Pennidica (superiori/interni, intermedi ed inferiori/esterni), dominanti nelle Alpi Occidentali ed ai quali risultano spesso associate alcune unità ofiolitiche di origine oceanica,
- 3) Sistema Elvetico-Delfinese, molto esteso nel settore esterno delle Alpi occidentali e centrali,
- 4) Il bacino della Molassa che si estende dal Lago di Ginevra a Vienna,
- 5) Le sottili falde di scollamento del Giura Svizzero.

Per quanto riguarda invece le Alpi Meridionali, esse sono a contatto con la catena a vergenza europea mediante un lineamento tettonico, detto Periadriatico, che si estende dalla linea del Canavese a quella del Tonale (Insubrica), della Pusteria, della Gailal e delle Karawanken; in un breve tratto del settore nord-occidentale il lineamento si suddivide in due rami che delimitano la ristretta zona tettonica del Canavese interposta fra l'Austroalpino ed il Sudalpino.

Per quanto riguarda la Valle Anzasca, essa è interessata dalle unità tettoniche della catena Europavergente, dall'Austroalpino sino alle falde Pennidiche superiori del Monte Rosa.

Procedendo infatti dall'imbocco della valle a Piedimulera sino alle pendici del Monte Rosa si incontrano dapprima il sistema Austroalpino e successivamente il sistema Pennidico rappresentato principalmente dalla falda del Monte Rosa, separati da una sottile fascia di Ofioliti.

Il sistema Austroalpino.

L'Austroalpino è un tipico sistema composito formato da un elemento inferiore ubiquitario, rappresentato dalla Zona Sesia-Lanzo (separata a SE dalla Linea tettonica del Canavese), e da un elemento superiore, presente solo nel settore in studio ed in aree limitrofe, costituito dalla II Zona dioritico-kinzigitica.

La Zona Sesia-Lanzo in senso stretto, formante l'elemento inferiore, è costituita in prevalenza da gneiss granitici minuti ed occhiadini, parascisti e rocce basiche a dominante impronta alpina e da corpi

intrusivi acidi e basici.

L'elemento superiore (II dioritico-kinzigitica) è un frammento di crosta continentale profonda con locali piccole scaglie di mantello.

Queste due zone sono separate da una zona di laminazione nota in questo settore come Scisti di Fobello e Rimella.

La Falda del Monte Rosa.

Costituisce, come detto, l'unità superiore pennidica ed è formata da parascisti polimetamorfici dominanti nel fondovalle e diffusi sulle testate delle creste e da gneiss occhiadini dominanti nei versanti alle quote più elevate.

Procedendo da Piedimulera a Bannio la strada taglia il settore interno della "zona radicale" retroflessa (forte pendenza a NO) della pila delle falde a vergenza europea attraversando in successione la zona Sesia-Lanzo e la falda pennidica del Monte Rosa.

Le interposte ofioliti Piemontesi sono state, in questo settore, prevalentemente soppresse dal contatto tettonico e si osservano unicamente in sporadici affioramenti nei versanti sopra il tratto Castiglione-Porcaireccia, presso la Frazione Barzona e a Sud di Bannio.

In sinistra orografica si osservano invece la sottile banda di ofioliti di Antrona che separa la falda del Monte Rosa dall'unità media di Camughera.

Ricapitolando è possibile distinguere le seguenti unità:

- a) Scisti di Fobello e Rimella,
- b) II DK (II Zona Dioritico Kinzigitica) appartenente al Dominio austroalpino,
- c) Zona Sesia-Lanzo, elemento inferiore,
- d) Falda del Monte Rosa, parascisti,
- e) Ofioliti Piemontesi in piccole lenti,
- f) Ofioliti di Antrona,
- g) Unità Camughera,
- h) Falda del Monte Rosa, gneiss occhiadini,
- i) Falda del Monte Rosa, metabasiti.

Per quanto riguarda la natura dei litotipi presenti, si tratta di rocce metamorfiche e più precisamente:

- a) Gli Scisti di Fobello e Rimella sono compresi tra la linea tettonica del Canavese, che li separa dalla Zona Ivrea-Verbanese, e la II DK citata in precedenza, e sono costituiti da miloniti e blastomiloniti della Zona Sesia Lanzo accavallatisi per retroscorrimento sopra la Zona Ivrea-Verbanese;
- b) La II Zona Dioritico Kinzigitica del Dominio Austroalpino è interposta fra i precedenti Scisti e la successiva Zona Sesia-Lanzo, è costituita da rocce metamorfiche (Kinzigiti) affioranti in finestra tettonica;
- c) La Zona Sesia-lanzo, elemento inferiore, affiora lungo la parte iniziale della valle, partendo da Piedimulera; i litotipi sono già stati citati in precedenza e sono costituiti principalmente da parascisti e

gneiss;

d) La falda del Monte Rosa nei suoi elementi scistosi (parascisti) affiora con contatto tettonico immediatamente dopo la Zona Sesia-Lanzo, procedendo verso l'interno della valle; ed occupa tutto il fondovalle sino a Borca, affiorando inoltre nel bacino del T. Olocchia ed in parte sulle testate in sinistra orografica;

e) Le Ofioliti Piemontesi affiorano in piccole lenti al contatto fra Sesia-Lanzo e Falda Monte Rosa, presso la località Porcareccia;

f) Le ofioliti dell'Unità di Antrona affiorano in una sottile striscia in sinistra orografica T. Anza nella cresta della Colma, scendono verso il fondo valle sino a Vanzone dove, per la presenza dell'anticlinale di Vanzone, girano aumentando la superficie di affioramento verso la valle di Antrona, sempre in sinistra orografica del T. Anza; sono costituite da metabasalti e serpentiniti e separano la Falda pennidica inferiore del Monte Rosa dall'Unità pennidica media di Camughera;

g) L'Unità di Camughera affiora nel settore settentrionale in sinistra orografica del T. Anza, verso la Valle Antrona, ed è costituita da ortogneiss occhiadini chiari;

h) La Falda del Monte Rosa nei suoi elementi granitoidi affiora lungo tutte le maggiori creste della valle sino al Monte Rosa ed è costituita da gneiss occhiadini;

i) Le metabasiti della Falda del Monte Rosa affiorano in una lente allo sbocco della Val Quarazza nella Valle Anzasca in destra orografica dell'Anza.

Va infine ricordato che la parte alta della Valle Anzasca costituisce il maggior distretto aurifero della Alpi occidentali italiane, l'attività estrattiva è tuttavia ormai cessata, e che le vene aurifere sono ubicate nella Falda del Monte Rosa laddove sono presenti le pegmatiti di anatessi.

Dal punto di vista geomorfologico generale, la zona rispecchia fortemente la morfogenesi glaciale alla quale è stata ed è tuttora sottoposta. La valle principale del torrente Anza è chiaramente riconducibile ad un solco vallivo con forma ad "U", legato al processo di esarazione glaciale, il cui fondo è stato successivamente colmato da sedimenti fluvio-glaciali.

La testata valliva è occupata tuttora dalla lingua glaciale del Belvedere, alimentata dai ghiacciai confluenti della parete orientale del M.te Rosa, del Signal e del Ghiacciaio Nord delle Locce e costretta nel suo tratto di ablazione in due cordoni morenici laterali continui ed evidenti. All'altezza del Rifugio Belvedere la lingua glaciale si biforca in due rami separati tra loro dalle morene di ablazione di recente deposizione: i sedimenti glaciali si rinvergono sino all'altezza dell'abitato di Pecetto, dove passano gradualmente a sedimenti depositi in facies fluvio-glaciale che vanno a saturare l'ampia piana di Pecetto. Nella zona del capoluogo (Staffa) i sedimenti di cui sopra sono ricoperti dagli ampi conoidi di deiezione dei torrenti Tambach e Horlonovo, alimentati dai depositi glaciali e detritici, di recente deposizione, degli alti circhi glaciali del Monte Moro e della Meccia.

In prossimità della stretta di Staffa/Ronco l'andamento altimetrico del fondovalle mostra un netto salto, contraddistinto da alte scarpate di erosione fluviale in sinistra idrografica, al quale corrispondeva verosimilmente un forte gradiente di pendenza del ghiacciaio vallivo, con conseguente perdita di quota sui fianchi della valle: l'ipotesi appare confermata, dal punto di vista geomorfologico, dalla comparsa, ad oriente di questo settore, di valli laterali sospese rispetto al fondovalle, soprattutto quelle meridionali decisamente più sviluppate.

Il fondovalle risulta pertanto meno ampio in questo tratto, anche per la concomitante presenza degli ampi conoidi di deiezione di Isella, il quale devia verso nord il corso dell'Anza, e di Testa, mentre praticamente si annullano le scarpate di erosione fluviale lungo il corso del torrente, il quale risulta libero di vagare nella sua piana, risultando quindi in fase di aggradazione con prevalenza di processi deposizionali. In corrispondenza dell'abitato di Borca il torrente Anza riprende ad assumere un andamento più incassato rispetto al fondovalle fluvioglaciale, andamento che si enfatizza a valle della confluenza con il torrente Quarazza, sino a mettere a nudo i litotipi del substrato.

Le valli minori mostrano anch'esse le tracce di morfogenesi in ambiente glaciale, con successiva evoluzione ad opera dell'incisione fluviale postglaciale.

Dal punto di vista fisiografico generale, la valle dell'Anza è caratterizzata da un prevalente andamento Sud-Nord nel tratto iniziale occupato dalla lingua glaciale del Belvedere, con netta deviazione verso est-sud-est nei pressi di Pecetto; le valli laterali si innestano nel corpo principale generalmente in senso ortogonale, dando luogo ad un reticolato idrografico di tipo conseguente. L'intero sistema vallivo minore è comunque fortemente influenzato dalle condizioni tettoniche e strutturali che governano la disposizione delle valli.

La conformazione del territorio in valle principale longitudinale e valli laterali ortogonali e sospese rispetto al fondovalle, almeno nel tratto centro-orientale, comporta un disequilibrio nel livello di base del reticolato idrografico minore, con alvei soggetti a forte attività erosiva di fondo e mobilitazione di ingenti quantità di materiale solido, al quale contribuiscono i fattori tettonici ed i processi di frana e di degradazione ad essi connessi, la presenza di coperture di depositi glaciali incoerenti e l'acclività generalmente elevata dei versanti. L'alta energia di rilievo e la disponibilità di sedimenti sciolti si esplica nella formazione di numerosi conoidi di deiezione agli sbocchi delle valli laterali nel fondovalle principale, i quali hanno interagito variamente con il corso dell'Anza. I corpi dei conoidi, rilevati rispetto al fondovalle e quindi meno soggetti all'azione ordinaria dell'Anza, sono stati ovviamente sede di espansione urbanistica nel corso dei secoli, rappresentando nel territorio in esame le uniche aree disponibili all'insediamento, se si eccettuano i pianori ad alta quota sede di alpeggi isolati.

In conclusione, l'intensa attività geomorfologica tuttora in evoluzione (glaciale, alluvionale, di conoide, di degradazione dei versanti) può essere letta come il risultato della sommatoria di fattori morfogenetici, dati da tettonica e litologia del substrato, e di processi di esarazione glaciale e di alluvionamento che

hanno variamente modellato il paesaggio.

2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DI DETTAGLIO

Nella "Carta geologica" allegata, in scala 1:10.000, che rappresenta uno stralcio della tavola redatta per la Variante Strutturale al PRGC, a firma dello scrivente, sono state distinte le rocce affioranti e i depositi superficiali.

Per quanto riguarda il substrato roccioso sono state distinte le seguenti unità appartenenti alla Falda del Monte Rosa:

- *Ortogneiss* tabulari e massicci, talora granatiferi,
- *Gneiss minuti* a granato, sillimatite e biotite, con filoni pegmatitici e *micascisti* granatiferi,
- *Graniti* e *gneiss granitici* a grana grossa prevalente, struttura scistosa, massiccia e tabulare; *gneiss occhiadini* con struttura a flaser grossolana,
- *Micascisti* e *cloritoscisti* albitico-muscovitici.

Per quanto riguarda i depositi superficiali sono stati così distinti:

- *diamicton*: il grosso dei depositi glaciali borda lateralmente e frontalmente il Ghiacciaio del Belvedere per poi proseguire nel primo tratto della Valle del Torrente Anza. I restanti affioramenti sono situati a quote elevate, alle testate dei bacini laterali. Si tratta di depositi caratterizzati da intensa eterogeneità granulometrica, generalmente a supporto clastico, talora con sottili coperture pedogenetiche;
- *depositi eluvio-colluviali*: sono distribuiti alla base delle pareti rocciose sia verso il fondovalle che alle quote più elevate e sono costituiti da materiale a pezzatura anche grossolana; in alcuni casi è presente materiale più fine (sabbia limo) che funge da legante;
- *depositi detritici di versante*: si tratta di depositi grossolani, generalmente stabilizzati, ubicati in prossimità delle zone più acclivi e caratterizzati dalla quasi totale assenza di materiale fine;
- *accumuli di frana*;
- *depositi fluvioglaciali*: costituiscono una buona aliquota del fondovalle del Torrente Anza. Si tratta di depositi ghiaioso-sabbiosi e ciottolosi con copertura pedogenetica poco evoluta (entisuoli - inceptisuoli);
- *depositi alluvionali e di contatto glaciale*: si tratta di depositi a granulometria ghiaioso-sabbiosa con ciottoli e blocchi, con copertura pedogenetica scarsa o assente (entisuoli).

Nella "Carta geomorfologica" allegata, in scala 1:10.000, anch'essa uno stralcio della tavola redatta per la Variante Strutturale al PRGC, a firma dello scrivente, sono state distinte varie unità, di seguito descritte:

1. *FORME DI VERSANTE DOVUTE ALLA GRAVITÀ*: si dividono in forme di denudazione e forme di accumulo,

attive o riattivabili e quiescenti.

Le prime consistono di nicchie di frane di crollo o scarpate di denudazione in roccia, diffuse ampiamente su tutti i versanti del territorio comunale. Di dimensioni variabili, sono generalmente connesse a fasce cataclastiche di lineamenti tettonici e danno luogo a forme particolarmente evidenti. Ad esse si associano le scarpate morfostrutturali soggette a distacchi di blocchi, a testimonianza dell'influenza dell'attività tettonica sull'assetto fisiografico del paesaggio.

Sono inoltre state riconosciute alcune frane interessanti le coltri di copertura (genericamente catalogate come scivolamento traslativo). Molto spesso inoltre, la localizzazione prevalente dei dissesti, lungo i versanti o in testata di vallecole incise, non ha consentito la conservazione dell'accumulo di frana, per processi erosionali torrentizi.

Tra le forme di accumulo sono da segnalare, in quanto diffuse su gran parte del territorio, i depositi detritici ed eluvio-colluviali, suddivisi in attivi e stabilizzati con copertura vegetale e già descritti sopra. Ad essi si aggiungono i corpi di frana di crollo, ove chiaramente riconoscibili, ed i conici di detrito. In carta sono stati inoltre riportati i massi, individuati al piede delle pareti rocciose, chiaramente riconducibili a crolli isolati (zona di Borca), nonché i limiti di invasione massi.

2. *FORME FLUVIALI, FLUVIOGLACIALI E DI VERSANTE*: si distinguono in forme di erosione e forme di accumulo, subordinatamente in forme attive e non attive. Tra le prime sono state riconosciute numerose forme legate a morfogenesi lungo versante, strettamente controllate dall'assetto tettonico, litologico e fisiografico locale. Direttamente connesse alla tettonica si segnalano le vallecole a "V", che dissecano profondamente i versanti lungo andamenti rettilinei ed ortogonali alla valle principale, diffuse pressoché ovunque. Collegati all'azione di degradazione superficiale sono le superfici interessate da ruscellamento sia concentrato che diffuso, quest'ultimo ben sviluppato soprattutto nelle aree caratterizzate da depositi glaciali di recente deposizione.

Tra le forme fluviali sono state riconosciute le scarpate di erosione fluviale e le tracce di paleoalveo, entrambe determinate dalla dinamica fluviale del torrente Anza.

Tra le forme di accumulo sono compresi i sedimenti relativi a facies di canale e di barra, quelli riferibili a deposizione in facies fluvioglaciale (così definibile in relazione alla morfologia, alla facies dei sedimenti che la costituiscono e agli effetti degli eventi alluvionali avvenuti in passato) ed i conoidi alluvionali.

Per quanto riguarda i conoidi di deiezione, questi sono diffusamente presenti lungo l'intero asse vallivo principale. Posti alla confluenza delle valli secondarie con quella principale, sono nella quasi totalità dei casi da ritenersi attivi o riattivabili: sono alcune porzioni distali del conoide del Rio di Isella e in loc. Motta appaiono, ad un esame storico e morfologico, stabilizzati naturalmente. Per limitare l'attività erosiva dei corsi d'acqua che insistono sui corpi di conoide ed arginare i *debris flow*, con grave rischio per gli insediamenti, sono stati messi in opera, in tempi diversi, interventi migliorativi di canalizzazione, stabilizzazione ed arginatura, relativamente agli apparati di maggior dimensione (Tambach ed

Horloveno).

3. *FORME ED ELEMENTI DELL'IDROGRAFIA*: nella tavola sono individuati gli ambiti caratterizzati da drenaggio difficoltoso delle acque superficiali del reticolato idrografico minore, ubicate nella zona di Pecetto tra il versante e il conoide del Tambach. Sono inoltre stati perimetrati i principali alvei attivi.

4. *FORME GLACIALI*: le forme di erosione comprendono, in carta, le creste e gli orli di circo e le soglie di valli sospese, mentre quelle di accumulo comprendono i sedimenti in facies di ablazione o di alloggiamento, distinti in base alla loro "freschezza", con indicazione dei cordoni morenici.

3 ANALISI DEI SETTORI E DELLE OPERE IN PROGETTO

Passando ad esaminare in dettaglio i settori evidenziati, è possibile affermare quanto segue:

SETTORE 1

Il flusso delle acque del Rio Pedriola, caratterizzato da elevato trasporto solido, ha dato luogo in passato, nel corso di eventi meteorici significativi, a fenomeni erosivi in sponda sinistra, che hanno richiesto la realizzazione di opere di difesa costituite da un argine e soglie di fondo.

Le condizioni di pericolosità rendono necessario il completamento delle opere esistenti: in particolare, in questo settore è previsto il completamento dell'argine con massi di cava a secco e la realizzazione di una soglia di fondo rivestita in blocchi di pietrame intasati con calcestruzzo, oltre al disalveo con il deposito del materiale a tergo dell'opera di difesa e inerbimento.

Da un punto di vista geologico tali opere andranno ad insistere sui depositi alluvionali.

SETTORE 4

In corrispondenza dell'intersezione tra la pista da sci e il Rio Roffel, in caso di piena, è stato evidenziato come sia possibile l'esondazione del torrente in sinistra idrografica, in quanto l'evidente esiguità dell'argine naturale non garantisce un'adeguata difesa.

I lavori previsti consistono in:

- realizzazione di una scogliera in massi di cava, con riempimento a tergo eseguito con materiale di recupero ricoperto da terra da coltivo, opportunamente rinverdito, in sinistra idrografica a monte e a valle dell'attraversamento. La stabilità dell'opera è garantita da una fondazione in calcestruzzo armato onde evitare eventuali scalzamenti ad opera dell'azione dell'acqua
- disalveo del bacino a monte della briglia filtrante
- taglio della vegetazione in alveo a valle dell'attraversamento
- adeguamento dell'attraversamento esistente mediante la sostituzione dei 4 tubi in cls del diametro di 100 cm con 2 manufatti scatolati in c.a. prefabbricato di dimensioni pari a 3x2 m
- inserimento di una controbriglia in cls ricoperta con lastroni in pietra a valle della briglia filtrante
- realizzazione di una massicciata in pietrame nel tratto compreso tra la briglia filtrante e l'attraversamento e per alcuni metri a valle dello stesso

Le opere saranno impostate in parte sui depositi alluvionali del corso d'acqua ed in parte sui depositi fluvioglaciali.

SETTORE 5

Da un punto di vista geologico l'area è impostata su depositi di conoide attiva. Tali depositi, estremamente incoerenti, favoriscono la migrazione dell'alveo del corso d'acqua, a carattere avventizio, e la rimobilizzazione dei materiali che costituiscono il conoide durante i diversi eventi alluvionali. Questo fenomeno ha provocato in più di un'occasione fenomeni esondativi e l'alluvionamento dell'area di conoide.

In questo settore è previsto il rimodellamento dell'alveo a monte della strada vicinale vecchia del Tambach per convogliare il deflusso al tombino esistente ed alla successiva canalizzazione.

Per quanto riguarda il tombino esistente, alquanto ammalorato, è previsto il consolidamento delle fondazioni e il rifacimento della massiciata di fondo in pietrame e calcestruzzo.

Contestualmente al rimodellamento dell'alveo è prevista la realizzazione di una scogliera in fregio alla strada e di un muro d'ala, entrambi in massi intasati con cls, al fine di impedire l'esondazione del corso d'acqua.

Per evitare l'intasamento del tratto tombinato e la migrazione dell'alveo, è prevista la realizzazione di una briglia a formare un piccolo invaso che favorirà la sedimentazione del trasporto solido che dovrà periodicamente essere asportato.

Gli interventi appena descritti, oltre ad impedire esondazioni in periodi di piena, favoriranno la stabilizzazione generale dell'area che ne trarrà giovamento anche dal punto di vista ambientale permettendo la colonizzazione naturale della zona ad opera della vegetazione.

Come accennato, gli interventi in oggetto interessano depositi in facies di conoide alluvionale.

SETTORE 8

L'area in esame è impostata sui depositi di conoide attiva del Rio Tambach, che presenta una portata discreta anche in periodi di magra ed è caratterizzato da una notevole capacità erosiva.

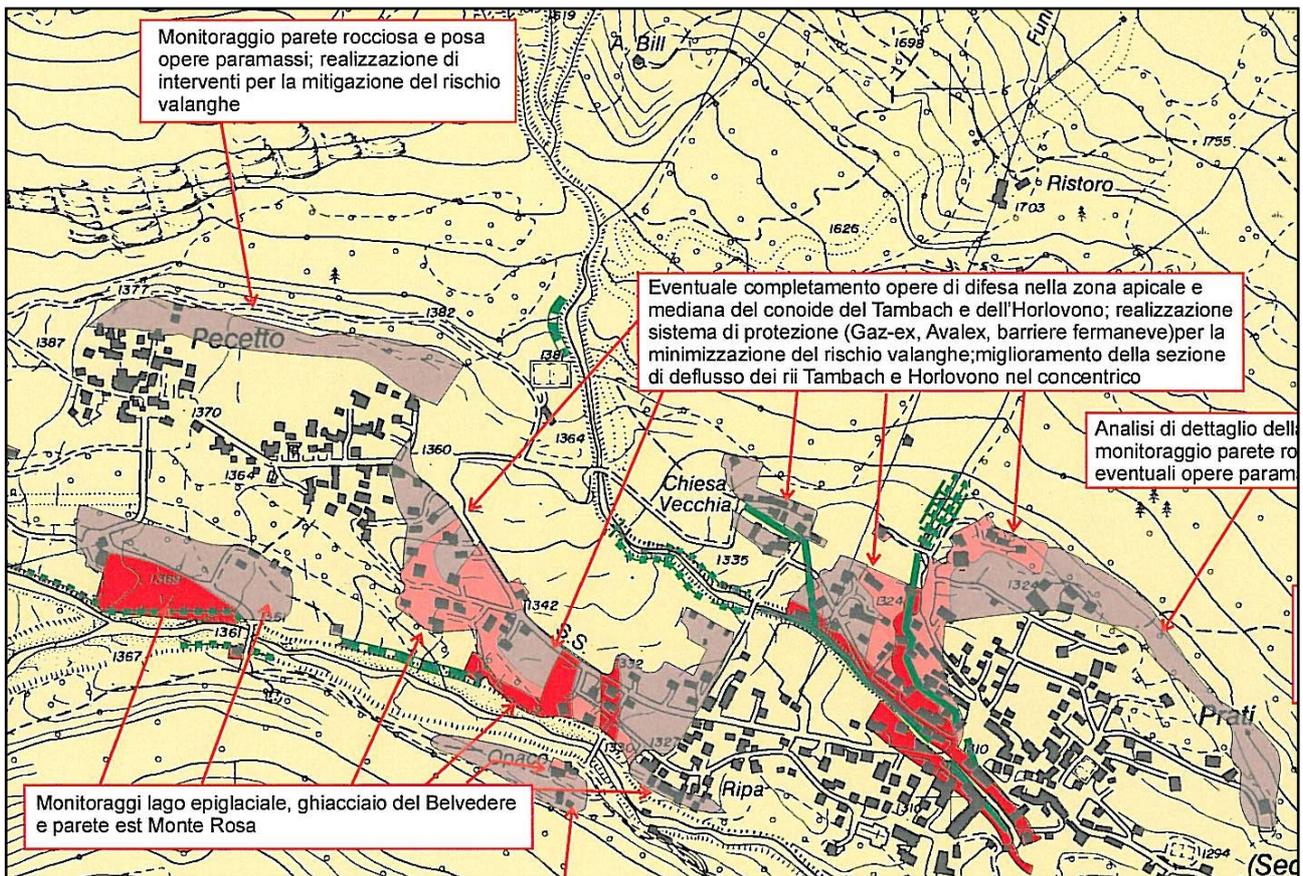
In sponda sinistra, a poca distanza dall'alveo, è presente l'abitato di "Chiesa Vecchia" che può essere interessato da fenomeni esondativi, in caso di eventi alluvionali a carattere eccezionale.

Attualmente, infatti, l'argine naturale del corso d'acqua in sponda sinistra appare modesto e non in grado di opporre adeguata protezione in caso di piena.

In sponda destra, per un tratto, è già presente una difesa spondale in massi ciclopici. L'opera esistente, però, se non completata, appare inefficace a svolgere la sua funzione protettiva in quanto, in caso di piena, le acque riuscirebbero ad aggirarla facilmente rischiando altresì di minarne la stabilità.

In quest'area è prevista la formazione di un rilevato di contenimento in sinistra idrografica del Tambach, a monte del ponte, posizionato in maniera tale da contenere anche il rio Bil. Il corpo del rilevato è costituito da materiale di riporto proveniente dagli scavi, ricoperto con terra vegetale inerbita, mentre il paramento lato rio è costituito da blocchi lapidei ed è previsto l'inserimento di talee.

Si sottolinea che tale intervento è coerente con le previsioni di P.R.G.C., come si può osservare dallo stralcio di seguito allegato della Carta del "Cronoprogramma degli interventi di riassetto", in scala 1:10.000, facente parte degli elaborati geologici a corredo della Variante Strutturale al Piano Regolatore Comunale a firma dello scrivente.



In destra idrografica, a valle del ponte, è invece previsto il completamento della difesa spondale esistente mediante una scogliera in massi di cava a secco, con fondazione in massi intasati in cls, con riempimento a tergo mediante terreno vegetale da inerbire.

Proseguendo verso valle, è prevista la rettifica della sponda destra, con conseguente ampliamento della sezione di deflusso, mediante la realizzazione di una scogliera in massi ciclopici non cementati e la realizzazione di una nuova soglia di stabilizzazione dell'alveo.

In loc. Staffa è prevista la realizzazione di una piccola scogliera in destra idrografica, immediatamente a valle del ponte della strada comunale, in massi non cementati.

Dal punto di vista geologico l'opera è impostata sui depositi alluvionali.

SETTORE AGGIUNTO

In quest'area è previsto un intervento di ricostruzione della scogliera a sostegno della strada comunale a valle del ponte Borca-Fornarelli, in destra idrografica del torrente Anza, che risulta dissestata.

Dal punto di vista geologico l'opera è impostata sui depositi alluvionali.

4 COMPATIBILITÀ CON LA NORMATIVA P.A.I.

Come illustrato nel capitolo precedente il progetto, predisposto dall'ing. Paolo Bortot, è stato redatto per garantire la maggiore sicurezza di alcuni settori del territorio comunale di Macugnaga, interessati da importanti dissesti in occasione degli eventi alluvionali verificatisi negli scorsi anni.

Le opere previste possono essere così riassunte

- rimodellamento, disalveo e taglio della vegetazione in alveo;
- realizzazione di argini con massi di cava a secco;
- realizzazione di soglie di fondo rivestite in blocchi di pietrame;
- formazione di rilevati di contenimento;
- adeguamento di attraversamenti esistenti.

Per la verifica della compatibilità degli interventi previsti in progetto con il P.A.I., si è fatto riferimento alle "NORME DI ATTUAZIONE" del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico, adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 in data 26 aprile 2001.

L'art. 1, al terzo comma, esplicita che il Piano "...persegue l'obiettivo di garantire al territorio del bacino del fiume Po un livello di sicurezza adeguato rispetto ai fenomeni di dissesto idraulico e idrogeologico, attraverso il ripristino degli equilibri idrogeologici e ambientali, il recupero degli ambiti fluviali e del sistema delle acque, la programmazione degli usi del suolo ai fini della difesa, della stabilizzazione e del consolidamento dei terreni, il recupero delle aree fluviali, con particolare attenzione a quelle degradate..." e che tale obiettivo deve essere raggiunto, tra gli altri, attraverso "...la moderazione delle piene, la difesa e la regolazione dei corsi d'acqua, con specifica attenzione alla valorizzazione della naturalità delle regioni fluviali; la definizione delle esigenze di manutenzione, completamento ed integrazione dei sistemi di difesa esistenti in funzione del grado di sicurezza compatibile e del loro livello di efficienza ed efficacia; la definizione di nuovi sistemi di difesa, ad integrazione di quelli esistenti, con funzioni di controllo dell'evoluzione dei fenomeni di dissesto, in relazione al grado di sicurezza da conseguire...".

Tale concetto viene ulteriormente esplicitato nell'art. 14 ove si afferma che "...Il Piano ha l'obiettivo di promuovere gli interventi di manutenzione del territorio e delle opere di difesa, quali elementi essenziali per assicurare il progressivo miglioramento delle condizioni di sicurezza e della qualità ambientale e paesaggistica del territorio; in particolare di mantenere in buono stato idraulico e ambientale il reticolo idrografico, eliminando gli ostacoli al deflusso delle piene in alveo e in golena ... in piena funzionalità le opere di difesa essenziali alla sicurezza idraulica e idrogeologica...".

Gli interventi sono ubicati in aree classificate come Ee (aree esondabili ad intensità elevata), Cae1 (conoide a pericolosità naturale molto elevata senza interventi di mitigazione) e Cae2 (conoide a pericolosità naturale molto elevata con interventi di mitigazione migliorativi).

L'art. 9, ai punti 5 (aree Ee) e 7 (aree Ca) indica, esplicitamente che nelle sopra citate aree sono consentite "...le opere di difesa, di sistemazione idraulica e di monitoraggio dei fenomeni...".

Per quanto concerne infine le operazioni di rimodellamento e disalveo, l'art. 34 punto 3 precisa che "gli interventi di manutenzione idraulica possono prevedere l'asportazione di materiale litoide dagli alvei, in accordo con quanto disposto all'art. 97, lettera m) del R.D. 25 luglio 1904, n. 523, se finalizzata esclusivamente alla conservazione della sezione utile di deflusso, al mantenimento della officiosità delle opere e delle infrastrutture, nonché alla tutela dell'equilibrio geostatico e geomorfologico dei terreni interessati e alla tutela e al recupero ambientale...".

Premesso quanto sopra, si ritiene di poter affermare che **gli interventi previsti nel presente progetto sono assolutamente compatibili con quanto previsto dalle norme del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico.**

5 ANALISI IDROLOGICA

In questo capitolo verrà affrontata l'analisi idrologica relativa ai corsi d'acqua ritenuti maggiormente critici, vale a dire al rio Roffel (settore 4) e al Rio Tambach (settore 8).

5.1 ANALISI MORFOMETRICA

5.1.1 Generalità

Per i bacini in esame si è avuta premura di definire innanzitutto la curva ipsometrica, applicando la metodologia di seguito descritta.

La curva si traccia in base alle altezze e alle rispettive aree cumulate, suddividendo il bacino in intervalli di quota, da quella minima alla massima, e valutando l'area del bacino che ricade in ogni intervallo. Si devono quindi eseguire i rapporti tra le aree dei singoli intervalli (a) e l'area totale del bacino (A), e quelli tra i dislivelli degli intervalli rispetto al piano di base (h) ed il dislivello totale del bacino (H). La funzione della curva che si ottiene è del tipo:

$$y = f(x), \text{ dove:}$$

- $y = h/H$;
- $x = a/A$.

Dalla curva ipsometrica si ricava l'altezza media del bacino, risolvendo il seguente integrale:

$$Hm = (1/A) \cdot \int_A a_i \cdot h_i, \text{ in cui:}$$

- A = area totale del bacino;
- a_i = area del bacino compresa nell'intervallo i -esimo di quota;
- h_i = altitudine media dell'intervallo di quota i -esimo.

L'analisi della curva ottenuta permette di valutare il grado di evoluzione raggiunto dal bacino esaminato.

In merito allo stadio evolutivo di un bacino si deduce che esso può trovarsi in una delle seguenti fasi:

FASE	CONSIDERAZIONI
GIOVANILE	La curva ipsometrica presenta una prevalente convessità verso l'alto con un valore medio dell'integrale superiore al 60%.
MATURA	La curva ipsometrica presenta un flesso prossimo al 50%.
SENILE	La curva ipsometrica presenta una prevalente concavità verso l'alto con un valore medio dell'integrale inferiore al 30%.

È bene puntualizzare che in una curva ipsometrica la distribuzione relativa delle aree e delle quote è subordinata alla forma della proiezione orizzontale del bacino sulla carta topografica: la curva assume un significato positivo solo se la forma del bacino stesso è regolare e di tipo subrettangolare, cosa difficile da verificarsi. Bisogna quindi limitare l'analisi alla parte centrale della curva ipsometrica, cioè quella compresa tra il 15% e l'85% dell'area totale, in quanto è quella che permette l'indagine

appropriata del grado di evoluzione raggiunto.

5.1.2 Metodologia utilizzata

Sono state calcolate le superfici dei bacini sottesi alle sezioni di chiusura prese in esame distinguendo le diverse fasce altimetriche con un dislivello di 500 m (si faccia riferimento alla tavola in scala 1:25.000 allegata); si è quindi determinata l'altezza media e il conseguente grado di maturità.

5.1.3 Commento ai dati ottenuti

Le superfici delle fasce altimetriche risultano così ripartite:

FASCIA ALTIMETRICA (m s.l.m.)	SUPERFICIE (km ²)		
	TORRENTE ANZA	RIO ROFFEL	RIO TAMBACH
1000-1500	8,90	0,08	0,08
1500-2000	19,14	0,59	1,02
2000-2500	30,00	1,18	1,68
2500-3000	19,73	1,46	1,62
3000-3500	8,04	0,54	0,19
3500-4000	2,45	-	-
4000-4500	1,08	-	-
4500-5000	0,06	-	-

Dall'elaborazione delle curve ipsografiche, l'altitudine media del bacino del Rio Roffel è pari a 2.483,7 m s.l.m. e quella del Rio Tambach pari a 2.336,2 m s.l.m.

Dal momento che gli integrali delle curve sono pari rispettivamente al 36,0%, al 52,3% e al 53,3%, ne deriva che i bacini si trovano in *fase matura*.

Si riassumono di seguito i dati relativi ai bacini in esame:

BACINO CORSO D'ACQUA	SUPERFICIE (kmq)	LUNGHEZZA CORSO D'ACQUA (km)	QUOTA MASSIMA (m s.l.m.)	QUOTA MINIMA (SEZIONE CHIUSURA) (m s.l.m.)	ALTEZZA MEDIA (m s.l.m.)
Rio Roffel	3,85	3,18	3.455	1.420	2.483,7
Rio Tambach	4,59	3,14	3.204	1.345	2.336,2

5.2 DETERMINAZIONE CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA

5.2.1 Generalità

L'analisi idrologica è stata effettuata al fine di valutare la portata totale afferente a ciascun bacino e sottobacino preso in considerazione.

La stima quantitativa delle portate massime addotte è stata eseguita mediante la determinazione della *curva di probabilità pluviometrica*, ovvero della relazione che correla l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno, mediante l'espressione:

$$h_t = a \cdot t^n$$

in cui h_t rappresenta appunto il massimo valore annuale di precipitazione di durata t che può essere eguagliato o superato mediamente una volta ogni T anni, dove T è il cosiddetto "Tempo di ritorno", mentre a ed n sono due coefficienti caratteristici della curva anch'essi funzione del tempo di ritorno, in particolare a = altezza di pioggia critica della durata di 1 ora in mm, ed n = valore costante caratteristico della stazione di riferimento o del bacino in esame.

Al fine di usufruire di una discretizzazione oggettivamente riconosciuta dei dati di precipitazione, sono stati applicati i parametri contenuti nell'Allegato 3 (*Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense - Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni*) della "DIRETTIVA SULLA PIENA DI PROGETTO DA ASSUMERE PER LE PROGETTAZIONI E LE VERIFICHE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA", nell'ambito del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del Bacino del Fiume Po.

5.2.2 Metodologia utilizzata

La stima delle curve di probabilità pluviometrica nelle stazioni di misura è stata effettuata sulla base delle serie storiche dei massimi annuali delle altezze di precipitazione della durata di 1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive, definendo i parametri a ed n per i tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni. Non potendo disporre di dati puntuali su tutto il territorio, al fine comunque di fornire uno strumento per l'analisi di frequenza delle piogge intense nei punti privi di misure dirette, è stata condotta un'interpolazione spaziale con il metodo di Kriging dei parametri a ed n delle curve di probabilità pluviometrica, discretizzate in base a un reticolo di 2 km di lato.

La discretizzazione permette il calcolo delle curve in qualsiasi punto del bacino.

Per il calcolo delle suddette curve di probabilità pluviometrica si è provveduto come prima operazione, a sovrapporre la base topografica con tracciati i bacini presi in esame sulla cartografia prodotta dall'Autorità di Bacino del fiume Po, alla scala 1: 250.000. La tavola in questione è suddivisa in un reticolo a maglie quadrate, "celle" di lato 2 km: sovrapponendo i limiti dei bacini in studio si sono calcolate le porzioni areali ricadenti in ciascuna cella, contraddistinta da una sigla (formata da due lettere e da un numero, es. CD 120). Ogni cella è caratterizzata da una serie di valori per i coefficienti a ed n , relativi ai tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni: conoscendo l'area effettiva compresa in ciascuna "cella", si è effettuata una media ponderata rispetto all'area complessiva del bacino, arrivando così alla determinazione dei parametri a ed n , relativi ai tempi di ritorno indicati, caratteristici di ogni bacino considerato.

5.2.3 Commento dei dati ottenuti

Le curve di probabilità pluviometrica, di ciascun bacino, per i tempi di ritorno T_r presi in considerazione 20, 100 e 200 anni sono riportate nella tabella sottostante:

CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA			
BACINO	Tr = 20 anni	Tr = 100 anni	Tr = 200 anni
Roffel	$h = 27,85 \cdot t^{0,582}$	$h = 34,76 \cdot t^{0,586}$	$h = 37,73 \cdot t^{0,587}$
Tambach	$h = 29,31 \cdot t^{0,584}$	$h = 36,63 \cdot t^{0,587}$	$h = 39,78 \cdot t^{0,588}$

Si precisa che entrambi i parametri a ed n variano, in particolare:

- il valore a aumenta con l'incremento del tempo di ritorno;
- il valore n diminuisce con il crescere del tempo di ritorno.

5.3 VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA

Le procedure adottabili per la stima delle portate di piena di un qualsiasi corso d'acqua si differenziano in funzione della disponibilità di serie storiche di dati idrologici significativi.

La situazione più favorevole si ha quando nella sezione di interesse sono disponibili valori di portata misurati per un periodo di osservazione sufficientemente lungo; poiché tale situazione si verifica raramente, a causa del modesto numero di stazioni di misura esistenti e del ridotto periodo di osservazione disponibile per alcune di esse, nella maggior parte dei casi si è nelle condizioni di dover stimare i valori delle portate di piena con metodi indiretti.

In tal caso le procedure a cui far riferimento sono le seguenti:

- impiego di modelli di regionalizzazione del dato idrometrico, costruiti tramite l'analisi statistica dei dati idrologici disponibili relativi a una porzione di territorio "regione idrologica", omogenea rispetto ai fenomeni di piena;
- analisi statistica delle osservazioni pluviometriche relative al bacino idrografico sotteso alla sezione di studio e impiego di modelli afflussi-deflussi per la trasformazione in portate.

Nel caso in esame, non disponendo di un modello di regionalizzazione applicabile al territorio considerato, si è fatto ricorso alla procedura indicata nella seconda categoria, in particolare all'applicazione del cosiddetto metodo razionale.

La formula di questo metodo risulta:

$$Q_{\max} (mc / s) = 0.277 \frac{c_a h A}{\tau_c}$$

dove:

- Q_{\max} (mc/s) = portata di massima piena al colmo per un dato tempo di ritorno;
- c_a = coefficiente di afflusso, variabile da 0 a 1;
- A (kmq) = area del bacino;
- h (mm) = altezza di precipitazione ragguagliata riferita a τ_c per un dato tempo di ritorno;
- τ_c (h) = tempo di corrvazione.

Questo metodo considera il bacino idrografico come una singola unità e stima il valore al colmo della

portata con le seguenti assunzioni:

- ✓ la precipitazione è uniformemente distribuita sul bacino;
- ✓ la portata stimata ha lo stesso tempo di ritorno T_r di quello dell'intensità di pioggia;
- ✓ il tempo di formazione del colmo di piena è pari a quello della fase di riduzione;
- ✓ l'intensità di pioggia ha una durata pari a quella del *tempo di corrivazione* t_c .

Per **tempo di corrivazione** s'intende il tempo necessario affinché le acque di afflusso meteorico raggiungano la sezione di chiusura del bacino, rispetto alla quale viene eseguito il calcolo della portata di massima piena, partendo dai punti più lontani del bacino; una definizione forse migliore è che esso rappresenta l'intervallo di tempo dall'inizio della precipitazione, oltre al quale tutto il bacino contribuisce al deflusso nella sezione terminale.

Questo parametro è una costante per ogni bacino, in quanto funzione esclusivamente della morfologia, delle litologie affioranti e della copertura vegetale.

Per il calcolo del tempo di corrivazione nel nostro caso è stata utilizzata la formula di Giandotti così espressa:

$$t_c(h) = (4 \cdot \sqrt{A_b} + 1,5 \cdot L) / (0,8 \cdot \sqrt{H_m - H_0})$$

dove:

- A_b (Kmq) = superficie del bacino;
- L_p (Km) = lunghezza dell'asta principale;
- H_m (m s.l.m.) = altitudine media del bacino sul livello del mare;
- H_0 (m s.l.m.) = altitudine in corrispondenza della sezione di chiusura.

L'altezza dell'afflusso meteorico, in un intervallo di tempo uguale alla durata del tempo di corrivazione, per un tempo di ritorno fissato, può essere ricavato imponendo, nelle equazioni delle curve di probabilità pluviometrica precedentemente trovate, al posto di t il tempo di corrivazione del bacino in esame.

Relativamente al **coefficiente di ragguglio** si puntualizza che si tratta di un fattore moltiplicativo, variabile da 0 a 1: esso tiene conto del fatto che l'altezza di precipitazione tende a diminuire all'aumentare dell'area interessata dall'evento meteorico. Le altezze di precipitazioni misurate alle stazioni pluviometriche sono infatti dati puntuali e vanno corretti in funzione dell'area sulla quale si considera distribuito l'evento piovoso.

A favore della sicurezza, tale coefficiente è stato posto uguale a **1**.

La valutazione del **coefficiente di afflusso** è molto difficile e costituisce il maggiore elemento di incertezza nel computo della portata. Nel caso in esame è stato stimato un valore di 0,7 in funzione dell'elevata percentuale di roccia affiorante o subaffiorante.

Alla luce di quanto sopra riportato, si riassumono nella tabella seguente i parametri calcolati, ossia il

tempo di corrivazione che si ricorda essere stato ricavato con la formula di Giandotti, il coefficiente di ragguglio (calcolato con Desbordes et Alii) e il coefficiente di afflusso:

BACINO	TEMPO DI CORRIVAZIONE (ore)	COEFFICIENTE DI RAGGUAGLIO	COEFFICIENTE DI AFFLUSSO
Roffel	0,48	1	0,7
Tambach	0,53	1	0,7

Attraverso i tempi di corrivazione t_c indicati, e con i valori di a ed n delle curve di probabilità pluviometrica relative ai citati tempi di ritorno (20, 100 e 200 anni), si è quindi passati alla determinazione delle altezze di pioggia: avendo trovato tutti i parametri necessari alla valutazione delle portate di piena con il metodo razionale, si riassumono nella tabella sottostante i rispettivi valori:

BACINO	TEMPI DI RITORNO					
	20 anni		100 anni		200 anni	
	h (mm)	Q (m ³ /sec)	h (mm)	Q (m ³ /sec)	h (mm)	Q (m ³ /sec)
Roffel	18,24	30,08	22,70	37,44	24,62	38,01
Tambach	20,17	34,05	25,16	42,47	27,30	46,09

5.4 TRASPORTO SOLIDO

Non potendo disporre di dati riguardanti le misure di trasporto solido del T. Anza e dei suoi affluenti, in quanto non esistono misurazioni di questo tipo da parte di alcun Ente, né potendo effettuare le analisi granulometriche del materiale in alveo per condizioni logistiche proibitive, ci si è dovuti limitare ad una stima di massima dei materiali in alveo tuttora presenti.

Va innanzitutto considerato che l'estrema eterometria dei sedimenti presenti nell'alveo del T. Anza, sebbene non sia stato possibile quantificare le percentuali delle diverse frazioni granulometriche, è testimonianza di un'energia della corrente piuttosto elevata e della presenza di diversi tipi di trasporto solido.

E' bene infatti ricordare che il trasporto di sedimenti da parte di un corso d'acqua è generalmente classificato in tre modi, a seconda delle modalità di trasporto stesso:

- a) trasporto per soluzione o in sospensione colloidale,
- b) trasporto per sospensione,
- c) trasporto per trascinamento o convogliamento al fondo.

I primi due modi, che costituiscono il trasporto di corrente, avvengono con continuità, mentre il terzo, che costituisce il trasporto di fondo o di alveo, è discontinuo sia nel tempo che nello spazio.

Infine quest'ultimo tipo di trasporto può svolgersi in tre forme non sempre differenziabili fra di loro, ossia:

c1) trasporto di fondo per trascinamento,

c2) trasporto di fondo per rotolamento,

c3) trasporto di fondo per saltazione.

Trascurando il primo tipo di trasporto (quello in soluzione), assolutamente irrilevante ai fini del presente studio, è sicuramente possibile affermare che il T. Anza è caratterizzato da un trasporto in sospensione costante lungo tutto il corso ed anche costante nel tempo, tuttavia, esso non risulta essere il tipo di trasporto predominante (la percentuale di fine, trasportabile in sospensione, non è elevatissima).

Viceversa il trasporto di fondo, benché sia particolarmente presente nei periodi dell'anno in cui maggiori sono le portate liquide e la velocità del corso d'acqua, e non sia quindi continuo nel tempo e nello spazio, tuttavia sembra essere il tipo di trasporto dominante vista la granulometria grossolana dei depositi in alveo, anche verso lo sbocco nel F. Toce.

Un'ulteriore testimonianza di un'intensa attività di trasporto in tutto l'arco dell'anno è data dalla presenza di un'ampia conoide di sbocco del T. Anza nel F. Toce, che per la sua persistente attività tende a modificare il corso del Toce stesso spingendolo verso Est.

Il calcolo della portata solida è stato condotto per l'evento di progetto con tempo di ritorno di 200 anni utilizzando le formulazioni empiriche proposte dalla letteratura per alvei fluviali caratterizzati da elevate pendenze.

Di seguito vengono riportate le diverse formule utilizzate per la valutazione del trasporto solido:

$$\text{SCHOKLITSCH} \rightarrow Q_s = 0,94 \cdot q_{liq} \cdot i^{1,5}$$

$$\text{SMART \& JAEGGI} \rightarrow Q_s = 2,55 \cdot q_{liq} \cdot i^{1,6}$$

$$\text{RICHENMANN} \rightarrow Q_s = 5,83 \cdot q_{liq} \cdot i^2$$

$$\text{MIZUYAMA \& SHIMOHIGASHI} \rightarrow Q_s = 8,36 \cdot q_{liq} \cdot i^2$$

$$\text{MIZUYAMA} \rightarrow Q_s = 5,5 \cdot q_{liq} \cdot i^2$$

Come si può notare, in tutte le formule, espresse in forma semplificata, la portata solida è funzione della portata liquida per unità di larghezza e della pendenza dell'asta principale.

Nel caso in esame si è scelto di adottare la formula di Smart & Jaegge, valida per alvei con pendenza media del 3÷20%, per il torrente Anza, e la formula di Schoklitsch, valida per piene in grado di mobilizzare tutto il materiale di fondo, per il rio Roffel e il rio Tambach.

Nella tabella sottostante vengono riassunti i parametri relativi ai bacini considerati e la portata totale di riferimento per un tempo di ritorno duecentennale:

BACINO	Pendenza asta principale (i%)	Q liquida (mc/sec)	Q solida (mc/sec)	Q TOTALE (mc/sec)
Roffel	42%	38,01	24,01	≈ 62
Tambach	54%	46,09	17,19	≈ 63

5.5 VERIFICA DELLE SEZIONI DI DEFLUSSO

5.5.1 Considerazioni generali

La portata che defluisce per una determinata sezione d'alveo è fornita dalla relazione:

$$Q (mc/s) = A \cdot v_m, \text{ dove:}$$

- $A (mq)$ = area della sezione trasversale dell'alveo;
- $v_m (m/s)$ = velocità media della corrente.

Assumendo il criterio del moto uniforme, cioè immaginando che la linea piezometrica abbia la stessa inclinazione dell'alveo nella direzione della corrente, criterio valido in corsi d'acqua a debole pendenza, la velocità media della corrente può essere espressa dalla relazione Manning-Strickler:

$$v_m (m/s) = K_s \times R_h^{2/3} \times (i/100)^{1/2}, \text{ dove:}$$

- $K_s (m^{1/3}s^{-1})$ = coefficiente di resistenza di Strickler;
- $R_h (m)$ = raggio idraulico = Area/Perimetro bagnato;
- $i (%)$ = pendenza dell'alveo nel tratto considerato.

Valutata la velocità della corrente, noto il valore dell'area della sezione del corso d'acqua, si può calcolare la portata smaltibile, da confrontare con la portata di piena di riferimento.

Per i valori di K_s (Strickler) in letteratura vengono proposti i valori presentati nella seguente tabella:

Tipo superficie	K_s ($m^{1/3}s^{-1}$)
CANALI APERTI ($R_h \approx 1$)	
<i>Rivestiti con:</i>	
conglomerati bituminosi	57-75
mattoni	57-72
calcestruzzo	57-77
pietrame ad opera incerta	20-50
pietre	15-30
<i>Scavati o dragati:</i>	
in terra diritti ed uniformi	30-60
in terra con curve uniformi	20-50
in terra senza manutenzione o in roccia	20-50
CORSI D'ACQUA MINORI ($R_h \approx 2$) (larghezza in piena < 30 m)	
con sezioni regolari	20-45
con sezioni irregolari	15-25
torrenti con pochi massi	20-35
torrenti con grossi massi	15-25
CORSI D'ACQUA MAGGIORI ($R_h \approx 4$) (larghezza in piena ≥ 30 m)	
con sezioni regolari	30-45
con sezioni irregolari	20-30
AREE GOLENALI	
a pascolo	20-40
coltivate	20-50
con vegetazione spontanea	20-30

5.5.2 Commento dei dati ottenuti

Avendo calcolato le portate totali (trasporto liquido + trasporto solido) per tempi di ritorno duecentennali per i tre bacini in esame, si è proceduto alla verifica delle sezioni di progetto forniteci dall'ing. Gian Paolo Bortot.

SETTORE 4 (RIO ROFFEL)

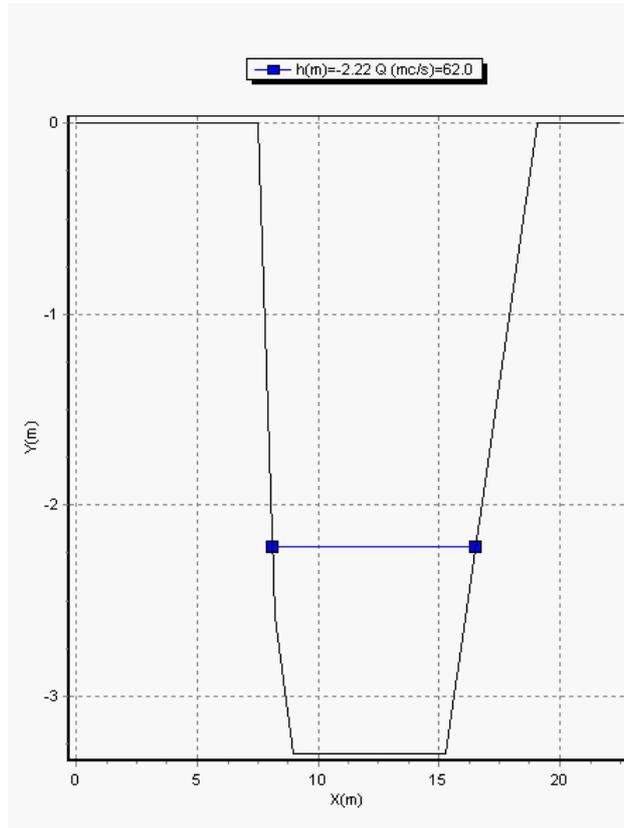
La pendenza media del rio nel tratto interessato dalle opere in progetto è stata valutata pari al 12%, mentre in corrispondenza dell'attraversamento è pari al 6%.

In considerazione delle caratteristiche dell'alveo, si è ritenuto adeguato attribuire un coefficiente di Strickler pari a 25 ($m^{1/3}s^{-1}$) per le sezioni aperte e pari a 60 ($m^{1/3}s^{-1}$) per l'attraversamento.

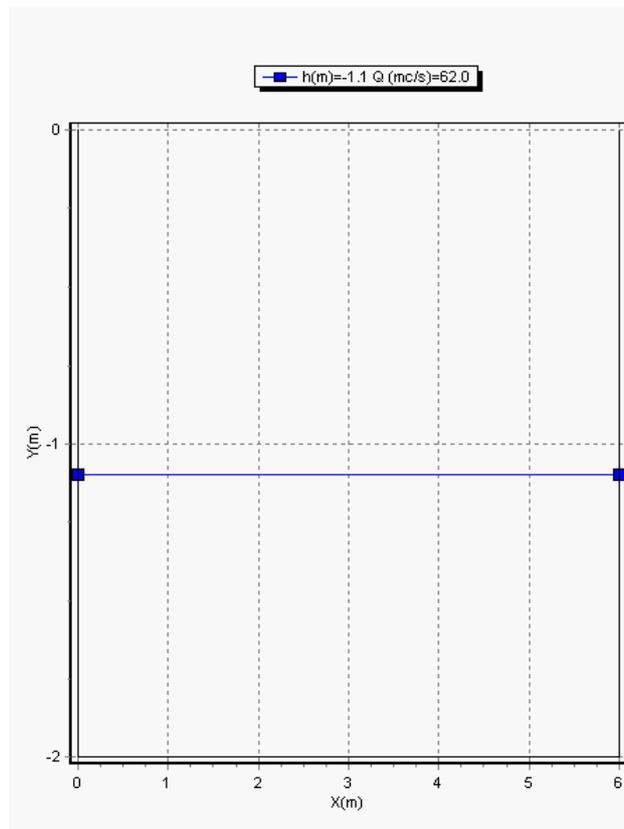
Va specificato che quest'ultimo è costituito da due elementi scatolari prefabbricati in cls affiancati, ciascuno con luce netta di 3 x 2 m; per la verifica è stata considerata una sezione equivalente con luce di 6 x 2 m.

Com'è possibile osservare dai grafici allegati, la sezione media presa in esame (sezione 7) e quella dell'attraversamento risultano in grado di smaltire le portate affluenti anche per tempi di ritorno duecentennali.

Verifica della sezione 7 (franco: 2,22 m)



Verifica dell'attraversamento (franco: 1,1 m)



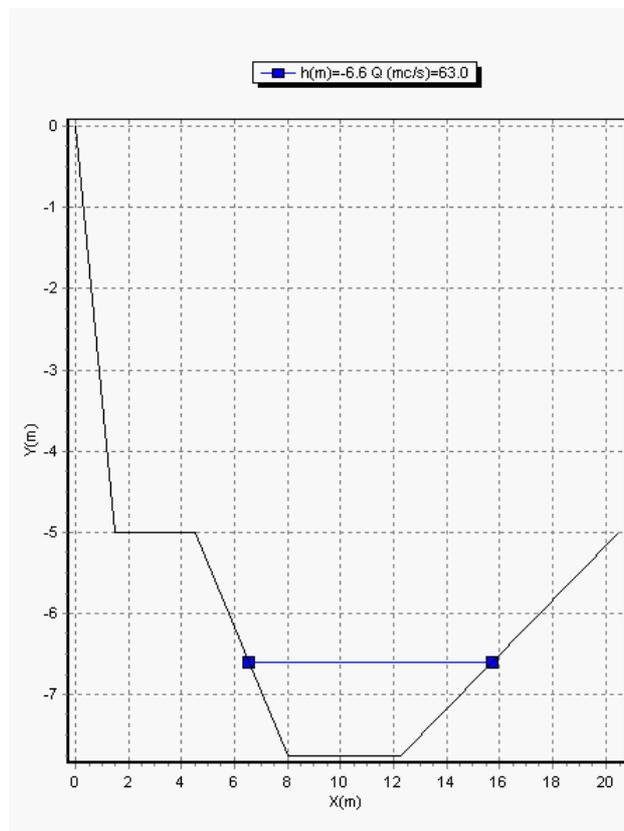
SETTORE 8 (RIO TAMBACH)

La pendenza media del rio nel tratto interessato dalle opere in progetto è stata valutata pari al 15%.

In considerazione delle caratteristiche dell'alveo, si è ritenuto adeguato attribuire un coefficiente di Strickler pari a 25 ($m^{1/3}s^{-1}$).

Com'è possibile osservare, la sezione presa in esame (sezione 11), ritenuta più critica risulta in grado di smaltire le portate affluenti, con un franco di 6,6 m a partire dalla sommità del rilevato e di 1,6 m dalla base dello stesso.

Verifica della sezione 11 (franco: 6,6 m)



6 PARAMETRAZIONE GEOTECNICA E CONDIZIONI SISMICHE

Sulla base dei rilievi eseguiti per la redazione della Variante Strutturale al Piano Regolatore Generale Comunale, a firma dello scrivente, e con particolare riferimento alla carta della caratterizzazione litotecnica, è stato possibile parametrare dal punto di vista geotecnico i depositi coinvolti nelle opere in progetto.

Inoltre, sulla base dei criteri di cui all'Ordinanza D.P.C.M. 3274/03 e delle successive delibere regionali, ai fini della integrazione della normativa sismica con quanto previsto dalla normativa di riferimento per la redazione degli studi geologici, finalizzati alla pianificazione urbanistica, è stata introdotta la classificazione dei suoli (punto 3.1 dell'Allegato 2 della suddetta Ordinanza).

DEPOSITI ALLUVIONALI

In questa unità sono stati riuniti i depositi olocenici di fondovalle, relativi all'attività alluvionale del torrente Anza e dei suoi principali affluenti, i depositi di contatto glaciale ed i conoidi di deiezione di minor dimensione, caratterizzati da una granulometria prevalentemente medio-grossolana e basso grado di addensamento. A questi depositi può essere attribuita la seguente parametrizzazione geotecnica: angolo di attrito di picco pari a circa $33^\circ \div 49^\circ$, angolo di attrito interno a volume costante compreso tra 30° e 35° , coesione nulla e peso di volume di $1,8 \text{ t/m}^3$.

Per le categorie di suolo di fondazione, in relazione all'azione sismica di progetto da adottare, i suddetti sedimenti ricadono nella classe D "depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati" con valori di $V_{s30} < 180 \text{ m/s}$ e di $N_{SPT} < 15$.

DEPOSITI FLUVIOGLACIALI

Sono sedimenti costituiti da ghiaie e sabbie con ciottoli, con matrice sabbiosa variabile, relativi alle zone di fondovalle terrazzate ed ai maggiori conoidi di deiezione. A questi depositi può essere attribuita la seguente parametrizzazione geotecnica: angolo di attrito di picco pari a circa $34^\circ \div 49^\circ$, angolo di attrito interno a volume costante compreso tra 32° e 36° , coesione nulla e peso di volume di $1,9 \text{ t/m}^3$.

Per le categorie di suolo di fondazione, in relazione all'azione sismica di progetto da adottare, i suddetti sedimenti ricadono nella classe C "depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate con spessore di diverse decine di metri" con valori di $180 < V_{s30} < 360 \text{ m/s}$ e di $15 < N_{SPT} < 50$.

Si sottolinea, infine, che i materiali provenienti dagli scavi, essendo dotati di buone caratteristiche geotecniche, saranno utilizzati per i riempimenti a tergo delle opere in progetto e per la realizzazione del rilevato di contenimento in sinistra idrografica del Tambach (settore 8), come descritto nel "Disciplinare descrittivo e prestazionale degli elementi tecnici" a firma dell'ing. Bortot.

7 FENOMENI VALANGHIVI

In allegato si propone uno stralcio dello studio commissionato dal Comune di Macugnaga all'Istituto Federale Elvetico per lo studio della Neve e delle Valanghe (SLF), che si è avvalso della collaborazione dello scrivente, inerente il progetto di messa in sicurezza dalle valanghe per le zone di Cima Jazzi, Tambach e Horloveno.

In particolare, è stata allegata la parte riguardante il Tambach, in riferimento all'intervento in corrispondenza del settore 8.

Da tale studio emerge che sono state distinte 6 zone di distacco lungo il Tambach: una sul lato Est del Faderhorn, una sul pendio Sud del Seewjinhorn, una intermedia fra le due, denominata "Inneres Tal", una sul lato Est in posizione centrale superiore del Seewjinhorn, denominata "Üsseres Tal", una sul lato Est in posizione centrale inferiore del Seewjinhorn, denominata "Üsseres Tal - sotto", e una alle Roccette.

Pur non essendo disponibile un vero e proprio catasto delle valanghe, è stata riportata in una tabella la sintesi storica delle valanghe registrate con i danni arrecati. In particolare, sono evidenziati 5 eventi: nel 1803 (valanga fino al ponte di Opaco), nel 1920 (valanga fino all'edificio di Ripa), nel 1951 (valanga fino alla zona di Opaco), nel 1986 (valanga sulla strada tra Staffa e Pecetto) e nel 1990 (valanga fino al campo sportivo).

Viene inoltre affrontato l'argomento di danno potenziale nel caso di un evento valanghivo con tempo di ritorno di 30 anni (si veda la tabella 15).

Sono stati poi eseguiti dei calcoli per le valanghe radenti e per le valanghe nubiformi con i programmi Aval 2d e Aval 1d. Per le valanghe radenti, con un'altezza del manto nevoso di 0,5 m i calcoli indicano che la zona del campo sportivo può essere raggiunta da tutte le zone di distacco ad eccezione di quella di Roccette; con un'altezza del manto nevoso di 1 m i calcoli indicano che un distacco da Üsseres Tal la valanga potrebbe raggiungere gli edifici di Pecetto di Sotto, con un distacco da Inneres Tal la valanga potrebbe avanzare fino a quota 1340 m, con un distacco da Faderhorn la valanga correrebbe al di sotto del campo sportivo e al di sopra del parcheggio, e con un distacco dalle Roccette la valanga potrebbe raggiungere il campo sportivo. Lo strato di saltazione delle valanghe nubiformi, invece, non dovrebbe avanzare fino alla strada Staffa-Pecetto, mentre le pressioni di accumulo dello strato di sospensione agiscono fino alla zona di Ripa.

L'ultima parte dell'allegato riguarda le misure protettive adottate attualmente e quelle di possibile attuazione.

8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Alla luce delle considerazioni esposte precedentemente e grazie alle numerose informazioni in possesso derivate da indagini pregresse sul territorio comunale è possibile affermare quanto segue:

- le aree d'intervento oggetto della presente relazione sono ubicate su depositi alluvionali, fluvioglaciali o in facies di conoide;
- vista la natura dei depositi presenti, si può ragionevolmente affermare che dal punto di vista geotecnico non sussistono problemi alla realizzazione degli interventi proposti;
- è stata svolta l'analisi idrologica dei bacini del rio Roffel (settore 4) e del rio Tambach (settore 8). Le portate liquide e il trasporto solido corrispondenti ad un tempo di ritorno di 200 anni sono risultati i seguenti:

BACINO	Q liquida (mc/sec)	Q solida (mc/sec)	Q TOTALE (mc/sec)
Roffel	38,01	24,01	≈ 62
Tambach	46,09	17,19	≈ 63

- le verifiche idrauliche effettuate hanno evidenziato che le sezioni di progetto sono in grado di smaltire tali portate, anche con franchi notevoli;
- per quanto riguarda l'analisi del fenomeno valanghivo del Tambach, è proposto in allegato uno stralcio dello studio commissionato dal Comune di Macugnaga all'Istituto Federale Elvetico per lo studio della Neve e delle Valanghe (SLF);

ALLEGATI