



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO**  
**FACOLTÀ DI SCIENZE AGRARIE E ALIMENTARI**

**CORSO DI LAUREA IN:**  
**VALORIZZAZIONE E TUTELA DELL'AMBIENTE**  
**E DEL TERRITORIO MONTANO**

**IL RAPPORTO TRA PAESAGGIO E DIFESA DEL SUOLO:**  
**DUE CASI DI STUDIO NELLA PROVINCIA DI VARESE**

REALTORE: Prof. Gian Battista Bischetti

CORRELATORE: Dott. Alessandro Nicoloso

ELABORATO FINALE DI:

Leonardo Colnago

Matricola: 868602

Anno accademico 2017-2018



*A Nicola,  
amico e compagno di studi per poco tempo  
che in questi anni non ho mai dimenticato.*

## Indice

|  |    |
|--|----|
| Riassunto.....   | 5  |
| 1 - Introduzione.....  | 8  |
| 2 - Un quadro d'insieme.....   | 9  |
| 3 – Paesaggio.....   | 19 |
| 3.1 – Quadro normativo.....  | 20 |
| 3.2 - Valorizzazione paesaggistica nel comune di Besano (VA).....  | 22 |
| 3.2.1 - Inquadramento territoriale.....  | 23 |
| 3.2.2 - Uno sguardo di insieme.....  | 25 |
| 3.2.3 - Il Rio dei Ponticelli.....   | 27 |
| 3.2.4 - Le miniere delle Piodelle.....   | 29 |
| 3.2.5 - La vegetazione.....  | 32 |
| 3.2.6 - In conclusione.....  | 34 |
| 4 – Dissesto.....  | 35 |
| 4.1 - Morfologia del bacino.....   | 42 |
| 4.2 - Analisi dati pluviometrici e costruzione delle LSPP (Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica)..... | 45 |
| 4.3 - Calcolo della portata di piena tramite il metodo razionale.....  | 51 |
| 4.4 - Metodo SCS-CN.....   | 55 |
| 4.5 - Rilievo delle sezioni.....   | 61 |
| 4.6 - Proposte di sistemazione del torrente Donda in località Vergiate.....                                      | 68 |
| 5 - Conclusioni.....   | 74 |
| Appendice - Briglia sinusoidale insistente sul torrente Lanza, nel comune di Clivio (VA).....                    | 76 |
| Bibliografia.....  | 84 |
| Allegato 1 – Tavola uso del suolo Comune di Besano.....  | 85 |
| Allegato 2 – Bacino idrografico torrente Donda.....  | 86 |
| Allegato 3 – Tavola uso del suolo relativa al bacino idrografico del torrente Donda.....                         | 87 |
| Allegato 4 – Rilievo delle sezioni torrente Donda.....   | 88 |
| Allegato 5 – Localizzazione briglia sinusoidale Clivio.....  | 89 |

## Riassunto

L'elaborato tratta del rapporto tra il paesaggio, la difesa del suolo ed il dissesto idrogeologico, analizzando due casi nella provincia di Varese e precisamente:

- La riqualificazione territoriale, paesaggistica e culturale della zona mineraria ad est dell'abitato di Besano
- La proposta di progettazione di opere di regimazione idrogeologica sul torrente Donda nel comune di Vergiate

I due casi di studio trattati possono essere un possibile esempio di collegamento tra la necessità di difesa idrogeologica degli alvei e dei versanti e dell'importanza della valorizzazione e della tutela paesaggistica.

La progettazione delle opere di difesa del suolo (intesa come qualsiasi intervento in grado di fermare o rallentare i processi di dissesto idrogeologico) deve valutare gli aspetti concreti e i possibili scenari che possono presentarsi anche in conseguenza di eventi estremi. Attraverso le tecniche e le discipline scientifiche, deve trovare le migliori soluzioni al fine di integrare al meglio le opere a protezione degli insediamenti con il territorio e le sue caratteristiche peculiari.

L'elaborato presenta un'analisi idrologica eseguita sul torrente Donda, al fine di ricercare il metodo più idoneo per determinare la portata di piena utile alla progettazione delle opere. Nell'analisi viene inoltre presentata una proposta di sistemazione.

La valorizzazione e la tutela paesaggistica risulta elemento chiave per la promozione territoriale, ma non deve tralasciare gli aspetti economico-culturali ad essa legati.

Il caso di studio relativo al comune di Besano rappresenta un esempio di valorizzazione paesaggistica in cui, partendo da un'analisi territoriale e culturale del luogo, sono stati ricercati gli aspetti territoriali da potenziare e le possibili soluzioni che potrebbero essere inserite nel contesto di studio.

Ai fini progettuali e costruttivi vanno quindi ricercate le possibili soluzioni scegliendo prioritariamente quelle con scarso impatto ambientale (come l'ingegneria naturalistica), ed

arrivando, nei casi in cui non vi siano possibili alternative, alle soluzioni “tradizionali”, cercando però sempre di scegliere materiali a basso impatto ambientale e discretamente integrati con l’ambiente in cui si va ad operare senza dimenticare l’equilibrio degli ecosistemi presenti che sono comunque parte della ricchezza e della bellezza di un territorio .

L’ultimo aspetto di collegamento tra la difesa e la valorizzazione del territorio riguarda la manutenzione diffusa del territorio, aspetto da non trascurare in quanto, mantenere in ottimo stato funzionale le opere già presenti sul territorio, significa prorogarne nel tempo i benefici per il quale sono state pensate e costruite ed al contempo prevenire e monitorare tutte le situazioni di potenziale dissesto idrogeologico eventualmente presenti nell’area interessata.

Un ambiente curato e mantenuto in efficienza lo rende più fruibile costituendo un valore aggiunto per l’ambiente, la natura ma soprattutto per le persone che lo frequentano.

L’elaborato vuole dimostrare inoltre come una corretta ed attenta progettazione degli interventi di manutenzione territoriale, integrati con la costruzione di opere a difesa idrogeologica nei punti più sensibili, riescano a garantire un discreto livello di sicurezza a beneficio degli abitati, della natura e dell’ambiente prevenendo scenari indesiderati che costringono ad interventi spesso costosi e non sempre rispettosi del contesto in cui si realizzano.

*“Quando un fenomeno cresce da un punto di vista quantitativo non si ha solo un aumento in ordine alla quantità, ma si ha anche una variazione qualitativa radicale”*

*(Georg Wilhelm Friedrich Hegel)*

## 1 - Introduzione

Il paesaggio ed il territorio sono lo scenario in cui l'uomo vive, si nutre, si muove e ogni attività che riprogetta o ripensa un paesaggio ed un territorio non può prescindere dalla storia del posto e delle popolazioni che lo hanno vissuto. È necessario quindi considerare non solo l'impatto visivo ma anche le conseguenze di ogni possibile fenomeno che lo possa interessare. Parafrasando e ricontestualizzando Hegel il possibile aumento quantitativo di un probabile fenomeno può causare una variazione qualitativa del paesaggio quindi occorre ripensare un nuovo che sia comunque ancora a servizio dell'uomo e dello sfondo in cui è proiettato.

L'elaborato si occupa di tre progetti di tutela e valorizzazione del territorio analizzati durante il tirocinio svolto nel settembre del 2017 presso lo Studio Nicoloso del Dr. Alessandro Nicoloso e riguardanti:

- Opere di regimazione idraulica del torrente Donda in località Vergiate (VA).
- Valorizzazione paesaggistica e culturale del territorio naturalistico in località Besano (VA) mediante il ripristino di sentieri e la valorizzazione dell'area un tempo mineraria.
- Costruzione di una briglia sul torrente Lanza in località Clivio (VA) per la realizzazione di un guado che consenta raggiungimento del campo sportivo comunale.

È risultato molto utile il lavoro svolto durante il tirocinio sull'analisi degli aspetti progettuali, tecnici e scientifici, sull'approfondimento delle normative regionali e nazionali in materia di tutela e gestione del territorio ma anche quello svolto durante le attività esterne di rilievo e verifica.

## 2 - Un quadro d'insieme

La complessità territoriale delle zone oggetto di studio necessita di una grande conoscenza del territorio e una grande competenza nei diversi ambiti di lavoro. Le province in questione sono caratterizzate dalla presenza di:

- Grandi centri urbanizzati
- Piccoli comuni che, negli ultimi anni, hanno visto una grande espansione del tessuto urbano
- Parecchie aree agricole
- Grandi superfici boscate

|        | Superficie totale | Aree antropizzate |                   | Aree agricole | Territori boscati e ambienti semi-naturali |                    |                                       |                          | Aree umide | Corpi idrici |
|--------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|--|--------------------|---------------------------------------|--------------------------|------------|--------------|
|        |                   | Aree urbane       | Aree verdi urbane |               | Boschi di latifoglie                       | Boschi di conifere | Boschi misti e Rimboschimenti recenti | Altre aree semi-naturali |            |              |
| Varese | 120.173           | 32.805            | 1.963             | 18.243        | 47.909                                     | 670                | 5.513                                 | 1.390                    | 567        | 11.113       |
|        | 100,00%           | 27,30%            | 1,63%             | 15,18%        | 39,87%                                     | 0,56%              | 4,59%                                 | 1,16%                    | 0,47%      | 9,25%        |
| Como   | 127.986           | 19.320            | 1.186             | 19.406        | 48.237                                     | 849                | 12.426                                | 15.321                   | 216        | 11.025       |
|        | 100,00%           | 15,10%            | 0,93%             | 15,16%        | 37,69%                                     | 0,66%              | 9,71%                                 | 11,97%                   | 0,17%      | 8,61%        |

Tabella 1 – Uso del suolo 2015, dati DUSAF 5.0 Regione Lombardia (superfici in ettari)

Anche se la superficie forestale delle province di riferimento è parecchio estesa (circa il 40% della superficie totale), negli ultimi anni, l'attenzione delle Amministrazioni Comunali (e degli altri enti competenti) alla tutela del territorio boschivo e alla promozione dell'attività selvicolturale si è molto ridimensionata.

Storicamente i boschi di latifoglie che costituiscono la maggior parte delle aree prealpine e di pianura erano gestiti con trattamento a ceduo, per l'esbosco di legna da ardere. Il valore produttivo di queste foreste risultava scarso, data la ridotta presenza di materiale da opera potenzialmente in grado di sviluppare una filiera territoriale.

Il trattamento a ceduo è una forma di governo selvicolturale che prevede la rinnovazione delle piante per via agamica, quindi tramite polloni. La ceduzione (operazione di taglio della ceppaia, ovvero taglio di tutta la parte aerea della pianta) viene eseguita ad intervalli regolari abbastanza ravvicinati (nell'ordine di alcune decine di anni), con il rilascio di matricine.

Le matricine sono piante, generalmente nate da seme, che hanno lo scopo di sostituire le ceppaie esaurite. La presenza di queste piante, lasciate nel bosco per più turni di taglio, può anche fornire legname da opera, anche se di difficile collocazione sul mercato. La filiera di trasformazione del legname richiede infatti partite di materiali omogenee e costanti nel tempo che le foreste di questo territorio non riescono a garantire.

Lo scarso valore economico di questi boschi spinge i comuni ad indirizzare le risorse disponibili verso progetti più concreti, di facile realizzazione e che diano risultati nel breve periodo.

I mancati investimenti di lungo periodo nel settore forestale hanno portato ad un abbandono dei boschi, visibile e reale su tutto il territorio. La sbagliata gestione boschiva ha ripercussioni sulla fruibilità degli stessi oltre che sul degrado strutturale e paesaggistico, causando spesso dissesti e problemi di stabilità dei versanti.

Le funzioni protettive, produttive e ricreative dei boschi sono indispensabili per uno sviluppo consapevole del territorio. La corretta e puntuale gestione del patrimonio forestale potrebbe incrementare e migliorare la produzione di legname che, anche se con i limiti oggettivi del caso, potrebbe dar vita a piccole filiere di trasformazione legate al

territorio, che aggiungono valore ed interesse allo stesso. Una valorizzazione floristica e paesaggistica aumenterebbe, inoltre, la qualità e la complessità degli ecosistemi, assolvendo così alla funzione ricreativa del bosco, che può trasformarsi in luogo di fruizione abituale da parte della popolazione residente nelle zone limitrofe e non.

A fronte dello scarso interesse verso le discipline selvicolturali risulta però rilevabile una maggiore attenzione da parte delle amministrazioni locali agli aspetti paesaggistici e naturalistici. Parecchi enti pubblici hanno indirizzato risorse per la sistemazione di alcune aree strategiche al fine di migliorarne l'accessibilità e la fruibilità.

Anche l'attenzione ai corsi d'acqua si è molto ridimensionata negli ultimi anni e spesso, le sistemazioni operate in abito idraulico, si riducono alla sola cura delle zone a rischio, solitamente in conseguenza al verificarsi di calamità naturali. La sistemazione degli alvei e dei versanti dovrebbe essere al centro dei programmi progettuali delle amministrazioni, dato che, nella zona in esame, vi è una grande quantità di piccoli torrenti e corsi d'acqua. La cura dei bacini idrografici potrebbe prevenire il verificarsi di numerosi e diffusi dissesti idrogeologici che, col tempo ed in assenza di un intervento, potrebbero minare all'incolumità pubblica.

Come si legge nel "Manuale degli interventi di sistemazione del territorio con tecniche di ingegneria naturalistica", pubblicato dalla Regione Piemonte: "Dobbiamo infatti prendere coscienza della situazione di degrado territoriale e di dissesto idrogeologico creatasi nel corso degli anni: essa merita la costante attenzione di chi ha, a vari livelli, responsabilità di gestione, nonché di tutti quei cittadini che hanno a cura l'ambiente e come tali hanno il dovere di esercitare la loro azione di sensibilizzazione affinché nella sistemazione del territorio vengano fatte scelte consapevoli e il più possibile eco-compatibili" (De Antonis & Molinari, 2003).

Il quadro che si evince da una piccola ricognizione sul territorio in esame è purtroppo sempre più frequentemente estendibile a parecchie zone italiane. È ormai noto che il dissesto idrogeologico è un fenomeno sempre più diffuso e non sempre di piccola entità.

Parlando solamente di fenomeni franosi, il Rapporto sul dissesto idrogeologico in Italia, pubblicato dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) nel 2018

afferma che “Le frane censite nell’Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia sono 620.808 e interessano un’area di 23.700 km<sup>2</sup>, pari al 7,9% del territorio nazionale” (Triglia, Iadanza, Bussettini, & Lastoria, 2018). Anche se l’entità del territorio interessato non risulta rilevante, preoccupante è invece la diffusione dei dissesti sulla carta nazionale che interessano ormai l’intera penisola.

La grande diffusione dei dissesti porta inevitabilmente ad avere aree urbanizzate a rischio con le conseguenti ripercussioni per la popolazione residente.

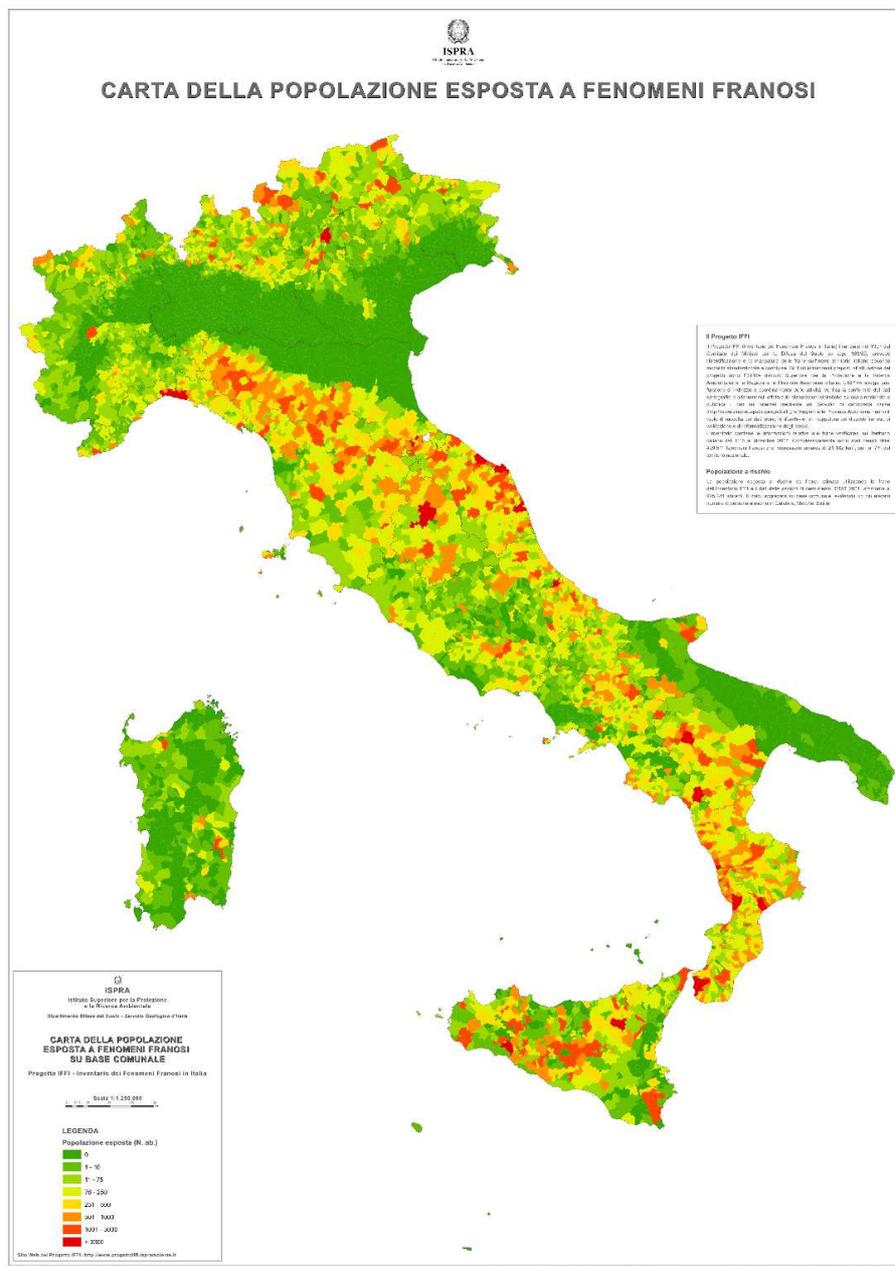


Figura 1 - Carta della popolazione esposta a fenomeni franosi (Triglia, Iadanza, Bussettini, & Lastoria, 2018)



I piccoli bacini idrografici montani e prealpini sono messi in crisi da eventi intensi di breve durata. Negli ultimi anni, in parecchie zone italiane, si è assistito a precipitazioni poco frequenti ma di intensità molto alta, che hanno causato numerosi dissesti idrogeologici per l'incapacità di questi piccoli bacini di smaltire il deflusso.

Piccoli impluvi non considerati pericolosi sono stati spesso fonte di grandi dissesti (specialmente colate detritiche) dato l'anormale apporto idrico nel breve periodo e la scarsa pulizia degli stessi.

Un esempio può essere la colata detritica avvenuta in Val Grande, Comune di Vezza d'Oglio (BS) in data 04/08/2018 che ha avuto inizio in un piccolo impluvio alla sinistra orografica del torrente Val Grande, riversando una grande quantità di fango e sassi nella valle, interrompendo momentaneamente la strada forestale (molto frequentata in estate) che porta alla Malga Val Grande ed al Bivacco Saverio Occhi. Il fattore scatenante è stato un forte temporale avvenuto in serata che ha interessato la Val Grande ed il comune di Vezza d'Oglio.

L'evento "anormale" è rimasto circoscritto nell'area interessata dal fenomeno dato che nessun evento pluviometrico fuori norma è stato rilevato dalle vicine stazioni di monitoraggio di ARPA presenti sul territorio di Ponte di Legno e Monno (non sono presenti stazioni di monitoraggio nel comune di Vezza d'Oglio), aree comunque limitrofe al centro di scroscio. La stazione pluviometrica di Monno ha registrato un evento di pioggia "moderata" alle ore 18:00 con un'intensità di 10,2 mm/h, evento che può comunque essere considerato normale data la stagione. Sicuramente nella zona interessata dal dissesto l'intensità sarà stata maggiore.



*Figura 3 - Colata detritica, Val Grande, Comune di Vezza d'Oglio (BS)*



*Figura 4 - Colata detritica, Val Grande, Comune di Vezza d'Oglio (BS)*



*Figura 5 - Colata detritica, Val Grande, Comune di Vezza d'Oglio (BS)*

Anche se i dissesti sono sempre stati un fattore caratterizzante della vita in ambito montano, il costante sfruttamento fino al secondo dopo guerra da parte della popolazione residente delle risorse che il territorio offriva, garantiva il presidio e la salvaguardia dell'ambiente, mitigando gli effetti degli eventi potenzialmente estremi.

La presenza di dissesti ridotti in piccoli bacini che attraversano comuni altrettanto piccoli (e quindi con ridotte risorse economiche), costituisce un serio problema per gli insediamenti umani e per le infrastrutture che collegano il tessuto socio-economico del territorio. Questi comuni spesso non sono in grado di far fronte a spese per la sistemazione idraulica e/o paesaggistica del proprio territorio, e gli interventi eseguiti, solitamente, sono di piccola entità, volti soltanto alla mitigazione degli effetti del dissesto.

Questo genere di interventi risultano funzionali ai fini della regimazione idrogeologica ma spesso, per poter rientrare nei costi, vengono eseguiti in modo rapido e con materiali e metodi economici. Chiaramente queste opere risultano poco integrate con l'ambiente e di conseguenza con il paesaggio, elemento strategico per le zone montane.

Tralasciando regioni virtuose come Trentino e Valle d'Aosta in cui la regimazione idrogeologica eseguita con tecniche di ingegneria naturalistica è ormai un metodo

consolidato, nel resto d'Italia la tendenza è ancora quella di utilizzare materiali duraturi e a basso costo con risultati discutibili per l'impatto ambientale e paesaggistico.

L'ingegneria naturalistica è una disciplina che prevede l'utilizzo di materiali vegetali vivi e del legname come elemento da costruzione, in abbinamento a materiali inerti. Queste tecniche, a basso impatto ambientale, sono in grado di risolvere parecchie problematiche di consolidamento e drenaggio di versanti, scarpate e sponde.

Citando ancora il manuale di Regione Piemonte sulle sistemazioni con tecniche di ingegneria naturalistica: "Fatte salve particolari esigenze statiche ed idrauliche, il corretto impiego in ambiti sempre più ampi delle tecniche di Ingegneria Naturalistica rappresenta una significativa scelta verso interventi eco-compatibili, dotati di un sicuro risvolto educativo e culturale, spesso risolutivi, che affrontando con successo reali problemi di dissesto idrogeologico permettono al tempo stesso di salvaguardare e recuperare i valori ambientali e paesaggistici" (De Antonis & Molinari, 2003).

Il paesaggio, come detto, è un bene da salvaguardare dato che è spesso fonte di reddito per le comunità locali. L'articolo 9 della Costituzione Italiana ne riconosce l'importanza "La Repubblica promuove lo sviluppo della cultura e la ricerca scientifica e tecnica. Tutela il paesaggio e il patrimonio storico e artistico della Nazione" (Costituzione della Repubblica Italiana - Articolo 9, 1948) considerandolo elemento da promuovere e valorizzare.

La convenzione europea del paesaggio, documento adottato dal Comitato dei Ministri della Cultura e dell'Ambiente del Consiglio d'Europa il 19 luglio 2000, ufficialmente sottoscritto nel Salone dei Cinquecento di Palazzo Vecchio a Firenze il 20 ottobre 2000 ratificata dallo Stato italiano con la Legge 9 gennaio 2006, n. 14 "Ratifica ed esecuzione della Convenzione europea sul paesaggio, fatta a Firenze il 20 ottobre 2000", indica le principali linee guida per una gestione ragionata e idonea del paesaggio e partendo da una definizione dello stesso, indica gli ambiti di applicazione e gli strumenti da utilizzare.

"Paesaggio" designa una determinata parte di territorio, così come è percepita dalle popolazioni, il cui carattere deriva dall'azione di fattori naturali e/o umani e dalle loro interrelazioni" (Convenzione europea del Paesaggio, 2000). Paesaggio quindi non è

solamente ciò che è natura ma anche ciò che è antropico ed è percepito tale dalle popolazioni.

Lo spirito della norma richiamato dell'articolo 6 è quello di sensibilizzare, formare ed educare allo sfruttamento e alla gestione responsabile del paesaggio. L'utilizzo responsabile di una risorsa così importante è fondamentale per chi in quei territori vive e per le attività che possono nascere e svilupparsi. In particolare la formazione può creare figure professionali in grado di operare correttamente nel settore ottenendo il massimo profitto nel rispetto dell'ambiente e della risorsa.

Altrettanto importante è la collaborazione fra tutte le istituzioni che insistono sul territorio, nella piena consapevolezza che l'obiettivo finale deve essere sempre quello della tutela e la salvaguardia di un bene comune.

### 3 – Paesaggio

Il paesaggio è divenuto elemento di vanto di molte aree del territorio italiano, per questo non è raro trovare Comuni e altri enti pubblici disposti ad investire in questo ambito salvaguardando soprattutto la maggiore fruibilità di aree e la valorizzazione di territori strategici ai fini paesaggistici.

Partendo dal presupposto che qualsiasi intervento in un habitat consolidato potrebbe creare disturbi nell'equilibrio dell'ecosistema presente, la progettazione paesaggistica in quanto trasversale a molte discipline di studio, non deve limitarsi alla valutazione del solo aspetto estetico, ma deve tener conto dei molteplici aspetti che riguardano l'ecologia del luogo, il territorio ma non di meno i rapporti che legano l'ambiente con i soggetti che vi dimorano.

L'uomo con i suoi interventi nel tempo, ha modificato e reso più fruibile e redditizio il territorio. Basti pensare alle grandi zone prative e pascolive che si possono vedere sulle alpi ai bordi e nelle radure delle zone boscate. Senza la presenza dell'uomo i pascoli sarebbero soppiantati dal bosco (processo in corso in parecchie aree prealpine ed alpine), raggiungendo uno stadio di equilibrio dell'habitat. L'uomo ha quindi influenzato il paesaggio caratterizzandolo e creando un complesso rapporto con l'ambiente.

La progettazione paesaggistica deve quindi considerare ogni possibile scenario che potrebbe verificarsi in seguito alla modificazione territoriale, valutando opportunamente se l'intervento potrà portare ad un incremento del "valore" del paesaggio o dell'ambiente considerato.

### 3.1 – Quadro normativo

Molte sono le normative in materia emanate dalla comunità europea, dallo Stato italiano (Costituzione della Repubblica Italiana - Articolo 9, 1948) e dalle regioni.

La convenzione europea del paesaggio (Convenzione europea del Paesaggio, 2000) ripartisce le competenze in ambito paesaggistico, definendo i provvedimenti generali e le misure specifiche di riferimento e promuovendo la cooperazione tra gli stati membri al fine di rendere più efficace la tutela e la promozione territoriale.

Il DL n. 42 del 22 Gennaio 2004 “Codice dei beni culturali e del paesaggio” delinea ed integra la normativa precedente con le disposizioni generali in materia di tutela e valorizzazione dei beni paesaggistici.

Le normative regionali dettano gli indirizzi di programmazione e di progettazione degli interventi fornendo, oltre ai criteri di finanziamento, gli obiettivi e le finalità delle opere manutentive ma anche le specifiche tecniche per la gestione degli elementi del paesaggio.

Infine i comuni e i vari enti di tutela del territorio quali i parchi regionali o i parchi locali di interesse sovracomunale hanno lo specifico compito di prevenzione, vigilanza e controllo del territorio, verificando che gli interventi progettati ed eseguiti siano finalizzati alla tutela del patrimonio naturalistico.

In questo panorama di regole e controlli deve orientarsi la progettazione territoriale e paesaggistica, sottostando a precise norme di esecuzione ed ad altrettanti vincoli e passaggi autorizzativi.

Di fondamentale importanza è l’istituzione dei “piani paesaggistici” introdotti dall’art. 135 del DL 42/2004: “Le regioni assicurano che il paesaggio sia adeguatamente tutelato e valorizzato. A tal fine sottopongono a specifica normativa d'uso il territorio, approvando piani paesaggistici ovvero piani urbanistico-territoriali con specifica considerazione dei valori paesaggistici, concernenti l'intero territorio regionale, entrambi di seguito denominati "piani paesaggistici [...]” (Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42). Le regioni, infatti, avendo una maggiore conoscenza territoriale, sono in grado di definire linee guida volte alla perfetta integrazione delle opere progettate.

Un esempio di integrazione e potenziamento della normativa nazionale è rappresentato dalla Deliberazione della Giunta Regionale lombarda n. 238 del 18 Giugno 2018 “Indirizzi per la programmazione e la progettazione degli interventi di manutenzione delle opere di difesa del suolo, dei corsi d’acqua e della manutenzione diffusa del territorio, nonché criteri per il loro finanziamento (articolo 33, comma 2, della L.R. 4/2016) e delle specifiche tecniche per la gestione della vegetazione nella sezione incisa degli alvei, delle fasce di rispetto lungo le sponde dei corsi d’acqua e delle relative opere idrauliche (articolo 20, comma 5, della L.R. 4/2016)”. In questa logica la Legge Regionale 4/2016 definisce la manutenzione diffusa del territorio come: “L’insieme di attività e di servizi idonei a prevenire il dissesto idrogeologico, a garantire la costante efficienza idraulica dei corsi d’acqua, sia demaniali sia privati, a mantenere i versanti collinari e montani in condizioni di stabilità morfologica, a migliorare i boschi e la Viabilità AgroSilvoPastorale, compresi i tracciati minori a prevalente uso pedonale, anche attraverso attività agricole e selvicolturali tese alla valorizzazione del territorio rurale” (Legge Regionale 15 marzo 2016 , n. 4).

La manutenzione diffusa del territorio rappresenta quindi un metodo di gestione del territorio che collega l’attività di difesa del suolo con la valorizzazione e la tutela del territorio in cui le opere stesse sono inserite.

Come si può leggere nel DGR 238 del 18/06/2018 “La manutenzione diffusa deve anche tutelare la funzionalità ecologica del territorio, garantendo e/o favorendone il ripristino, laddove possibile, della capacità di ritenzione delle acque e della capacità di laminazione naturale” (Delibera Giunta Regionale 18 giugno 2018 - n. XI/238). Ne consegue che una corretta gestione del patrimonio selvicolturale, delle opere di sistemazione idrogeologica, della VASP (Viabilità AgroSilvoPastorale) e delle altre opere (anche antropiche) insistenti sul territorio oggetto di sistemazione sono in grado di correlare gli aspetti di difesa del suolo e di progettazione paesaggistica, in modo tale da garantire sicurezza agli insediamenti umani ed alle infrastrutture potendo nel contempo salvaguardare gli aspetti ambientali ed ecologici degli ecosistemi sviluppatasi sul territorio.

La manutenzione diffusa del territorio quindi deve essere eseguita in maniera costante in ogni ambiente naturale o antropico interessato da opere di difesa idrogeologica. Inoltre

una programmazione sistematica degli interventi su tutto il territorio nazionale potrebbe garantire un'ottima prevenzione contro il dissesto idrogeologico diffuso.

### 3.2 - Valorizzazione paesaggistica nel comune di Besano (VA)

Un esempio di valorizzazione territoriale che potrebbe ricalcare i criteri della progettazione ragionata ed interdisciplinare dell'ambiente è rappresentato dalla riqualificazione dell'area prealpina ad est dell'abitato del comune di Besano, commissionata dall'amministrazione territoriale stessa allo studio Nicoloso, al fine di valorizzare il paesaggio e le miniere dismesse (vecchia miniera delle Piodelle) in località Selvabella.

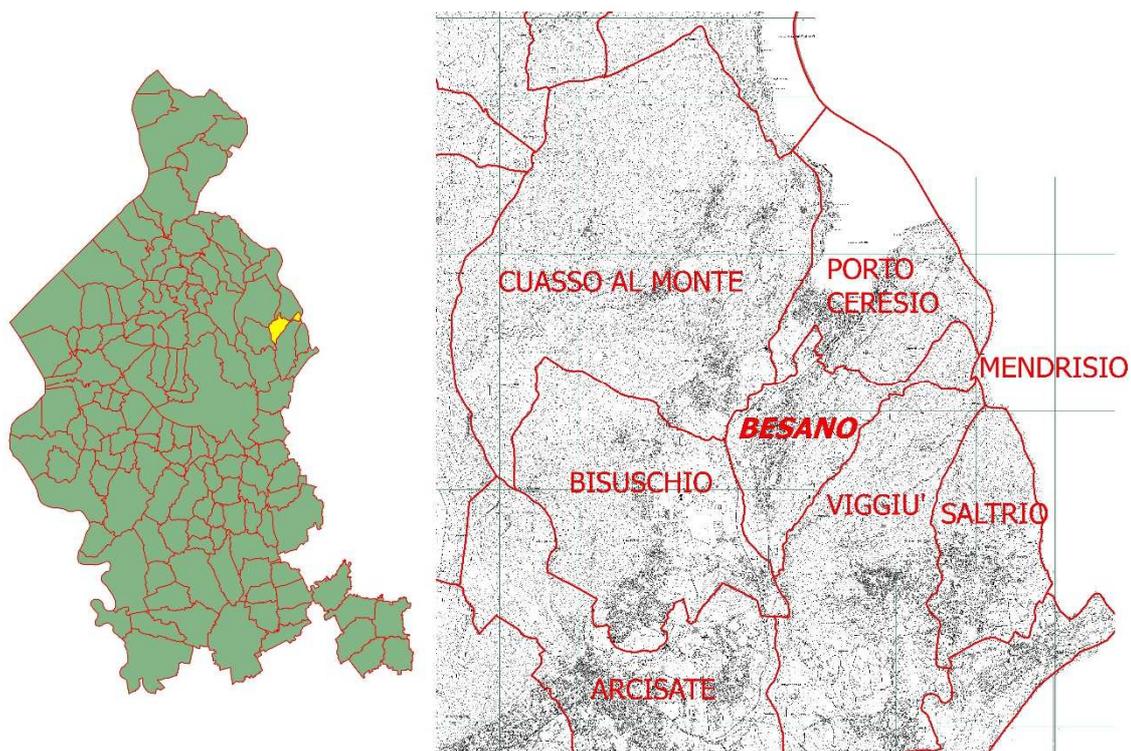


*Figura 6 - Area mineraria da riqualificare*

Il comune di Besano ha stanziato dei fondi per valorizzare il territorio e gli aspetti culturali e paesaggistici ad est dell'abitato, nel pieno rispetto delle indicazioni espresse nel D. Lgs. N. 42 del 22 Gennaio 2004 coniugando così i "Beni culturali" ed i "Beni paesaggistici". L'obiettivo di un completo potenziamento dell'area in esame fa leva su tutti gli aspetti "potenzialmente redditizi" sia in termini economici che ambientali e culturali del territorio.

### 3.2.1 - Inquadramento territoriale

Il comune di Besano è sito nell'alto varesotto e precisamente a nord-ovest della città di Varese. Il territorio confina con i comuni di Bisuschio, Cuasso al Monte, Mendrisio (CH-TI), Porto Ceresio e Viggìù.



*Figura 7 - Inquadramento territoriale del comune di Besano. A sinistra inquadramento a livello Provinciale, a destra inquadramento a livello Comunale*

Il territorio comunale si estende su un'area di circa 3,5 km<sup>2</sup>, di cui il 62% (2,17 km<sup>2</sup>) è occupata da boschi di latifoglie a densità medio-alta governati a ceduo. L'altra grande porzione territoriale è occupata dal tessuto urbano (21,78%, pari a 0,76 km<sup>2</sup>).

Questa "impostazione territoriale" è tipica dell'alto varesotto. L'abbandono delle attività agricole durante il secondo dopo guerra, ha portato al naturale allargamento delle aree boscate; dove prima c'erano terreni coltivati per produrre alimenti per il sostentamento della popolazione o del bestiame, oggi non è raro trovare formazioni boschive fitte e, spesso, poco curate.

L'importanza del territorio boscato e le potenziali conseguenze in termini di dissesto generate da un bosco "non curato", dovrebbe spingere le amministrazioni comunali ad una maggiore attenzione ai temi ambientali, paesaggistici e idrogeologici.

La carta tematica di uso del suolo, elaborata dalla cartografia DUSAF 5.0 di Regione Lombardia, permette di visualizzare i risultati ottenuti, mettendo in risalto l'importanza della frazione boscata del territorio comunale (Allegato 1).

| Uso del suolo  | Area (m <sup>2</sup> ) | Area (km <sup>2</sup> ) | Area (%)      |
|--|------------------------|-------------------------|---------------|
| Urbanizzato  | 762188,67              | 0,76                    | 21,78         |
| Cave e aree degradate                                    | 18758,52               | 0,02                    | 0,54          |
| Parchi, giardini, aree verdi incolte e impianti sportivi | 54408,79               | 0,05                    | 1,55          |
| Seminativi e prati permanenti                            | 477932,94              | 0,48                    | 13,66         |
| Boschi di latifoglie (governati a ceduo)                 | 2171688,06             | 2,17                    | 62,06         |
| Cespuglieti  | 14595,90               | 0,01                    | 0,42          |
| <b>TOTALE</b>  | <b>3499572,88</b>      | <b>3,50</b>             | <b>100,00</b> |

Tabella 2 - Uso del suolo comune di Besano; fonte: cartografia DUSAF 5.0 Regione Lombardia (anno 2015)

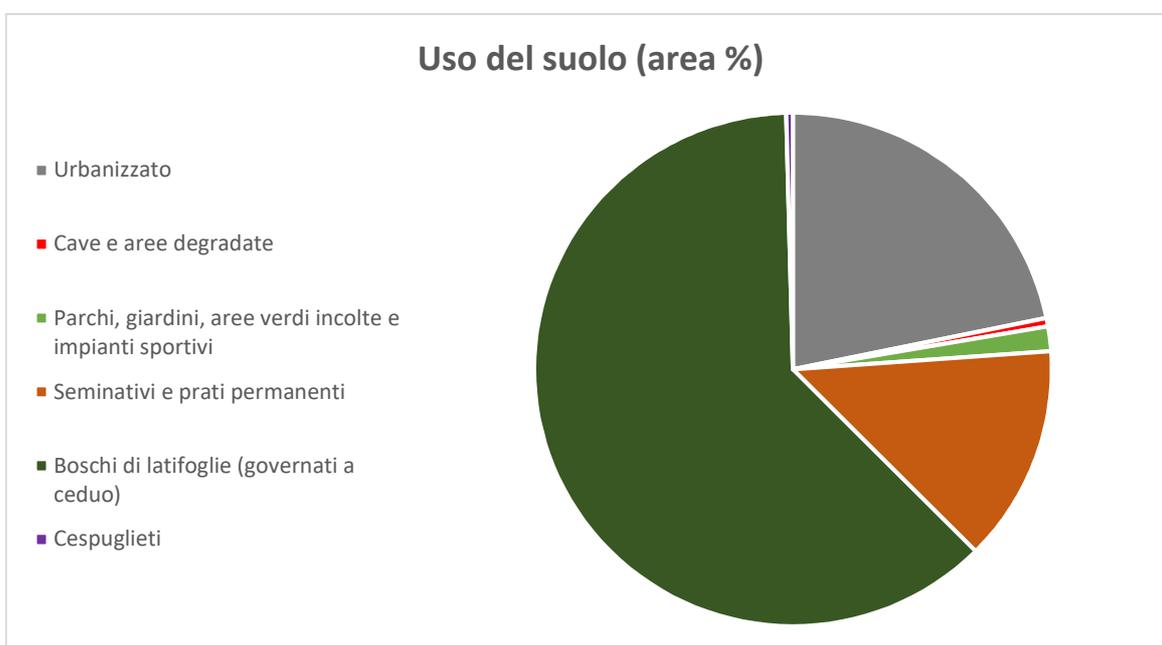


Grafico 1 - Uso del suolo comune di Besano; fonte: cartografia DUSAF 5.0 Regione Lombardia (anno: 2015)

In accordo col comune si è pensato ad una riqualificazione integrale dell'area, comprendendo quindi la valorizzazione del sito minerario, della zona panoramica in cui si trova, ma anche la sistemazione delle vie di accesso al luogo.

### 3.2.2 - Uno sguardo di insieme



*Figura 8 - Veduta panoramica sull'abitato di Porto Ceresio dalla Miniera delle Piodelle*

La sistemazione del sentiero che porta dall'abitato di Besano all'area mineraria consente l'accesso al sito interessato dalla riqualificazione e offre la possibilità di valorizzare altri aspetti ambientali e paesaggistici presenti lungo il percorso, come ad esempio il Rio dei Ponticelli, piccolo corso d'acqua con caratteristiche particolari.

Il sentiero si snoda su un percorso di circa 2 km, con partenza da Via Papa Giovanni XXIII, e più precisamente dal parcheggio che si trova in corrispondenza dell'incrocio tra Via Papa Giovanni XIII e Via Pozzo.

Ai fini progettuali si è resa necessaria la misurazione tramite stazione totale dell'area di ingresso alle miniere e di quella insistente sul Rio dei Ponticelli, ottenendo un'elaborazione grafica del terreno e dell'alveo su cui, tramite software specifici, è stato poi possibile progettare le varie sistemazioni.

Per quanto riguarda il progetto di sistemazione del sentiero è stata sufficiente una ricognizione sul territorio e la misurazione "manuale" dei punti di maggior interesse in cui erano necessari specifici interventi.

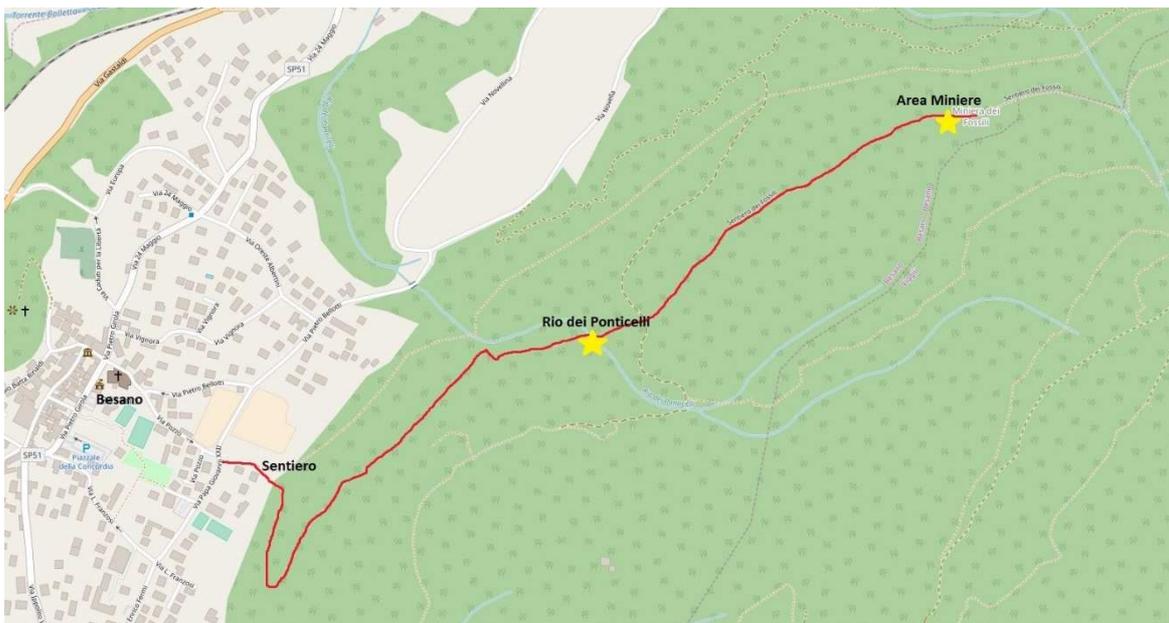


Figura 9 - Tracciato indicativo del sentiero di collegamento tra l'abitato di Besano e l'area mineraria

Il sentiero di accesso era un tempo utilizzato dalla popolazione locale per raggiungere le zone coltivate o pascolive. Questo si può intuire dalla grande quantità di muri a secco presenti sul percorso, che oggi purtroppo versano in condizioni particolarmente precarie.

Oltre ai muri a secco si intravede, nel profilo del bosco, una sorta di gradonata probabilmente costruita per sistemare e spianare terreno rendendolo idoneo alla coltivazione. Una parte delle risorse si auspica vengano utilizzate per la sistemazione dei muri a secco, in modo tale da ricreare, almeno parzialmente, il bellissimo paesaggio e l'ambiente rurale di un tempo.

Lungo il tracciato si riscontrano delle piccole sistemazioni del sentiero (non si conosce se operate dal comune o da privati) eseguite purtroppo in modo sbagliato. La figura 9, ad esempio, ritrae la costruzione di una semplice barriera di sostegno per il sentiero. L'utilizzo di tronchi (o meglio rami) di robinia non scortecciata e di dimensioni ridotte non rappresenta sicuramente una buona scelta costruttiva. I tronchi a sostegno dell'opera sono molto soggetti a marcescenza e, anche i rami trasversali saranno da sostituire nel giro di pochi anni. Anche queste opere (piccole e localizzate) saranno sistemate rendendole più sicure e più durature tramite tecniche costruttive più avanzate.



*Figura 10 - Opera di sostegno al sentiero, realizzata con materiali non idonei a garantire una durabilità nel tempo dell'opera stessa*

### 3.2.3 - Il Rio dei Ponticelli

Il Rio dei Ponticelli si trova a circa 1km dall'inizio del tracciato che porta all'area mineraria ed è un piccolo torrente che ha origine tra il Monte Orsa ed il monte Pravello, ad est dell'abitato di Besano e sfocia nel torrente Bollettaccia, a ovest dell'abitato.

Potrebbe diventare una attrazione per turisti e locali dati gli affascinanti depositi di calcare presenti sul corso d'acqua.

Questi depositi di calcare sono dovuti alla composizione chimica del terreno e delle rocce del monte Orsa. La grande presenza di calcare fa sì che il torrente, scorrendo, porti in soluzione i Sali contenuti nelle rocce. Data la portata minima del corso d'acqua per gran parte dell'anno il velo d'acqua che scorre è spesso portato ad evaporazione dai raggi solari

depositando i sali sulle rocce presenti in alveo e formando particolari e caratteristici depositi.



*Figura 11 - Rio dei Ponticelli, nella zona a monte del sentiero di collegamento con l'area mineraria.*

A detta dei locali il rio dei Ponticelli, ed in particolare la porzione direttamente insistente sul sentiero, rappresentava una zona di svago, specialmente nei mesi estivi (era possibile la balneazione). Per valorizzare ulteriormente l'area e il corso d'acqua è possibile anche recuperare delle "pool" naturali create dal corso d'acqua, migliorandole tramite asportazione dei sedimenti in eccesso e l'allargamento delle stesse con piccoli sbarramenti artificiali.

Le sponde del corso d'acqua dovranno essere ripulite dalla vegetazione presente, costituita da piante spesso in condizioni precarie che potrebbero, col tempo, ostacolare il deflusso.

Nel caso in cui le risorse per la sistemazione paesaggistico-ambientale dell'area fossero consistenti sarebbe anche possibile progettare un sentiero di valorizzazione del rio dei Ponticelli, creando un percorso che metta in risalto le caratteristiche del corso d'acqua,

dato che gli affascinanti depositi di calcare sono presenti lungo tutto il corso del torrente e non solo nella zona interessata dal sentiero che porta alle miniere.

Ai fini progettuali è risultata necessaria la misurazione tramite stazione totale anche della porzione di torrente insistente sul sentiero, generando così un modello digitale del corso d'acqua su cui è stato possibile progettare la riqualificazione dell'area.



*Figura 12 - Affascinanti depositi di calcare presenti sul Rio dei Ponticelli*

#### 3.2.4 - Le miniere delle Piodelle

Proseguendo lungo il sentiero si arriva alle miniere delle Piodelle in località Selvabella, sito di particolare interesse paesaggistico e culturale, in cui è stata pensata una sistemazione integrale dell'area al fine di porre in risalto gli aspetti peculiari della zona.

La vecchia miniera era un tempo impiegata per l'estrazione di pietre da costruzione e di rocce bituminose, utilizzate nella produzione di "sauolo", un unguento antisettico

impiegato nella cura delle infiammazioni della pelle (prodotto simile all'ittiolo). L'estrazione degli scisti bituminosi iniziò nei primi anni del 1900 ed ebbe la sua massima espansione durante le guerre, dato che l'esercito ne era il maggiore acquirente.

La roccia bituminosa estratta era trasportata a Meride, paese della vicina Svizzera dove veniva distillato l'olio di scisto e raffinato il "sauolo". L'attività delle cave di Besano (come quelle presenti sul monte San Giorgio) fu abbandonata intorno al 1950, data la scarsa redditività economica dell'attività estrattiva. Le miniere di Besano, nei tempi in cui erano produttive, hanno rappresentato il sostentamento economico per molte famiglie del luogo e oggi, possono trasformarsi in un'attrazione paesaggistico-culturale per gente locale e turisti.



*Figura 13 - Ingresso miniera. Per garantire sicurezza ai fruitori dell'area tutti gli ingressi alle miniere sono recintati con staccionate.*

Come per il rio dei Ponticelli, tutta l'area mineraria è stata misurata con l'ausilio della stazione totale, in modo da ottenere un modello di elevazione digitale del terreno su cui sono state progettate le opere e le sistemazioni da sviluppare sul territorio.

La riqualificazione dell'area mineraria è favorita dalla possibilità di utilizzare il paesaggio come attrazione per turisti e locali, essendo caratterizzata da un'ottima visuale dell'abitato di Porto Ceresio, del lago di Lugano e del monte San Giorgio.

La sistemazione prevede la creazione di un punto di sosta in prossimità dell'ingresso alla prima miniera e la creazione di un punto panoramico che si affaccia sul Ceresio.

Il progetto è stato elaborato con il software "SketchUp", grazie al quale è stata possibile l'elaborazione 3D del territorio e l'inserimento degli elementi progettuali quali panchine, tavoli, gabbioni in pietra ecc. Questa possibilità in fase di redazione delle tavole, rende molto reali i disegni, riuscendo così ad ipotizzare, in modo semplice, diversi scenari di utilizzo dell'area.



*Figura 14 - Area mineraria da riqualificare*

La sistemazione prevede, oltre alla valorizzazione paesaggistica e culturale, anche la riqualificazione botanica dell'area.

In concomitanza con il rilievo "territoriale" è stato eseguito un rilievo botanico di base per comprendere quali specie sono presenti nell'area e per classificare il bosco insistente su tutta l'area interessata dal progetto (dall'abitato di Besano e lungo tutto il sentiero che conduce alle miniere).

Il rilievo è servito inoltre per poter dare ai visitatori dell'area le conoscenze di base sulla flora presente.

### 3.2.5 - La vegetazione

La zona, come detto in precedenza, è caratterizzata da terreni calcarei e questo influenza parecchio la varietà di specie in grado di crescere e svilupparsi.

L'essenza arborea prevalente della zona è il carpino nero (*Ostrya carpinifolia*), noto anche come carpinello. La pianta appartiene alla famiglia delle corilacee, piccola famiglia comprendente una cinquantina di specie di alberi ed arbusti caducifogli. È un albero di media grandezza caratterizzato da foglie con base cuneiforme, margine dentato e tronco bruno e fessurato longitudinalmente.

Il carpino nero era, in passato, una grande risorsa per il territorio dato il suo impiego per la produzione di carbone. Inoltre, dato il suo elevato potere calorifico, era un'essenza molto ricercata come legna da ardere.

Il diametro medio delle piante non è elevato, ciò dipende sicuramente dalla stazione e dalle caratteristiche del suolo ma anche dalla reiterata ceduzione condotta in passato.

Il carpino nero è nell'area sufficientemente diffuso da poter ricondurre alla tipologia forestale degli orno-ostrieti (Del Favero, 2008) i boschi presenti nella zona mineraria e lungo il sentiero di accesso.

Rappresenta la vicariante del castagno per i terreni calcarei tanto è vero che, sull'altro versante della vallata, non interessato da fenomeni carsici e calcarei, non è usuale trovare, alla stessa quota, boschi di castagno.

Gli orno-ostrieti sono formazioni presenti esclusivamente su substrati carbonatici, con formazioni tipiche dei medio-basso versanti, a quote variabili dai 300 ai 1000 m.

L'orno-ostrieto è da sempre governato a ceduo per la produzione di legna da ardere. Sottoposto a tale forma di governo non presenta problemi di rinnovazione, data l'elevata facoltà pollonifera delle specie presenti. Dalle ceduzioni è sicuramente favorita la

ricrescita del carpino nero rispetto ad altre specie, di più lenta rinnovazione. Questo potrebbe comportare nei cedui più utilizzati una diminuzione della varietà specifica, data la prevalenza di questa specie sulle altre.

Nei cedui non più utilizzati, invece, vi è una buona composizione varietale, dato che col tempo anche le specie più lente nella rinnovazione riescono ad esprimere le loro caratteristiche in questi boschi, che non presentano un'elevata densità.

Infatti, i boschi presenti nella zona di Besano, interessati dal progetto di riqualifica, risultano comunque abbastanza vari come composizione. Oltre al carpino nero troviamo: faggio (*Fagus sylvatica*), ciliegio (*Prunus avium*), e qualche sporadica pianta di robinia (*Robinia pseudoacacia*) e di tiglio (specialmente sulle rive del Rio dei Ponticelli).

Per quanto riguarda lo strato erbaceo le essenze principali sono: Aglio orsino (*Allium ursinum*), Ciclamino (*Cyclamen europaeum*), Erba trinità (*Hepatica triloba*), Helleboro ecc.

Nei boschi in questione c'è però il problema legato all'ingresso nei popolamenti di specie esotiche (problema sempre più diffuso non solo in quest'area). Queste piante, come ad esempio la palma, seppur presente in modo sporadico ed isolato, possono presentare un serio problema per le specie autoctone del luogo ed andranno rimosse a favore della rinnovazione delle piante naturalmente presenti nei boschi del varesotto.



Figura 15 - Pianta esotica presente lungo il sentiero di accesso all'area mineraria. Può presentare un serio problema per le specie autoctone del luogo.

### 3.2.6 - In conclusione

Il progetto di riqualificazione proposto per il comune di Besano è sicuramente in grado di valorizzare l'area mineraria ed il sentiero di accesso in modo tale da coniugare gli aspetti paesaggistici e culturali del luogo. L'area interessata dalla sistemazione fa parte del sito UNESCO del Monte San Giorgio, per via dei ritrovamenti fossili e della particolarità geomorfologica della zona.

Il progetto di riqualificazione va, come detto, a migliorare la fruibilità del luogo e, quindi, la possibilità di accesso al sito UNESCO da parte di una popolazione sempre maggiore. Infatti la sistemazione ha preso in considerazione anche la problematica relativa all'accesso al sito delle persone diversamente abili; nell'ambito del progetto si auspica che venga sistemata la strada carrozzabile che conduce all'area mineraria permettendo l'accesso al sito minerario da parte delle persone con difficoltà fisiche.

Il progetto di valorizzazione del territorio di Besano è in perfetto accordo con le linee guida inserite nella convenzione europea del paesaggio e precisamente all'articolo 6. La sensibilizzazione, la formazione e l'educazione dei fruitori del sito minerario è garantita dal fatto che vengono coniugati gli aspetti culturali (relativi alla storia, ai processi pedogenetici e forestali del luogo) e gli aspetti paesaggistici (tramite la sistemazione del sito e la creazione del punto panoramico).

Il "potenziamento territoriale" ideato per il comune di Besano rappresenta un buon esempio di progettazione territoriale integrata, andando a valorizzare tutti gli aspetti salienti del luogo senza però compromettere l'ambiente e gli ecosistemi insistenti sul territorio.

## 4 – Dissesto

Il dissesto idrogeologico diffuso può influenzare le attività umane e il paesaggio. Anche i corsi d'acqua minori possono essere interessati da numerosi eventi di dissesto in grado di compromettere la stabilità dell'alveo e delle sponde aumentando il rischio per gli insediamenti circostanti il bacino idrografico.

Il torrente Donda, piccolo corso d'acqua che scorre ai piedi delle Prealpi varesine nel comune di Vergiate rappresenta un esempio di studio di possibili sistemazioni dei dissesti in alveo.

Sorge dalle colline moreniche soprastanti l'abitato di Vergiate e precisamente nell'area sorgentizia limitrofa alla strada comunale che collega Vergiate a Cuirone. Seppur con portate contenute, la sorgente garantisce costante deflusso di acqua. Per la maggior parte del suo percorso il torrente scorre nel suo alveo naturale mentre risulta in parte intubato sotto l'abitato ed in parte convogliato in un alveo artificiale cementato per terminare in un laghetto di dispersione nei pressi della SP 47.

In passato le acque del Rio Donda erano una risorsa per il territorio ed i suoi abitanti. Nella relazione di accompagnamento alla domanda di un mutuo per la costruzione dell'acquedotto del 1915 del Sindaco di Vergiate si legge che "le condizioni dell'acqua lasciano molto a desiderare, in quanto che viene consumata quella ricavata da due pozzi pubblici e da una dozzina di pozzi privati" che hanno una profondità media e danno scarsa acqua nei mesi estivi e costringono la popolazione a recarsi al torrente Donda" (Tamborini & Ribolzi, 2010). Le acque sorgive del torrente erano quindi utilizzate anche per il consumo personale oltre che per uso domestico come testimonia la presenza del lavatoio. Le condizioni attuali dell'acqua fluente del torrente non si presentano, almeno visivamente, in buono stato qualitativo ma data l'importanza storica ed ambientale del corso d'acqua sarebbe interessante analizzare gli aspetti "qualitativo-ecologici" ai fini di rivalutarne l'importanza per il territorio e gli abitanti.

La presenza lungo il corso d'acqua di numerosi muri a secco costruiti in passato fino alla base dell'alveo, sembrano pensati non tanto per il contenimento del terreno soprastante

quanto per limitarne l'azione erosiva delle sponde, e sono indicativi di potenziali problemi idrologici che già in passato si sono presentati.



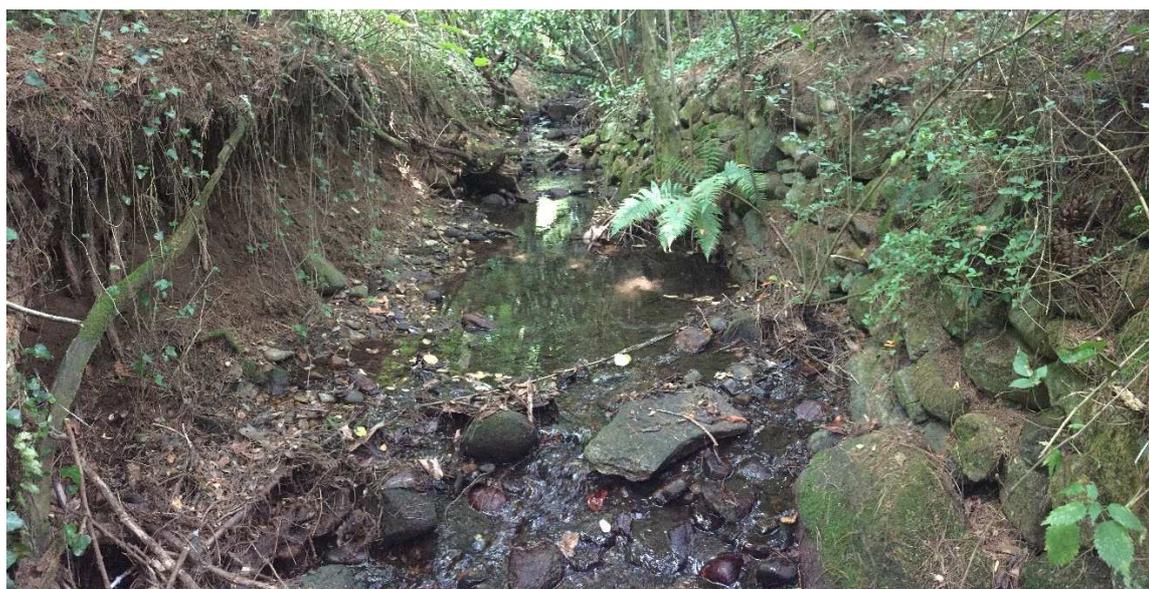
*Figura 16 - Muro a secco presente sugli argini del torrente Donda, ormai in condizioni precarie*

Rimane inoltre da chiarire la presenza di alcune condutture che scaricano direttamente nel corso d'acqua che, se adibite allo scarico delle acque piovane delle abitazioni e dei giardini limitrofi, potrebbero rappresentare un ulteriore problema per le condizioni di piena del torrente, influenzandone la portata di picco.



*Figura 17 - Conduittura insistente sul corso d'acqua*

I piccoli fenomeni di dissesto idrogeologico già evidenti ancorché contenuti e localizzati, sono la conseguenza della fragile geolitologia del luogo, della morfologia del corso d'acqua e dell'incuria di proprietari ed enti pubblici competenti.



*Figura 18 - Evidenti zone di erosione*

La fragilità geolitologica del luogo è da ricercarsi nell'origine del territorio; si tratta infatti di luoghi morenici, creati dall'avanzamento e successivo ritiro dei ghiacciai durante l'ultima glaciazione. La sedimentazione glaciale e fulvio-glaciale dei terreni è caratterizzata dal deposito e dal successivo consolidamento di materiale di detrito portato dall'erosione. I materiali depositati e accumulati sono di ridotte dimensioni (come le sabbie) e quindi facilmente erodibili dai corsi d'acqua, specialmente se le portate dei torrenti sono considerevoli durante particolari condizioni meteo avverse.

La presenza di boschi mal curati nelle zone limitrofe al corso d'acqua, causano il deposito di materiale morto all'interno dell'alveo. Questo materiale sedimentato, riduce la sezione fluviale e crea, spesso, uno sbarramento per le acque che, nello scorrere a valle, erodono i versanti. In caso di piene improvvise il restringimento delle sezioni d'alveo può causare esondazioni o, nel peggiore dei casi, l'innescò di colate detritiche.



*Figura 19 - Attuale situazione dell'alveo*

Le colate detritiche consistono in un miscuglio d'acqua e detriti con porzione solida di circa 30-60%, che scorre rapidamente a valle. Vengono solitamente innescate da eventi

meteorici di breve durata ma di notevole intensità e si verificano frequentemente in ondate successive nell'alveo dei torrenti.

L'innesco delle colate detritiche è dovuto all'accumulo di materiali che ostruiscono la sezione dell'alveo. Nel caso di eventi meteorici intensi non è usuale che queste "barriere naturali" cedano, rilasciando nel corso d'acqua una grande quantità di detriti in un tempo molto limitato che, unendosi allo scorrere delle acque, causano spesso esondazioni nei punti di restringimento della sezione d'alveo, rappresentando un pericolo per gli abitati a valle (fenomeno dam break).

L'esempio della sistemazione idrologica del torrente Donda oggetto del presente elaborato ha il solo scopo di descrivere una metodologia di approccio alla problematica del dissesto. Ogni intervento sui corsi d'acqua deve essere valutato e progettato sulla base delle esigenze territoriali, ricercando le tipologie di sistemazione che meglio si adattano alla regimazione idraulica dell'alveo.

Considerato l'evidente stato di abbandono del corso d'acqua e le precarie condizioni delle opere di sistemazione idraulica presenti, il Comune di Vergiate ha incaricato lo Studio Nicoloso di progettare la sistemazione dell'alveo torrentizio nella zona a monte di Via Donda, punto in cui le acque del torrente alimentano un lavatoio e vengono successivamente incanalate sotto la strada.

Il progetto ha l'obiettivo di:

- sistemare la briglia presente prima del lavatoio di Via Donda, oggi fortemente danneggiata dall'azione erosiva dell'acqua;



*Figura 20 - Attuale condizione della briglia presente prima del lavatoio di Via Donda*

- effettuare la manutenzione delle opere di canalizzazione presenti a valle della stessa che permettono l'alimentazione del lavatoio;



*Figura 21 - Opere di canalizzazione dell'acqua che permettono l'alimentazione del lavatoio*

- progettare opere volte ad evitare il trasporto di detrito all'interno delle canalizzazioni sotterranee all'abitato a valle della zona in esame.

Le briglie sono opere di sistemazione idraulica utili a diminuire la pendenza dell'alveo. La riduzione della pendenza comporta il deposito del materiale trasportato dalla corrente a monte dell'opera. Sono costruite con diversi materiali e realizzate in funzione dell'analisi effettuata sull'alveo e della scelta del progettista. Oltre alla briglia classica, esistono diverse tipologie di briglie funzionali a specifici casi di sistemazione idraulica (es: briglie selettive, briglie filtranti ecc.).

Per la progettazione delle opere di regimazione idraulica del torrente sono stati effettuati dei rilievi sul campo, al fine di valutare il reale stato del corso d'acqua, eseguire le misurazioni utili per i calcoli idrologici e per valutare quali opere di sistemazione di adattano meglio al torrente e all'ambiente circostante.

Durante la ricognizione sul territorio, oltre alla misurazione della briglia e delle canalizzazioni che alimentano il lavatoio, sono state misurate alcune sezioni del corso d'acqua al fine di rilevare i dati utili al calcolo della portata del torrente tramite metodi basati sulla sezione "a piene rive". Per progettare opere di regimazione che trattengano la giusta quantità di sedimento era necessario avere un'indicazione della scabrezza del corso

d'acqua. Si è quindi proceduto alla misurazione a campione del diametro dei sedimenti presenti in alveo.

Il primo passaggio per la progettazione di qualsiasi intervento su un corso d'acqua è il calcolo della portata di piena con un determinato tempo di ritorno. Le opere di sistemazione idraulica dei torrenti infatti sono messe a dura prova quando in alveo si verificano condizioni di portata estreme. In questi casi, se i manufatti non sono opportunamente progettati, le opere potrebbero perdere la capacità di regimazione o, nel peggiore dei casi, subire danni parziali o totali.

Molti sono i metodi di calcolo del valore di portata di piena di un corso d'acqua ognuno dei quali è stato sviluppato e consolidato in funzione di particolari situazioni o luoghi ma, con le opportune correzioni, questi metodi possono essere adattati a differenti casi operativi.

Il parametro del tempo di ritorno indica la probabilità di accadimento di un determinato fenomeno. Ad esempio un tempo di ritorno di 100 anni indica che quella determinata portata viene superata una sola volta nell'arco temporale considerato. L'utilizzo di tempi di ritorno ridotti consentono ovviamente di progettare opere meno imponenti ma anche meno sicure rispetto all'utilizzo di tempi più elevati.

Ai fini progettuali il valore di tempo di ritorno da utilizzare nei calcoli è stabilito per legge ed è pari a TR 100 anni. (Deliberazione di Giunta regionale 30 novembre 2011 – n. IX/2616)

Per il calcolo della portata di piena sono presentati, a titolo di esempio, due metodi molto utilizzati in abito progettuale:

- il metodo razionale
- il metodo SCS-CN.

Entrambi i metodi necessitano però delle analisi preliminari sul bacino idrografico e sui dati pluviometrici di riferimento.

## 4.1 - Morfologia del bacino

Il bacino idrografico è definito come: “l’unità fisiografica che raccoglie i deflussi superficiali, originati dalle precipitazioni che si abbattano sul bacino stesso, che trovano recapito nel corso d’acqua naturale e nei suoi diversi affluenti” (Ferro, 2006). In altre parole il bacino è definito da quella porzione di territorio in cui, un qualsiasi afflusso meteorico che cade al suo interno scorre e si presenta dopo un certo tempo  $\Delta t$  alla sezione di chiusura considerata.

L’analisi della morfologia del bacino è indispensabile per ottenere i dati necessari ad implementare le formule di calcolo della portata. Data l’estensione limitata del bacino i dati sono stati desunti da analisi, effettuate sulle Carte Tecniche Regionali (CTR) pubblicate sul Geoportale di Regione Lombardia (Geoportale di Regione Lombardia, s.d.), tramite l’utilizzo del programma GIS (Geographic Information System).

I programmi GIS sono strumenti informatici concepiti per descrivere ed analizzare elementi, eventi e fenomeni inerenti alla superficie terrestre. Nel caso in questione il programma utilizzato è QGIS, un'applicazione desktop GIS open source.

Sul Geoportale di Regione Lombardia è già presente uno shapefile contenente le analisi morfologiche dei bacini idrografici. Nel caso in questione non è stato possibile l’utilizzo di tali dati vista la ridotta estensione del bacino e la mancanza di informazioni puntuali per il calcolo dei parametri necessari.

|  |           |               |        |
|--|-----------|---------------|--------|
| <b>Area del bacino</b>                 | $A$       | <b>0,99</b>   | $km^2$ |
| <b>Lunghezza dell'asta principale</b>  | $L$       | <b>1,28</b>   | $km$   |
| <b>Quota media</b>                     | $H_m$     | <b>345,00</b> | $m$    |
| <b>Quota "alla sorgente"</b>           | $H_s$     | <b>355,00</b> | $m$    |
| <b>Quota della sezione di chiusura</b> | $H_0$     | <b>285,00</b> | $m$    |
| <b>Quota massima del bacino</b>        | $H_{max}$ | <b>411,00</b> | $m$    |
| <b>Pendenza dell'asta principale</b>   | $i$       | <b>0,05</b>   |        |
| <b>Tempo di corrivazione</b>           | $T_c$     | <b>0,39</b>   | $h$    |

Tabella 3 - Risultati delle analisi morfologiche relative al bacino idrografico considerato

Ai fini dei calcoli della portata di piena, i dati desunti dall'analisi delle CTR, non possono ovviamente essere precisi ma comunque risultano rappresentativi del possibile fenomeno.

Considerato che tutte le sistemazioni in progetto saranno realizzate nella zona a monte del lavatoio, l'area del bacino è stata calcolata considerando come sezione di chiusura il ponte su Via Torretta. Sono stati quindi esclusi gli eventuali afflussi che potranno generarsi a valle di tale punto in quanto la zona non è interessata dalle sistemazioni e dai fenomeni di dissesto. La carta tematica relativa al bacino idrografico è consultabile in Allegato 2.

La lunghezza dell'asta principale, ovvero la lunghezza del torrente misurata nell'alveo principale dalla sorgente alla sezione di chiusura, è stata calcolata individuando il tracciato indicativo del torrente sulla CTR relativa al comune di Vergiate.

I dati di quota del bacino e della pendenza dell'asta principale sono stati estrapolati dalla CTR tramite i punti quotati presenti sulla mappa e le curve di livello interne al bacino.

Il tempo di corrivazione del bacino, definito come "tempo necessario alla goccia di pioggia che cade nel punto idraulicamente più lontano per raggiungere la sezione di chiusura del bacino" (Ferro, 2006), è stato stimato tramite formule empiriche adattabili ai modelli di calcolo. Non esiste una formula migliore di altre, ognuna è valida nel contesto per cui viene sviluppata.

Nel database dei bacini idrografici, scaricabile dal geoportale di Regione Lombardia non è possibile risalire al dato relativo al tempo di corrivazione in quanto il bacino del Rio Donda risulta incluso in quello del torrente Strona (anche questo torrente passa per il territorio comunale di Vergiate). Il tempo di corrivazione rilevabile dallo schapefile risulta quindi parametrato ad un bacino molto più esteso e di conseguenza non paragonabile.

Purtroppo la gran parte delle formule empiriche proposte in letteratura sono studiate e implementate per bacini di notevoli dimensioni. Le due relazioni empiriche utilizzate per il calcolo del tempo di corrivazione nel caso in questione sono le seguenti:

- Aronica e Paltrinieri: relazione empirica basata sulla formula di Giandotti per il calcolo del tempo di corrivazione. È stata modificata dalla relazione di Giandotti (valida per bacini di area variabile tra 170 e 70.000 km<sup>2</sup>) per permetterne l'utilizzo in bacini di area inferiore a 10 km<sup>2</sup>. La relazione utilizzata è la seguente:

$$t_c = \frac{1}{M d} \sqrt{A} + 1,5L$$

$$0,8\sqrt{H_m}$$

- **M** costante numerica che varia in base al tipo di utilizzazione del suolo
- **d** costante numerica che varia in base al tipo di utilizzazione del suolo
- **A** area del bacino espressa in km<sup>2</sup>
- **L** lunghezza dell'asta principale espressa in km
- **H<sub>m</sub>** quota media del bacino

I valori di M e d sono stati desunti dalle seguenti tabelle:

| Tipo di copertura                   | M     |
|-------------------------------------|-------|
| Terreno nudo                        | 0,667 |
| Terreni coperti con erbe rade       | 0,250 |
| Terreni coperti da bosco            | 0,200 |
| Terreni coperti da prato permanente | 0,167 |

Tabella 4 - Valori del coefficiente M, fonte: (Ferro, 2006)

| Permeabilità                  | d     |
|-------------------------------|-------|
| Terreni semi-impermeabili     | 1,270 |
| Terreni poco permeabili       | 0,960 |
| Terreni mediamente permeabili | 0,810 |
| Terreni molto permeabili      | 0,690 |

Tabella 5 - Valori del coefficiente d, fonte: (Ferro, 2006)

Data la copertura del bosco sulla maggior parte del bacino (come visibile in Allegato 3) è stato utilizzato un valore del coefficiente M pari a 0,200.

Data l'indisponibilità dei dati relativi alle analisi dei terreni indicativi della reale permeabilità del bacino e, considerato che la maggior parte del territorio in questione è coperto da bosco si è ritenuto opportuno utilizzare un valore del coefficiente d pari a 0,810 in quanto tipico dei terreni mediamente permeabili.

- Kirpich: è una relazione empirica basata su dati relativi a 6 piccoli bacini americani di superficie variabile tra 0,0051 e 0,433 km<sup>2</sup>, valori che possono essere considerati

vicini alla superficie relativa al bacino idrografico del torrente Donda. La formula per il calcolo del tempo di corrivazione è la seguente:

$$t_c = 0,000325 \left( \frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0,77}$$

- $L$  lunghezza dell'asta principale espressa in metri
- $i_a$  pendenza dell'asta principale.

I risultati ottenuti dall'implementazione delle due formule sono riportati nella tabella seguente.

| Formula                      | $t_c$  |
|------------------------------|--------|
| <b>Aronica e Paltrinieri</b> | 0,5425 |
| <b>Kirpich</b>               | 0,2456 |
| <b>Media</b>                 | 0,3941 |

Tabella 6 - Risultati del calcolo relativo al tempo di corrivazione del bacino in esame

#### 4.2 - Analisi dati pluviometrici e costruzione delle LSPP (Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica)

Ai fini del calcolo della portata di piena tramite i due metodi esposti di seguito è necessario conoscere gli afflussi meteorici che si possono verificare sul bacino di riferimento.

La portata è calcolata dato un certo tempo di ritorno, di conseguenza anche i dati pluviometrici devono essere riferiti ad ai medesimi tempi di ritorno, in altre parole, ad ogni dato pluviometrico, deve essere associata una probabilità di non superamento entro un determinato  $\Delta t$ .

I dati degli afflussi meteorici utilizzati nei calcoli della portata di piena vengono riferiti ad una "pioggia di progetto", ovvero un ipotetico evento meteorico, in grado di mettere in crisi il bacino di riferimento pur nel rigoroso rispetto dei seguenti requisiti:

- Avere una determinata probabilità di non superamento, cioè tempo di ritorno
- Avere caratteristiche di durata, intensità e distribuzione spazio-temporale tali da produrre la massima portata al colmo per il tempo di ritorno dato.

Uno dei metodi per la definizione della pioggia di progetto si basa sull'utilizzo delle cosiddette linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP). Per LSPP di una data località si intende una funzione che lega l'altezza di pioggia massima annua di assegnata probabilità alla relativa durata. Le LSPP si costruiscono a partire dalle serie temporali di altezze di pioggia misurate, da cui si ricavano le cosiddette piogge intense per le diverse durate.

Le LSPP vengono costruite secondo la seguente funzione:

$$h = at^n$$

- $h$  altezza di pioggia misurata in mm
- $a$  parametro dipendente dal tempo di ritorno
- $n$  parametro dipendente dal tempo di ritorno

Per determinare il valore della pioggia di progetto insistente sul bacino idrografico oggetto di studio sono stati utilizzati i dati relativi alle LSPP della zona di interesse desumibili dal portale Idrologico Geografico di ARPA Lombardia (Portale Idrologico Geografico di ARPA Lombardia, s.d.). Sono state inoltre calcolate le medie dei dati relativi a quattro misurazioni di altezze insistenti sul bacino idrografico del corso d'acqua al fine di ottenere un dato più attinente alla realtà.

Si riporta a titolo esemplificativo la modalità di costruzione delle LSPP mediante l'utilizzo di dati registrati nel corso degli anni da una qualsiasi stazione meteorologica insistente su un qualsiasi bacino idrografico.

Si parte dallo ietogramma registrato dalle stazioni meteo, in cui è riportata l'altezza massima di precipitazione di una determinata durata (1 ora, 2 ore, 3 ore, ... , 24 ore, ... , 48 ore) per ogni anno considerato.

| Anno | h (mm) | Anno | h (mm) |
|------|--------|------|--------|
| 1951 | 8      | 1967 | 12,4   |
| 1952 | 28     | 1968 | 16     |
| 1953 | 13,2   | 1969 | 11     |
| 1954 | 14,8   | 1970 | 31,4   |
| 1955 | 17,8   | 1971 | 14,2   |
| 1956 | 12     | 1972 | 11     |

| Anno | h (mm) | Anno | h (mm) |
|------|--------|------|--------|
| 1957 | 16,6   | 1973 | 19,4   |
| 1958 | 18,4   | 1974 | 12,6   |
| 1959 | 28,4   | 1975 | 10     |
| 1960 | 14,8   | 1976 | 0      |
| 1961 | 21     | 1977 | 0      |
| 1962 | 16,2   | 1978 | 21,6   |
| 1963 | 17,6   | 1979 | 14     |
| 1964 | 29     | 1980 | 24,8   |
| 1965 | 11     | 1981 | 16     |
| 1966 | 0      | 1982 | 17,4   |

Tabella 7 - Altezza massima di precipitazione di durata 1 ora per gli anni considerati

Ottenuti per una data durata i valori di altezza di pioggia massima annuale i dati vengono elaborati statisticamente per stimare la relativa distribuzione di probabilità cumulata (DPC). Riportando in grafico i valori ottenuti ed inserendo la linea di tendenza si ottiene la seguente rappresentazione grafica.

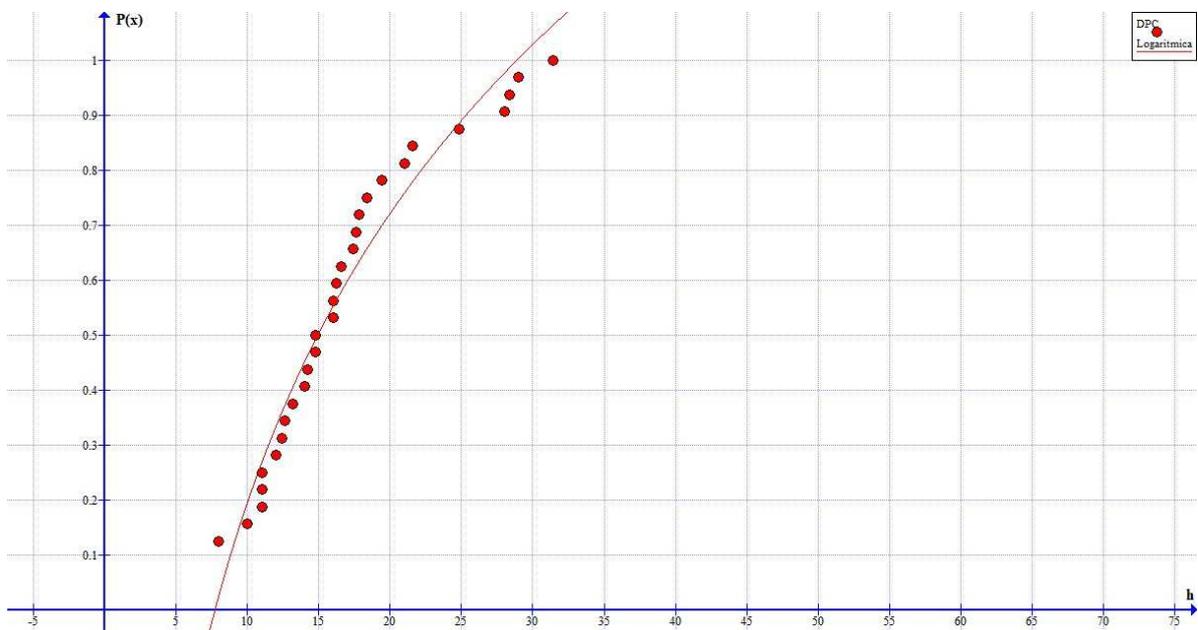


Grafico 2 - Distribuzione di probabilità cumulata (DPC)

Calcolata la DPC è possibile procedere con il calcolo dell'altezza per la durata assegnata e per diversi valori della probabilità. In idrologia anziché di probabilità si parla di tempo di ritorno (numero di anni in cui una data altezza di pioggia viene superata in media una sola volta). La relazione tra tempo di ritorno T e probabilità cumulata P è la seguente:

$$P(x) = \frac{T - 1}{T}$$

per T=10 anni:

- P = 0,9
- h= 25,38 mm

Per T=100 anni:

- P= 0,99
- h= 28,58 mm

È possibile ottenere gli stessi valori in modo “grafico”; conoscendo la probabilità cumulata relativa al tempo di ritorno considerato si va ad interpolare la curva nel punto di probabilità stabilita, andando a visualizzare l'altezza di pioggia corrispondente (Grafico 2).

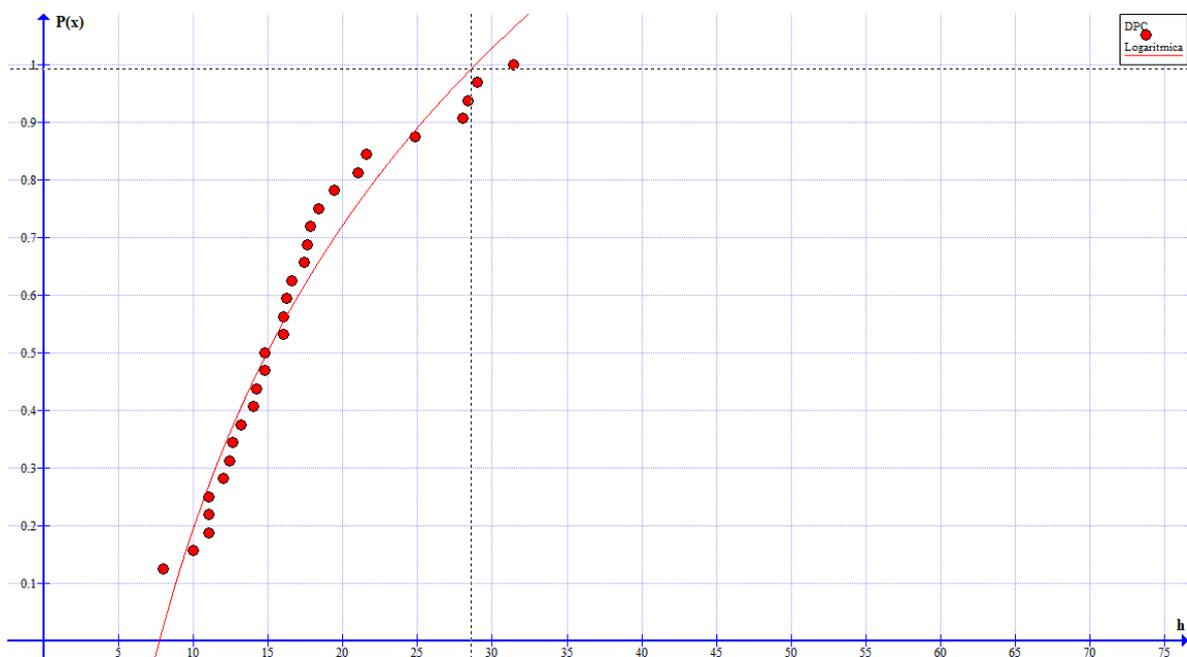


Grafico 3 - Modalità grafica di ottenimento delle altezze di pioggia data la relativa probabilità cumulata (quindi dato il tempo di ritorno)

Ripetendo l'operazione per diverse durate è possibile procedere alla stima delle LSPP.

Relativamente al Rio Donda la tabella risultante dalla media delle 4 misurazioni è così riepilogata:

| <b>Durata (ore)</b> | <b>TR 2 anni</b> | <b>TR 5 anni</b> | <b>TR 10 anni</b> | <b>TR 20 anni</b> | <b>TR 50 anni</b> | <b>TR 100 anni</b> | <b>TR 200 anni</b> |
|---------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| <b>1</b>            | 29,75            | 40,05            | 46,95             | 53,68             | 62,40             | 69,08              | 75,80              |
| <b>2</b>            | 38,03            | 51,20            | 60,00             | 68,55             | 79,80             | 88,30              | 96,88              |
| <b>3</b>            | 43,93            | 59,08            | 69,30             | 79,18             | 92,13             | 101,93             | 111,83             |
| <b>4</b>            | 48,63            | 65,40            | 76,70             | 87,63             | 102,00            | 112,85             | 123,83             |
| <b>5</b>            | 52,65            | 70,80            | 83,00             | 94,85             | 110,35            | 122,13             | 134,00             |
| <b>6</b>            | 56,15            | 75,50            | 88,55             | 101,15            | 117,73            | 130,28             | 142,93             |
| <b>7</b>            | 59,28            | 79,78            | 93,50             | 106,83            | 124,33            | 137,60             | 150,95             |
| <b>8</b>            | 62,18            | 83,63            | 98,03             | 112,00            | 130,33            | 144,25             | 158,23             |
| <b>9</b>            | 64,83            | 87,18            | 102,18            | 116,78            | 135,90            | 150,43             | 164,95             |
| <b>10</b>           | 67,25            | 90,50            | 106,08            | 121,20            | 141,03            | 156,10             | 171,25             |
| <b>11</b>           | 69,58            | 93,60            | 109,73            | 125,40            | 145,90            | 161,45             | 177,13             |
| <b>12</b>           | 71,73            | 96,53            | 113,18            | 129,30            | 150,45            | 166,53             | 182,65             |
| <b>13</b>           | 73,83            | 99,30            | 116,40            | 133,00            | 154,78            | 171,30             | 187,90             |
| <b>14</b>           | 75,78            | 101,93           | 119,50            | 136,53            | 158,90            | 175,83             | 192,93             |
| <b>15</b>           | 77,65            | 104,48           | 122,45            | 139,95            | 162,80            | 180,23             | 197,70             |
| <b>16</b>           | 79,45            | 106,88           | 125,30            | 143,18            | 166,60            | 184,35             | 202,28             |
| <b>17</b>           | 81,18            | 109,18           | 128,00            | 146,30            | 170,23            | 188,35             | 206,65             |
| <b>18</b>           | 82,83            | 111,40           | 130,63            | 149,28            | 173,70            | 192,23             | 210,88             |
| <b>19</b>           | 84,43            | 113,60           | 133,15            | 152,15            | 177,03            | 195,93             | 214,95             |
| <b>20</b>           | 85,98            | 115,68           | 135,60            | 154,95            | 180,28            | 199,53             | 218,90             |
| <b>21</b>           | 87,48            | 117,68           | 137,95            | 157,63            | 183,43            | 203,03             | 222,73             |
| <b>22</b>           | 88,93            | 119,68           | 140,25            | 160,23            | 186,50            | 206,35             | 226,40             |
| <b>23</b>           | 90,35            | 121,53           | 142,48            | 162,78            | 189,43            | 209,65             | 230,00             |
| <b>24</b>           | 91,73            | 123,38           | 144,65            | 165,28            | 192,33            | 212,83             | 233,45             |
| <b>a</b>            | <b>29,758</b>    | <b>40,046</b>    | <b>46,952</b>     | <b>53,654</b>     | <b>62,422</b>     | <b>69,08</b>       | <b>75,796</b>      |
| <b>n</b>            | <b>0,3542</b>    | <b>0,3541</b>    | <b>0,354</b>      | <b>0,354</b>      | <b>0,3541</b>     | <b>0,3541</b>      | <b>0,354</b>       |

Tabella 8 - Dati LSPP

Graficamente le LSPP.

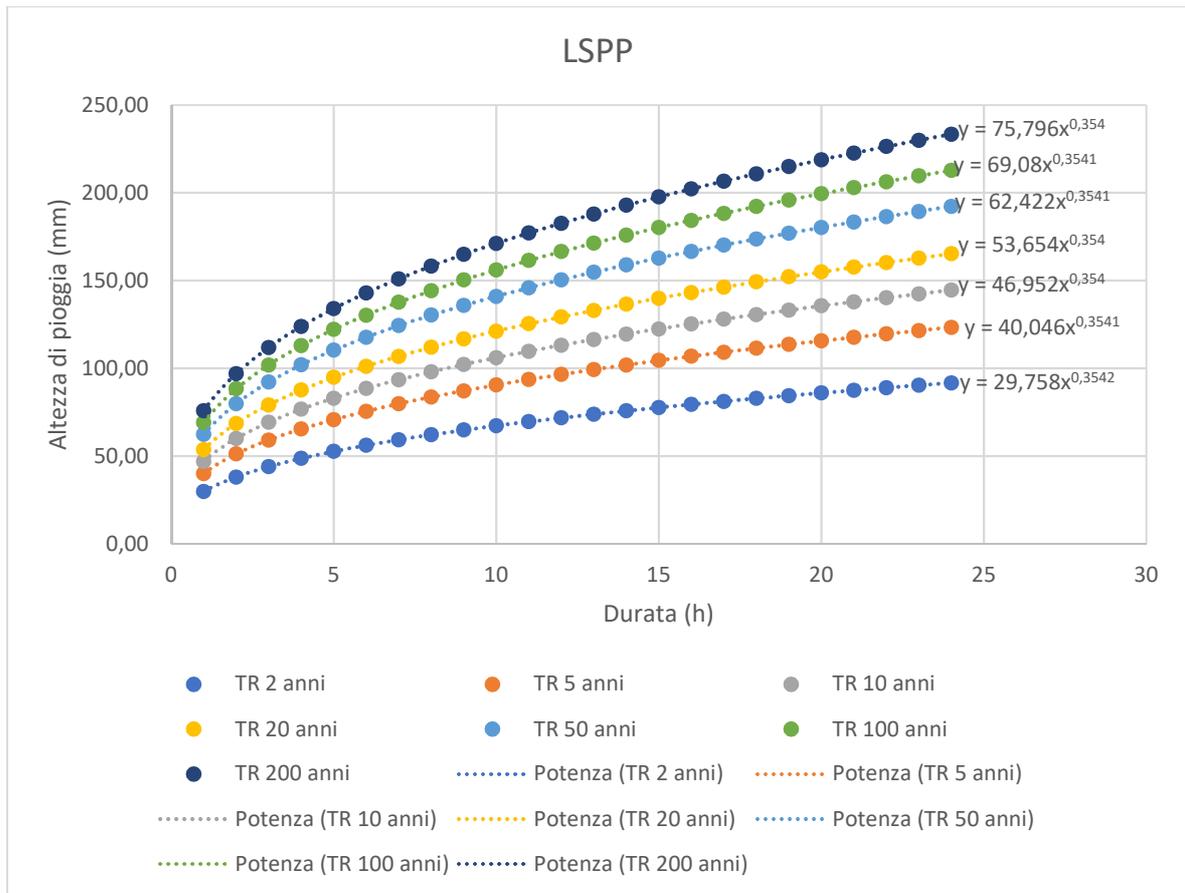


Grafico 4 - Rappresentazione grafica LSPP

I parametri **a** ed **n**, utili alla costruzione della pioggia di progetto sono stati desunti dal grafico 4, inserendo la linea di tendenza esponenziale dei dati e visualizzando il risultato della relativa equazione.

Il calcolo della pioggia di progetto, come da definizione, è quell'evento di intensità e durata tale da mettere in crisi il bacino idrografico. La durata critica della pioggia è pari al tempo di corrivazione, dato che la portata di piena si avrà quando tutto il bacino contribuisce al deflusso e quindi, quando la durata dell'evento sarà pari al tempo di corrivazione. L'altezza critica della pioggia di progetto è stata calcolata tramite la seguente formula:

$$h = at^n$$

- **a** parametro relativo alle LSPP di dato tempo di ritorno
- **n** parametro relativo alle LSPP di dato tempo di ritorno
- **t** tempo di corrivazione.

| CALCOLO ALTEZZA CRITICA          |       |              |              |               |               |               |                |                |
|----------------------------------|-------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| Tempo di corrivazione<br>(ore)   |       | TR 2<br>anni | TR 5<br>anni | TR 10<br>anni | TR 20<br>anni | TR 50<br>anni | TR 100<br>anni | TR 200<br>anni |
| <b>Aronica e<br/>Paltrinieri</b> | 0,542 | 23,96        | 32,25        | 37,81         | 43,21         | 50,27         | 55,63          | 61,04          |
| <b>Kirpich</b>                   | 0,245 | 18,10        | 24,36        | 28,57         | 32,64         | 37,97         | 42,02          | 46,11          |

Tabella 9 - Calcolo altezza di pioggia critica per i tempi di corrivazione considerati (dati espressi in mm)

Un altro parametro utile per i calcoli della portata è l'intensità critica, ovvero l'intensità misurata in mm/h in grado di produrre deflusso utile ad alimentare la portata di piena. Per il calcolo di questo parametro è stato sufficiente dividere l'altezza critica per il tempo di corrivazione considerato.

| CALCOLO INTENSITA' CRITICA       |       |              |              |               |               |               |                |                |
|----------------------------------|-------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| Tempo di corrivazione<br>(ore)   |       | TR 2<br>anni | TR 5<br>anni | TR 10<br>anni | TR 20<br>anni | TR 50<br>anni | TR 100<br>anni | TR 200<br>anni |
| <b>Aronica e<br/>Paltrinieri</b> | 0,542 | 44,17        | 59,44        | 69,70         | 79,64         | 92,65         | 102,54         | 112,51         |
| <b>Kirpich</b>                   | 0,245 | 73,67        | 99,16        | 116,28        | 132,87        | 154,57        | 171,05         | 187,71         |

Tabella 10 - Calcolo intensità di pioggia critica (valori espressi in mm/h)

Avendo a disposizione i dati morfologici e pluviometrici del bacino, risulta ora possibile calcolare la portata di piena tramite il metodo razionale ed il metodo SCS-CN.

#### 4.3 - Calcolo della portata di piena tramite il metodo razionale

“La formula razionale, è una relazione per la valutazione della portata al colmo che transita in una determinata sezione di controllo, per un assegnato tempo di ritorno. [...] Nonostante l'idrologia abbia fatto notevoli progressi, questa metodologia è ancora molto utilizzata nella pratica operativa, soprattutto per i piccoli bacini, per la sua semplicità e spesso per la carenza di dati che impediscono l'utilizzo di strumenti più sofisticati” (Bischetti, 2005).

Il metodo razionale consente la determinazione della portata di picco ma presenta le seguenti criticità:

- Si limita a valutare la sola portata al picco, senza ricostruire l'intero idrogramma di piena (altri metodi come ad esempio il metodo della corrivazione lo consentono)
- Non simula un evento di pioggia reale ma un evento di progetto, uniforme nello spazio e nel tempo. Nel caso in esame il bacino idrografico del torrente Donda, avendo una superficie ridotta, la simulazione di una pioggia costante nello spazio e nel tempo non rappresenta una criticità di calcolo in quanto è possibile che eventi estremi abbiano la stessa intensità e durata su tutta l'area contribuyente del bacino. Nel caso invece di bacini di maggiore estensione, simulare piogge costanti nello spazio e nel tempo, senza l'applicazione degli opportuni coefficienti di riduzione, può condurre a valori di portata forvianti o quanto meno non realistici.
- Assume che la probabilità di accadimento dell'evento di pioggia e della conseguente portata sia la stessa.

La relazione utilizzata per il calcolo della portata al picco tramite il metodo razionale è la seguente:

$$Q_p = \frac{1}{3,6} C c_r i_T A$$

- $A$  area del bacino contribuyente espressa in km<sup>2</sup>
- $C$  coefficiente di deflusso
- $c_r$  coefficiente di ragguaglio dell'area
- $i_T$  intensità critica di precipitazione di assegnato tempo di ritorno e durata pari al tempo di corrivazione.
- $\frac{1}{3,6}$  fattore di conversione delle unità di misura che permette di ottenere la portata totale in m<sup>3</sup>/s

Il coefficiente di deflusso è un fattore di riduzione della precipitazione totale; permette di eliminare dal calcolo della portata di piena la quota di precipitazione che non raggiunge la sezione di controllo del bacino. Viene eliminata quindi la parte di precipitazione che viene intercettata dalla copertura vegetale o che, immagazzinata nelle depressioni superficiali o nel terreno, viene rilasciata dopo un certo tempo, non contribuendo all'idrogramma di piena. Si tratta quindi del rapporto tra la pioggia efficace e la pioggia totale. Il coefficiente di deflusso è tabulato e varia in base alla permeabilità dei terreni e al tipo di utilizzo del suolo.

| Tipo di suolo   | Copertura del bacino |         |        |
|---|----------------------|---------|--------|
|   | Coltivi              | Pascoli | Boschi |
| <b>Suoli molto permeabili sabbiosi o ghiaiosi</b>   | 0,2                  | 0,15    | 0,1    |
| <b>Suoli mediamente permeabili (senza strati di argilla).<br/>Terreni di medio impasto o simili</b>   | 0,4                  | 0,35    | 0,3    |
| <b>Suoli poco permeabili. Suoli fortemente argillosi o simili, con strati di argilla vicino alla superficie. Suoli poco profondi sopra roccia impermeabile.</b> | 0,5                  | 0,45    | 0,4    |

*Tabella 11 - Valori del coefficiente C proposti in una guida della F.A.O. per la formula razionale*

Il coefficiente di deflusso è proporzionale all'impermeabilità del suolo.

Non conoscendo i tipi di suolo presenti nel bacino, si è optato per un coefficiente di deflusso legato ad una condizione intermedia di permeabilità, in modo tale da non compromettere il calcolo della portata. L'uso del suolo del bacino è visualizzabile in Allegato 3, (carta elaborata tramite programma GIS utilizzando i dati della cartografia DUSAF 5.0 di Regione Lombardia). La maggior parte dei terreni insistenti sul bacino idrografico in questione è boscata, con la presenza di seminativi sparsi e tessuto urbano poco presente se non in corrispondenza della sezione di chiusura.

Il coefficiente di deflusso utilizzato per il calcolo della portata di piena è pari a 0,40; data la prevalenza di terreni boscati e la presenza, seppur ridotta, di tessuto urbano, questo coefficiente risulta correttamente applicabile al bacino in questione. Nel caso si analizzassero zone urbanizzate questo coefficiente sarebbe sicuramente più alto per la presenza di aree completamente impermeabili (tetti, cortili cementati, strade asfaltate ecc.).

Il coefficiente di ragguglio all'area è un parametro che permette di considerare nel calcolo la variabilità spaziale della precipitazione. Chiaramente i dati ottenuti dalle stazioni pluviometriche sono puntuali in quanto si limitano a registrare dati della specifica area su cui insistono. A distanza di qualche kilometro l'intensità e l'altezza di precipitazione possono variare in quanto solitamente, durante una precipitazione, possono generarsi zone (cosiddetti centri di scroscio) con intensità maggiore rispetto a quelle circostanti. Il coefficiente di ragguglio dell'area permette quindi di "mediare" il valore di intensità di

pioggia, adeguandolo in funzione dell'estensione del bacino e della durata dell'evento meteorico. Più il bacino di riferimento è esteso e maggiore sarà la variabilità spaziale della precipitazione; più un evento meteorico sarà lungo e minore sarà la variabilità della precipitazione.

Il coefficiente di ragguglio all'area è rappresentato nella seguente tabella.

|              |    | Area (km <sup>2</sup> ) |      |      |      |      |      |      |      |       |
|--------------|----|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|              |    | 1                       | 5    | 10   | 30   | 100  | 300  | 1000 | 3000 | 10000 |
| Durata (ore) | 1  | 0,96                    | 0,93 | 0,91 | 0,86 | 0,79 | 0,71 | 0,62 | 0,53 | 0,44  |
|              | 2  | 0,97                    | 0,95 | 0,93 | 0,9  | 0,84 | 0,79 | 0,73 | 0,65 | 0,55  |
|              | 3  | 0,97                    | 0,96 | 0,94 | 0,91 | 0,87 | 0,83 | 0,78 | 0,71 | 0,62  |
|              | 6  | 0,98                    | 0,97 | 0,96 | 0,93 | 0,9  | 0,87 | 0,83 | 0,79 | 0,73  |
|              | 24 | 0,99                    | 0,98 | 0,97 | 0,96 | 0,94 | 0,92 | 0,89 | 0,86 | 0,83  |
|              | 48 | 1                       | 0,99 | 0,98 | 0,97 | 0,96 | 0,94 | 0,91 | 0,88 | 0,86  |

Tabella 12 - Coefficiente di ragguglio dell'area, fonte: Natural Environment Research Council, Flood Studies Report, 1981

Data l'area del bacino e la durata dell'evento di pioggia, il coefficiente di ragguglio all'area adottato per i calcoli è pari a 0,96.

I risultati di portata al colmo ottenuti con il metodo della corrivazione sono riassunti nella tabella seguente:

| CALCOLO DELLA PORTATA AL PICCO         |       |             |             |             |              |              |              |              |
|--|-------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Tempo di corrivazione                  |       | TR 2 anni   | TR 5 anni   | TR 10 anni  | TR 20 anni   | TR 50 anni   | TR 100 anni  | TR 200 anni  |
| Aronica e Paltrinieri                  | 0,542 | 4,66        | 6,28        | 7,36        | 8,41         | 9,78         | 10,83        | 11,88        |
| Kirpich                                | 0,245 | 7,78        | 10,47       | 12,28       | 14,03        | 16,32        | 18,06        | 19,82        |
| <b>Q<sub>p</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b> |       | <b>6,22</b> | <b>8,37</b> | <b>9,82</b> | <b>11,22</b> | <b>13,05</b> | <b>14,45</b> | <b>15,85</b> |

Tabella 13 - Calcolo della portata al picco tramite il metodo razionale

La portata è stata calcolata separatamente per i due tempi di corrivazione considerati. Data l'incertezza di parecchi dati in ingresso (area del bacino, tempi di corrivazione, coefficienti

di deflusso e ragguglio ecc.) è stata calcolata la media dei risultati ottenuti, determinando un valore più realistico e con un minor margine di errore.

Per ottenere il valore di portata più realistico possibile, è prassi utilizzare più metodi di calcolo, in modo da poter avere differenti valori confrontabili con le evidenze di campo.

#### 4.4 - Metodo SCS-CN

Il metodo SCS-CN è una procedura per il calcolo della portata al picco per bacini di superficie non superiore a 15-20 km<sup>2</sup>, ed è stato elaborato dal Soil Conservation Service (SCS), oggi Natural Resources Conservation Service (NRCS), agenzia del dipartimento dell'agricoltura degli Stati Uniti.

La relazione utilizzata per il calcolo della portata al picco, tramite questo metodo è la seguente:

$$Q_p = \frac{1}{3,6} 0,749 \frac{P_e}{0,67t_c} A$$

- $P_e$  pioggia efficace
- $t_c$  tempo di corrivazione
- $A$  area del bacino.

Il metodo è fondato sull'ipotesi che la seguente equazione sia sempre vera nell'ambito dei vari bacini idrografici:

$$\frac{V}{P_n} = \frac{W}{S}$$

- $V$  volume del deflusso
- $P_n$  precipitazione netta
- $W$  invaso del suolo, ovvero il volume di acqua effettivamente immagazzinata nel suolo
- $S$  valore massimo dell'invaso
- Tutti i valori sono espressi in mm

La precipitazione netta si ottiene sottraendo da quella totale il valore di pioggia persa. Il volume intercettato o rimasto immagazzinato nelle depressioni superficiali, non contribuisce alla portata al colmo e viene indicato come "perdite iniziali" (Ia).

Il valore delle perdite iniziali è correlato al valore di invaso massimo del suolo (S) e vale la relazione:

$$I_a = 0,2S$$

Il dato ottenuto servirà al calcolo del volume di deflusso, cioè il volume di acqua che contribuisce alla formazione della portata di piena. Il volume di deflusso è anche chiamato Pioggia efficace ( $P_e$ ), cioè la precipitazione meteorica in grado di contribuire all'idrogramma di piena.

$$V = P_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

Il valore di massimo invaso del suolo (S) dipende da diversi fattori quali uso del suolo, intercettazione fogliare, immagazzinamento nelle depressioni superficiali e contenuto iniziale di umidità ed è espresso come:

$$S = 25,4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

- **CN** parametro chiamato Curve Number che assume valori compresi tra 0 e 100.

Il CN rappresenta "l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso. Si stima, sulla base dei valori riportati in un'apposita tabella, in relazione alle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale presenti nel bacino" (Ferro, 2006).

I valori di CN sono classificati in funzione della tipologia di terreno e dell'uso del suolo. Per le tipologie di suolo valgono le seguenti classificazioni (Ferro, 2006):

- Gruppo A: Bassa capacità di formazione del deflusso. Suoli con elevata infiltrabilità anche in condizioni di completa saturazione. Si tratta di sabbie o ghiaie profonde molto ben drenate. La conducibilità idrica alla saturazione è elevata.
- Gruppo B: Suoli con modesta infiltrabilità se saturi. Discretamente drenati e profondi sono caratterizzati da una tessitura medio-grossa e da una conducibilità idrica non molto elevata.
- Gruppo C: Suoli con bassa infiltrabilità se saturi. Sono per lo più suoli con uno strato che impedisce il movimento dell'acqua verso il basso (a drenaggio impedito) oppure suoli con tessitura medio-fine e bassa infiltrabilità. La conducibilità idrica è bassa.

- Gruppo D: Suoli ad elevata capacità di formazione del deflusso. Appartengono a questo gruppo suoli ricchi di argilla con capacità rigonfianti, i suoli con uno strato di argilla presso la superficie, i suoli poco profondi su substrati impermeabili. La conducibilità idrica è estremamente bassa.

Per la classificazione d'uso del suolo si utilizza la seguente tabella:

| Destinazione                                      | Sistemazione      | Condizione idrica | A   | B   | C   | D   |
|---|-------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|
| <b>Incolto</b>                                    |                   |                   | 77  | 86  | 91  | 94  |
| <b>Coltivazioni in filari</b>                     | <i>Rittochino</i> | <i>Povera</i>     | 72  | 81  | 88  | 91  |
|   |                   | <i>Buona</i>      | 67  | 78  | 85  | 89  |
|   | <i>Girapoggio</i> | <i>Povera</i>     | 70  | 79  | 84  | 88  |
|   |                   | <i>Buona</i>      | 65  | 75  | 82  | 86  |
|   | <i>Terrazzato</i> | <i>Povera</i>     | 66  | 74  | 80  | 82  |
|   |                   | <i>Buona</i>      | 62  | 71  | 78  | 81  |
| <b>Cereali da granella</b>                        | <i>Rittochino</i> | <i>Povera</i>     | 65  | 76  | 84  | 88  |
|   |                   | <i>Buona</i>      | 63  | 75  | 83  | 87  |
|   | <i>Girapoggio</i> | <i>Povera</i>     | 63  | 74  | 82  | 85  |
|   |                   | <i>Buona</i>      | 61  | 73  | 81  | 84  |
|   | <i>Terrazzato</i> | <i>Povera</i>     | 61  | 72  | 79  | 82  |
|   |                   | <i>Buona</i>      | 59  | 70  | 78  | 81  |
| <b>Prati di leguminose o a rotazione</b>          | <i>Rittochino</i> | <i>Povera</i>     | 66  | 77  | 85  | 89  |
|   |                   | <i>Buona</i>      | 58  | 72  | 81  | 85  |
|   | <i>Girapoggio</i> | <i>Povera</i>     | 64  | 75  | 83  | 85  |
|   |                   | <i>Buona</i>      | 55  | 69  | 78  | 83  |
|   | <i>Terrazzato</i> | <i>Povera</i>     | 63  | 73  | 80  | 83  |
|   |                   | <i>Buona</i>      | 51  | 67  | 76  | 80  |
| <b>Prato Permanente</b>                           |                   | <i>Buona</i>      | 30  | 58  | 71  | 78  |
| <b>Boschi</b>                                     |                   | <i>Povera</i>     | 45  | 66  | 77  | 83  |
|   |                   | <i>Discreta</i>   | 36  | 60  | 73  | 79  |
|   |                   | <i>Buona</i>      | 25  | 55  | 70  | 77  |
| <b>Strade sterrate</b>                            |                   |                   | 74  | 84  | 90  | 92  |
| <b>Tessuto urbano</b>                             |                   |                   | 77  | 85  | 90  | 92  |
| <b>Superfici impermeabili e superfici d'acqua</b> |                   |                   | 100 | 100 | 100 | 100 |

Tabella 14 - Valori coefficiente CN, fonte: (Ferro, 2006)

“La stima del CN presuppone inizialmente la determinazione del gruppo idrologico di ciascun suolo ricadente nel bacino e, all’interno di ciascun gruppo, l’individuazione di aree omogenee per destinazione d’uso, sistemazione e condizione idrica” (Ferro, 2006).

Una volta determinati i valori di CN per porzione di territorio, il valore finale da utilizzare nella formula di calcolo del valore massimo di invaso (S) è dato dalla media pesata dei valori attribuiti, utilizzando come peso la superficie di ogni area.

Il metodo CN tiene conto inoltre della condizione di umidità del terreno al momento dell’inizio dell’evento meteorico. Questo elemento contribuirà alla formazione della portata di piena in quanto suoli con un elevato contenuto di umidità avranno minore capacità di trattenere l’acqua e, quindi il valore massimo di invaso diminuirà, producendo una quota maggiore di deflusso in alveo. Viceversa terreni molto asciutti saranno in grado di trattenere una larga parte della precipitazione, mitigando così gli effetti dell’evento meteorico e trasferendo una quota minore di acqua in alveo.

I valori di CN indicati in tabella 14 sono riferiti a condizioni di umidità intermedie (AMC-II), cioè ad una precipitazione caduta nei 5 giorni precedenti compresa tra 12,7 e 27,94 mm nella stagione invernale e compresa tra 35,56 e 53,34 nella stagione vegetativa. Lo stesso valore di CN può essere ricalcolato ipotizzando condizioni di terreno asciutto (AMC-I), con una precipitazione caduta nei 5 giorni precedenti inferiore a 12,7 mm nella stagione invernale e inferiore a 35,56 nella stagione vegetativa. La formula da utilizzare è la seguente:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2,334 - 0,01334CN_{II}}$$

Analogamente è possibile procedere al ricalcolo del valore di CN ipotizzando condizioni di terreno umido (AMC-III), con una precipitazione caduta nei 5 giorni precedenti maggiore di 27,4 mm per la stagione invernale e maggiore di 53,34 mm nella stagione vegetativa.

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0,4036 + 0,0059CN_{II}}$$

Nel caso del torrente Donda, il metodo SCS-CN ha prodotto risultati molto differenti rispetto al metodo razionale.

Non avendo a disposizione le analisi dei suoli, il valore di CN calcolato dell'area è approssimativo. La classificazione della tipologia di terreno è stata fatta utilizzando i dati contenuti nello studio geologico, idrogeologico e sismico di supporto al piano di governo del territorio del comune di vergiate (Comune di Vergiate, s.d.). Tutto il territorio ascritto al bacino idrografico è riconducibile alla categoria A, suoli ad elevata infiltrazione.

Utilizzando i CN relativi alla categoria di suolo A, dei terreni boscati in condizione idrica discreta e quelli relativi al tessuto urbano è stato definito un CN-II medio, dando doppio peso alle porzioni di territorio boscato, vista la preponderanza delle stesse (Allegato 3). Data la ridotta estensione delle aree a seminativo e a prato sono stati omessi dal calcolo i valori di CN relativi a quelle destinazioni di uso del suolo.

|                        |           | Peso |    |
|------------------------|-----------|------|----|
| <b>CN bosco</b>        | 36        | 2    | 72 |
| <b>CN urbano</b>       | 77        | 1    | 77 |
| <b>CN medio</b>        | 49,67     |      |    |
| <b>CNII utilizzato</b> | <b>50</b> |      |    |

Tabella 15 - Calcolo CNII

Non conoscendo l'effettivo tasso di umidità dei terreni e considerato il clima sufficientemente umido e piovoso della zona in esame, la portata al picco è stata elaborata utilizzando il valore di CN-III (valore di Curve Number nel caso di condizioni di suolo umido al momento dell'inizio dell'evento meteorico) come specificato nella seguente tabella.

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| <b>CN-III</b>                      | 71,57     |
| <b>CN-III adottato nei calcoli</b> | <b>72</b> |

Tabella 16 - Calcolo CNIII

I risultati ottenuti con lo sviluppo delle formule per il calcolo del valore di invaso massimo (S) e della perdita iniziale (Ia) vengono così riassunti:

|           |       |
|-----------|-------|
| <b>S</b>  | 98,78 |
| <b>Ia</b> | 19,75 |

Tabella 17 - Calcolo valori di invaso massimo e di perdita iniziale

Risulta ora possibile calcolare la pioggia efficace tramite i due tempi di corrivazione considerati e la portata di piena relativa al bacino idrografico. Come per il metodo precedente, al fine di ottenere un risultato più realistico e con un margine di errore minore è stata calcolata la media dei due valori di portata.

| <b>CALCOLO PIOGGIA EFFICACE</b> |       |              |              |               |               |               |                |                |
|---------------------------------|-------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| Tempo di corrivazione           |       | TR 2<br>anni | TR 5<br>anni | TR 10<br>anni | TR 20<br>anni | TR 50<br>anni | TR 100<br>anni | TR 200<br>anni |
| <b>Aronica e Paltrinieri</b>    | 0,543 | 0,17         | 1,40         | 2,79          | 4,50          | 7,20          | 9,56           | 12,17          |
| <b>Kirpich</b>                  | 0,246 | 0,03         | 0,21         | 0,72          | 1,49          | 2,84          | 4,10           | 5,55           |

Tabella 18 - Calcolo pioggia efficace

| <b>CALCOLO PORTATA MASSIMA</b> |       |              |              |               |               |               |                |                |
|--------------------------------|-------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| Tempo di corrivazione          |       | TR 2<br>anni | TR 5<br>anni | TR 10<br>anni | TR 20<br>anni | TR 50<br>anni | TR 100<br>anni | TR 200<br>anni |
| <b>Aronica e Paltrinieri</b>   | 0,543 | 0,10         | 0,80         | 1,58          | 2,55          | 4,08          | 5,42           | 6,90           |
| <b>Kirpich</b>                 | 0,246 | 0,04         | 0,26         | 0,90          | 1,86          | 3,54          | 5,12           | 6,94           |
| <b>Qp (m<sup>3</sup>/s)</b>    |       | <b>0,07</b>  | <b>0,53</b>  | <b>1,24</b>   | <b>2,20</b>   | <b>3,81</b>   | <b>5,27</b>    | <b>6,92</b>    |

Tabella 19 - Portata al picco calcolata con il metodo SCS-CN

I valori, come detto in precedenza, si discostano parecchio dai risultati del metodo razionale. La causa è da ricercare nell'incertezza dei dati utilizzati per elaborare il metodo SCS-CN. Il valore utilizzato di CN è un valore approssimativo e non reale, inoltre non si conoscono dettagliatamente le aree contribuenti delle varie destinazioni di uso del suolo. L'incertezza di questo dato, sommata all'approssimazione derivante dalla costruzione delle LSPP (non sono presenti stazioni di rilevamento pluviometrico all'interno del bacino del torrente Donda quindi i risultati delle LSPP sono rilevati dalle stazioni ARPA limitrofe con evidente incertezza del dato) e all'utilizzo di coefficienti non sempre pertinenti al caso in esame portano ad ottenere valori di portata molto differenti tra le due metodologie di calcolo.

La portata calcolata con il metodo SCS-CN può risultare più realistica nell'ambito del torrente considerato, dato che dalle evidenze in alveo vi sono segni di passaggio di portate importanti ma sicuramente con tempi di ritorno molto elevati (sicuramente superiori a 100 anni, osservabile dal rilievo delle sezioni). Dato che i segni più importanti sono lasciati in alveo presumibilmente da portate relative a quell'ordine di grandezza l'evidenza di campagna porta a ritenere coerente il risultato ottenuto con il metodo SCS-CN.

Al fine di non sovradimensionare particolarmente le opere di sistemazione idraulica con il conseguente impatto visivo, paesaggistico ed economico, nella progettazione delle opere sul torrente Donda è stato utilizzato il valore di portata ottenuto con il metodo SCS-CN.

#### 4.5 - Rilievo delle sezioni

I metodi di calcolo della portata utilizzati in precedenza, hanno il difetto di ottenere valori incerti, data l'incertezza dei dati in input.

Gli errori di calcolo che si possono potenzialmente fare utilizzando coefficienti non coerenti con il contesto in esame sono inversamente proporzionali all'estensione del bacino. I metodi sopra esposti possono essere utili per calcolo della portata al fine di progettare piccole opere di regimazione idraulica come per il torrente Donda, ma nel caso sia necessario un reale valore di portata massima transitabile all'interno dell'alveo non condurrebbero a risultati coerenti.

Per ovviare a questo inconveniente è possibile utilizzare metodi differenti, basati non più sull'utilizzo di coefficienti che provano a "ricalcare" la realtà, ma basati sulla misurazione delle evidenze di campo.

Un esempio di metodologia per il calcolo della portata di picco tramite rilievi di campo può essere quello basato sulla "sezione a piene rive".

"Si tratta di metodi che si basano sul concetto di "portata formativa", vale a dire l'ipotesi che la forma e la geometria di una sezione di un corso d'acqua sia il risultato degli eventi idrologici che si susseguono nel tempo. In effetti, le evidenze geomorfologiche, sebbene

non possano dare indicazioni sulla frequenza con cui le portate si verificano, possono risultare anche più affidabili delle consuete formule qualora manchino i più elementari dati di base (o che non sia possibile utilizzarle per motivi di tempo o economicità), come spesso è il caso di piccoli impluvi con bacini contribuenti di modeste dimensioni” (Bischetti, 2005).

Nel caso del torrente Donda, per la ricostruzione della portata formativa è stato utilizzato un rilievo di 5 sezioni dell’alveo “a piene rive”, andando quindi ad identificare i punti in cui più probabilmente l’alveo è stato sagomato da un evento di piena. Le sezioni sono state misurate nel tratto di torrente interessato dalla progettazione delle sistemazioni.

Nel calcolo della portata è stata utilizzata la formula di Chezy, che fornisce un valore di portata in m<sup>3</sup>/s.

$$Q = \chi \sigma \sqrt{Ri}$$

- **Q** portata espressa in m<sup>3</sup>/s
- **χ** coefficiente di scabrezza; fattore indispensabile al calcolo delle perdite energetiche della corrente. È un parametro che tiene conto del materiale presente in alveo e, quindi, della scabrezza delle pareti e del fondo, potendo così calcolare le perdite della corrente.
- **σ** area della sezione considerata espressa in m<sup>2</sup>
- **R** raggio idraulico della sezione, calcolato come Area/Contorno bagnato (A/C)
- **i** pendenza del corso d’acqua

Data l’irregolarità geometrica della sezione, i valori di area totale e di contorno bagnato sono stati calcolati sommando i valori ottenuti applicando le stesse formule a parti elementari della sezione. Di seguito le formule di calcolo:

$$A_i = \frac{1}{2} (h_i + h_{i-1})(x_i - x_{i-1})$$

$$C_i = \sqrt{(h_i - h_{i-1})^2 + (x_i - x_{i-1})^2}$$

Per il calcolo dell’area e del contorno bagnato totale le relazioni utilizzate sono:

$$A_{tot} = \sum_{i=1}^{n+1} A_i$$

$$C_{tot} = \sum_{i=1}^{n+1} C_i$$

Per le opportune verifiche l'area ed il contorno bagnato sono stati misurati con l'ausilio di un programma CAD. Le sezioni schematizzate e misurate sono visibili in Allegato 5.

Il coefficiente di scabrezza è stato desunto da apposite tabelle, sono stati utilizzati due coefficienti di scabrezza differenti, ottenendo due differenti valori di portata, la cui media ha fornito un risultato più realistico.

| <b>Tipo di canale</b>  | <b>Gauckler – Strikler<br/>(Ks m<sup>1/3</sup>/s)</b> | <b>Manning<br/>(n m<sup>-1/3</sup>s)</b> |
|--|---|--|
| <b>Canali in terra con erba sul fondo; corsi d'acqua naturali regolari</b>   | 40  | 0,025                                    |
| <b>Canali in terra in cattive condizioni; corsi d'acqua naturali con ciottoli e ghiaia</b>   | 35  | 0,03                                     |
| <b>Canali in abbandono con folta vegetazione; corsi d'acqua con alveo in ghiaia e movimento di materiali sul fondo, oppure scavati in roccia con sporgenze</b> | 30  | 0,035                                    |

*Tabella 20 - Valori coefficienti di scabrezza, fonte: (Gallati & Sibilla, 2009)*

Per il calcolo della portata del torrente Donda sono stati utilizzati i coefficienti di Strikler e Manning corrispondenti ai corsi d'acqua con alveo in ghiaia e movimento di materiali sul fondo (rispettivamente **30** e **0,035**).

Data l'importante presenza di vegetazione e di ghiaia con ciottoli sul fondo, questi valori sono da ritenersi coerenti per le condizioni dell'alveo in questione.

Il raggio idraulico delle sezioni è stato calcolato rapportando l'area al contorno bagnato. Il valore di pendenza dell'asta principale del corso d'acqua era già stato calcolato in precedenza, durante le analisi morfologiche del corso d'acqua.

I dati relativi al rilievo delle sezioni sono riassunti nelle tabelle seguenti.

| Rilievo | h (m) | Dist (m) | A <sub>i</sub> | C <sub>i</sub> |
|---------|-------|----------|----------------|----------------|
| 1       | 0     | 0        |                |                |
| 2       | 0,155 | 0,5      | 0,03875        | 0,5234         |
| 3       | 0,43  | 0,8      | 0,08775        | 0,4069         |
| 4       | 1,05  | 1        | 0,148          | 0,6514         |
| 5       | 1,11  | 1,5      | 0,54           | 0,5035         |
| 6       | 1,1   | 2        | 0,5525         | 0,5000         |
| 7       | 1,135 | 2,2      | 0,2235         | 0,2030         |
| 8       | 0,47  | 2,4      | 0,1605         | 0,6944         |
| 9       | 0,335 | 2,6      | 0,0805         | 0,2412         |
| 10      | 0,26  | 2,8      | 0,0595         | 0,2136         |
| 11      | 0,21  | 3        | 0,047          | 0,2061         |
| 12      | 0,12  | 3,2      | 0,033          | 0,2193         |
| 13      | 0     | 3,3      | 0,006          | 0,1562         |

Tabella 21 - Calcoli area parziale e contorno bagnato parziale relativi alla sezione 1

| Rilievo | h (m) | Dist (m) | A <sub>i</sub> | C <sub>i</sub> |
|---------|-------|----------|----------------|----------------|
| 1       | 0     | 0        |                |                |
| 2       | 0,95  | 0,5      | 0,2375         | 1,0735         |
| 3       | 1,21  | 1        | 0,54           | 0,5635         |
| 4       | 1,27  | 1,5      | 0,62           | 0,5035         |
| 5       | 1,22  | 2        | 0,6225         | 0,5024         |
| 6       | 0,85  | 2,5      | 0,5175         | 0,6220         |
| 7       | 0     | 3        | 0,2125         | 0,9861         |

Tabella 22 - Calcoli area parziale e contorno bagnato parziale relativi alla sezione 2

| Rilievo | h (m) | Dist (m) | A <sub>i</sub> | C <sub>i</sub> |
|---------|-------|----------|----------------|----------------|
| 1       | 0     | 0        |                |                |
| 2       | 0,77  | 0,5      | 0,1925         | 0,9180         |
| 3       | 1,27  | 1        | 0,51           | 0,7071         |
| 4       | 1,43  | 1,5      | 0,675          | 0,5249         |
| 5       | 1,49  | 2        | 0,73           | 0,5035         |
| 6       | 1,4   | 2,5      | 0,7225         | 0,5080         |
| 7       | 0,86  | 3        | 0,565          | 0,7359         |
| 8       | 0,59  | 3,5      | 0,3625         | 0,5682         |
| 9       | 0     | 4        | 0,1475         | 0,7733         |

Tabella 23 - Calcoli area parziale e contorno bagnato parziale relativi alla sezione 3

| Rilievo | h (m) | Dist (m) | A <sub>i</sub> | C <sub>i</sub> |
|---------|-------|----------|----------------|----------------|
| 1       | 0     | 0        |                |                |
| 2       | 0,86  | 0,3      | 0,129          | 0,9108         |
| 3       | 1,4   | 0,8      | 0,565          | 0,7359         |
| 4       | 1,49  | 1,3      | 0,7225         | 0,5080         |
| 5       | 1,53  | 1,8      | 0,755          | 0,5015         |
| 6       | 1,54  | 2        | 0,307          | 0,2002         |
| 7       | 0,765 | 2,2      | 0,2305         | 0,8003         |
| 8       | 0,62  | 2,5      | 0,20775        | 0,3332         |
| 9       | 0,44  | 3        | 0,265          | 0,5314         |
| 10      | 0     | 3,8      | 0,176          | 0,9130         |

Tabella 24 - Calcoli area parziale e contorno bagnato parziale relativi alla sezione 4

| Rilievo | h (m) | Dist (m) | A <sub>i</sub> | C <sub>i</sub> |
|---------|-------|----------|----------------|----------------|
| 1       | 0     | 0        |                |                |
| 2       | 0,66  | 0,5      | 0,165          | 0,8280         |
| 3       | 0,92  | 1        | 0,395          | 0,5635         |
| 4       | 0,875 | 1,5      | 0,44875        | 0,5020         |
| 5       | 0,82  | 2        | 0,42375        | 0,5030         |
| 6       | 0,7   | 2,5      | 0,38           | 0,5141         |
| 7       | 0,73  | 3        | 0,3575         | 0,5008         |
| 8       | 0,53  | 3,5      | 0,315          | 0,5385         |
| 9       | 0,42  | 4        | 0,2375         | 0,5119         |
| 10      | 0,28  | 4,5      | 0,175          | 0,5192         |
| 11      | 0,15  | 5        | 0,1075         | 0,5166         |
| 12      | 0     | 5,4      | 0,03           | 0,4272         |

Tabella 25 - Calcoli area parziale e contorno bagnato parziale relativi alla sezione 5

Nella tabella seguente sono riportati i risultati relativi al calcolo delle portate tramite la formula di Chezy, ipotizzando la sezione "a piene rive".

| Sezione      | Area sezione (m <sup>2</sup> ) | Contorno Bagnato (m) | Raggio idraulico (m) | Pendenza | Portata Manning (m <sup>3</sup> /s) | Portata Strikler (m <sup>3</sup> /s) | Portata media (m <sup>3</sup> /s) |
|--------------|--------------------------------|----------------------|----------------------|----------|-------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 1            | 1,98                           | 4,52                 | 0,44                 | 0,05     | 7,28                                | 7,64                                 | 7,46                              |
| 2            | 2,75                           | 4,25                 | 0,65                 | 0,05     | 13,14                               | 13,80                                | 13,47                             |
| 3            | 3,91                           | 5,24                 | 0,75                 | 0,05     | 20,51                               | 21,53                                | 21,02                             |
| 4            | 3,36                           | 5,43                 | 0,62                 | 0,05     | 15,56                               | 16,34                                | 15,95                             |
| 5            | 3,04                           | 5,93                 | 0,51                 | 0,05     | 12,41                               | 13,03                                | 12,72                             |
| <b>Media</b> |                                |                      |                      |          | 13,78                               | 14,47                                | <b>14,12</b>                      |

Tabella 26 - Calcolo portata "a piene rive" tramite l'equazione di Chezy

Il valore evidenziato è il risultato della media tra le portate delle 5 sezioni e rappresenta quindi il valore approssimativo di portata massima transitabile all'interno delle sezioni e quindi dell'alveo.

Il metodo utilizzato, non è in grado di dare un'indicazione del tempo di ritorno della portata calcolata. Data la quantità di vegetazione e l'approssimativa età delle piante presenti sulle sponde dell'alveo dalle evidenze di campagna il valore ottenuto potrebbe avere tempi di ritorno maggiori di 100 anni. Nel caso in cui la portata massima si verificasse con maggiore frequenza alcune piante potrebbero essere sradicate o, comunque potrebbero avere un portamento differente da quello rilevabile dalla ricognizione in alveo.

Il metodo di calcolo della portata "a piene rive" se applicato a bacini molto ridotti potrebbe portare a risultati più coerenti e meno approssimativi rispetto ad altri metodi, ma è comunque riferibile a configurazioni di situazioni "al limite". Per avere un valore di portata formativa su cui poter progettare piccole opere di regimazione idraulica sarebbe necessario il rilievo di sezioni scavate dall'alveo in condizioni di portata minore, nonostante la maggiore incertezza nelle misurazioni.

Il metodo risulta quindi applicabile nel caso in cui la portata formativa lascia in alveo indiscutibili segni di passaggio; nel caso del rio Donda la morfologia del torrente riporta in parecchi punti i segni del passaggio di portate importanti (nell'ordine di quelle calcolate) ma, data la presenza di fitta vegetazione spondale che rende difficoltoso il rilievo delle sezioni e l'individuazione della morfologia del corso d'acqua, non si ha ovviamente la certezza dei dati raccolti.

Lungo le sponde del corso d'acqua, nel tratto interessato dai rilievi, non è inusuale trovare antichi muri a secco, probabilmente costruiti per "contenere" il torrente evitando l'erosione delle sponde. Si può ritenere che i muri a secco erano stati pensati e costruiti affinché la portata "ricorrente" potesse passare e rimanere all'interno del letto naturale. È quindi possibile affermare che i valori di portata "ricorrente" su cui è possibile la progettazione di piccole opere di regimazione devono essere calcolati riferendosi a questa sezione.

Utilizzando lo stesso metodo esposto e i dati relativi alle sezioni in cui è possibile ipotizzare una portata "media" (sezioni in cui su una sponda è presente un muro a secco) sono state ricalcolate le portate massime con il metodo "a piene rive". I risultati sono esposti nella seguente tabella:

| Sezione      | Area sezione (m <sup>2</sup> ) | Contorno Bagnato (m) | Raggio idraulico (m) | Pendenza | Portata Manning (m <sup>3</sup> /s) | Portata Strikler (m <sup>3</sup> /s) | Portata media (m <sup>3</sup> /s) |
|--------------|--------------------------------|----------------------|----------------------|----------|-------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>1_bis</b> | 1,53                           | 3,43                 | 0,45                 | 0,05     | 5,74                                | 6,02                                 | 5,88                              |
| <b>3_bis</b> | 2,80                           | 4,39                 | 0,64                 | 0,05     | 13,22                               | 13,88                                | 13,55                             |
| <b>4_bis</b> | 2,29                           | 4,25                 | 0,54                 | 0,05     | 9,68                                | 10,16                                | 9,92                              |
| <b>MEDIA</b> |                                |                      |                      |          | 9,54                                | 10,02                                | 9,78                              |

Tabella 27 - Calcolo portata massima tramite il metodo "a piene rive". Il valore evidenziato è il valore di portata media calcolato riferendosi alle sezioni delimitate dai muri a secco presenti sulle sponde del corso d'acqua.

La portata ottenuta è sicuramente più realistica ed avrà tempi di ritorno più contenuti rispetto al valore calcolato in precedenza.

Dall'analisi dei risultati emerge come, per i piccoli bacini, il calcolo della portata di piena è un'operazione complessa e non priva di incertezze.

In letteratura esistono parecchie formule empiriche per il calcolo della portata, ma raramente possono essere utilizzate con precisione dato che sono state studiate e sviluppate per un preciso areale e per determinate condizioni operative. L'utilizzo delle stesse al di fuori dell'area di studio porterebbe ad ottenere risultati poco coerenti alla realtà in quanto ogni relazione è precisa e funzionale nel contesto in cui è stata sviluppata.

In conclusione, non esistendo allo stato dell'arte metodi consolidati per l'analisi delle portate dei piccoli bacini, la progettazione delle opere di regimazione idraulica e di difesa spondale applicabili a bacini di ridotte dimensioni risulta maggiormente difficoltosa anche se, data la ridotta entità delle opere realizzabili, è possibile ritenere che i valori desunti dall'applicazione dei metodi sopra esposti risultino accettabili.

#### 4.6 - Proposte di sistemazione del torrente Donda in località Vergiate

Come già esposto, il progetto di sistemazione del torrente Donda ha l'obiettivo di sistemare la briglia presente prima del lavatoio di Via Donda e realizzare opere volte ad

evitare il trasporto di detrito all'interno delle canalizzazioni sotterranee all'abitato di Vergiate oltre che a ridurre i fenomeni erosivi spondali.

Il primo intervento deve riguardare la ripulitura del materiale vegetale morto presente in alveo. La presenza di piante e rami atterrati determina uno sbarramento del corso d'acqua, interferendo inevitabilmente con il normale deflusso. Le acque, deviate nel loro corso, sono naturalmente incanalate lungo direttrici secondarie, comportando l'inevitabile erosione dei versanti. Oltre a ciò l'attività erosiva provoca un aumento del sedimento trasportato dal torrente che una volta raggiunta la canalizzazione sotterranea all'abitato può sedimentare riducendo la sezione utile al passaggio della portata. Nel caso in cui si verifichi un evento di piena improvviso e rilevante, si vengono a creare le condizioni favorevoli all'esondazione nei punti più sensibili (restringimenti delle sezioni, curve ecc.) con il conseguente pericolo e danno per le zone residenziali ed industriali limitrofe all'asta torrentizia.

La rimozione del materiale morto in alveo, anche se potrebbe interferire con il naturale sviluppo dell'habitat che si è creato lungo il corso d'acqua, è un'operazione fondamentale ai fini della difesa idraulica.

Successivamente è necessario un ridimensionamento della vegetazione presente sugli argini dell'asta torrentizia. La ripulitura totale o quasi dalla vegetazione in una fascia di 5 m per lato partendo dal corso d'acqua permetterebbe di scongiurare il formarsi di ulteriore materiale vegetale in grado di ostruire il normale deflusso del torrente. L'operazione potrebbe sembrare lesiva del paesaggio ma sarebbe altrettanto giustificata dalla possibilità di diminuire il rischio di esondazioni o dissesti lungo il rio Donda.

Nell'arco di alcuni anni comunque la vegetazione, seppur con caratteristiche differenti, sarebbe nuovamente presente sugli argini senza compromettere l'ecosistema creatosi. Sarà poi competenza degli enti preposti assicurare una costante manutenzione del verde insistente sul corso d'acqua, andando a cedere le piante che si svilupperanno sugli argini e mantenendo la vegetazione sempre "giovane".

La presenza di piante giovani lungo le sponde non compromette il deflusso e, nel caso di portate importanti non ostacolerebbe lo scorrere delle acque in quanto sufficientemente

flessibili. Inoltre la presenza di piante garantirebbe, grazie agli apparati radicali, una stabilizzazione del suolo, utile al contenimento di eventuali fenomeni di dissesto. La presenza di vegetazione infine contribuirebbe alla creazione di un habitat complesso ed importante ai fini ecologico-naturalistici.

Relativamente all'obiettivo di ridurre la quantità di materiale trasportato dal torrente all'interno delle canalizzazioni sotto l'abitato e di limitare l'erosione spondale del corso d'acqua, occorre diminuire la pendenza inserendo una serie di briglie lungo il percorso.

Altre soluzioni come la ricostruzione morfologica sarebbero difficilmente praticabili vista l'area di lavoro parecchio ristretta e le zone di accesso abbastanza impervie.

La soluzione di inserire delle briglie al fine di ridurre la pendenza è giustificata dal fatto che un corso d'acqua con una pendenza minore ha una minor capacità erosiva. Questo comporta che l'acqua non sarà più in grado di erodere i versanti, salvaguardando così le zone di dissesto già presenti lungo l'asta torrentizia.

La sistemazione prospettata permetterebbe inoltre di risolvere o ridurre notevolmente la problematica del trasporto solido in quanto riducendo la pendenza, oltre a limitare la capacità di trasporto solido, si verrebbe a creare a monte delle briglie una zona a minor pendenza in cui le particelle solide in sospensione tenderebbero a depositarsi sul fondo dell'alveo, riducendo ulteriormente la quantità di materiale trasportato.

Le briglie realizzate con gabbioni di pietrame a secco rappresenterebbero una scelta progettuale idonea al contesto. Queste tipologie costruttive hanno il vantaggio di poter essere trasportate in alveo vuoti e successivamente riempite con pietrame, riducendo così l'impiego di macchinari.

Data la presenza di antichi muri a secco la scelta costruttiva si integrerebbe meglio nel paesaggio confondendosi nell'ambiente e rispettando le caratteristiche naturali e paesaggistiche del luogo. Ogni opera di sbarramento fluviale deve comunque garantire una continuità biologica del corso d'acqua, altrimenti verrebbe alterato l'ecosistema del sito. Le gabbionate, non essendo completamente impermeabili al passaggio dell'acqua, garantirebbero la continuità biologica e la salvaguardia dell'ambiente.

Anche per la sistemazione della briglia già presente sul torrente a monte del lavatoio di Via Donda dovrà essere utilizzata la medesima metodologia costruttiva con pietrame a vista. L'attuale briglia presenta una zona di erosione al piede dell'opera dovuta all'energia cinetica dell'acqua di stramazzo, che ha sottoescavato il manufatto, erodendo il materiale presente alla base.



*Figura 22 - Attuale briglia presente sul corso d'acqua fortemente sottoescavata.*

Solitamente la costruzione di una controbriglia risulterebbe risolutiva del problema eliminando quindi il rischio di erosione delle fondamenta dell'opera ma la scelta progettuale ha selezionato una soluzione alternativa.

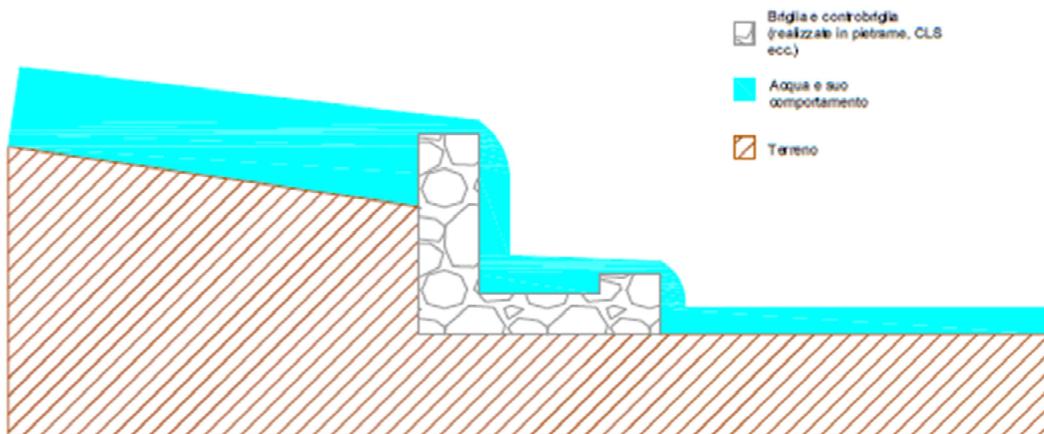


Figura 23 - Schema briglia e controbriglia

Per questioni di costi e di spazi è stata abbandonata l'idea della costruzione di una controbriglia, sostituendola con una pavimentazione dell'alveo in tutto il tratto compreso tra la briglia ed il lavatoio. La pavimentazione rende inerosibile il letto del torrente, scongiurando la sottoescavazione dell'opera di regimazione.

La pavimentazione, oltre a salvaguardare le fondazioni dell'opera, è utile ad accelerare la corrente in uscita dalla briglia. La minore scabrezza e la maggiore regolarità della pavimentazione permette infatti all'acqua di acquistare una maggiore energia cinetica. In questo modo, eventuali residui di sedimenti verranno trasportati abbastanza celermente nel tratto di alveo a valle della canalizzazione sotto la Via Donda, evitando che il depositarsi degli stessi riduca la sezione disponibile al passaggio dell'acqua.

Attualmente è presente una griglia selettiva all'imbocco della canalizzazione sotterranea alla strada, utile ad impedire l'ingresso di materiale vegetale (rami, tronchi ecc.) e di sedimenti di grosse dimensioni. Per sicurezza sarà lasciata anche se non dovrebbe essere necessaria con le sistemazioni progettate, in quanto la gran parte del sedimento sarà trattenuto a monte dalle briglie mentre le sistemazioni "selvicolture" ridurranno la possibilità che materiale vegetale finisca in alveo.



*Figura 24 - Griglia selettiva all'imbocco della canalizzazione sotterranea alla strada*

La griglia selettiva dovrà essere ripulita dai detriti attualmente presenti e mantenuta costantemente pulita in futuro. La riduzione della portata causata da sedimenti di materiale comprometterebbe la sua funzionalità oltre a costituire un potenziale critico che potrebbe innescare fasi di esondazione.

Verranno inoltre ricostruite le canalizzazioni che alimentano il lavatoio a valle della briglia.

## 5 - Conclusioni

I due casi di studio trattati nell'elaborato possono essere un possibile esempio di sintesi tra la necessità di difesa del suolo e l'importanza della tutela e della valorizzazione paesaggistica.

Richiamando la citazione di Hegel, una qualsiasi opera inserita in un ambiente, sia esso naturale o antropico, oltre a sottostare a determinate leggi di progettazione e realizzazione, è indispensabile che riesca a far combaciare entrambi gli aspetti trattati ma senza causare una variazione qualitativa del contesto in cui è inserita.

La difesa del suolo, intesa come qualsiasi intervento in grado di fermare o rallentare i processi di dissesto idrogeologico, è un elemento chiave nella protezione dell'ambiente e degli insediamenti umani e nella progettazione occorre valutare tutti gli aspetti e gli scenari possibili, coinvolgendo le tecniche e le conoscenze delle diverse discipline scientifiche che potenzialmente sono coinvolte.

La valorizzazione e la tutela paesaggistica risulta invece un elemento indispensabile per la promozione territoriale, oltre che per tutti gli aspetti economico-culturali ad essa legati e deve tendere a mostrare e valorizzare il bello che la natura generosamente offre della quale l'uomo ne è al tempo stesso spettatore ed artefice.

E' quindi indispensabile valutare le possibili soluzioni scegliendo prioritariamente quelle con scarso impatto ambientale (come l'ingegneria naturalistica), ed arrivando, nei casi in cui non vi siano possibili alternative, alle soluzioni "tradizionali", cercando però sempre di scegliere materiali a basso impatto ambientale e discretamente integrati con l'ambiente in cui si va ad operare senza dimenticare l'equilibrio degli ecosistemi presenti che sono comunque parte della ricchezza e della bellezza di un territorio .

La manutenzione diffusa del territorio, come spiegato al capitolo 3, è un elemento di fondamentale importanza nella difesa del suolo e nella tutela paesaggistica. Mantenere in ottimo stato funzionale le opere già presenti sul territorio significa prorogarne nel tempo i benefici per il quale sono state pensate e costruite ed al contempo prevenire e monitorare

tutte le situazioni di potenziale dissesto idrogeologico eventualmente presenti nell'area interessata.

Un ambiente curato e mantenuto in efficienza lo rende più fruibile costituendo un valore aggiunto per l'ambiente, la natura ma soprattutto per le persone che lo frequentano.

L'elaborato vuole dimostrare inoltre come una corretta ed attenta progettazione degli interventi di manutenzione territoriale, integrati con la costruzione di opere a difesa idrogeologica nei punti più sensibili, riescano a garantire un discreto livello di sicurezza a beneficio degli abitati, della natura e dell'ambiente prevenendo scenari indesiderati che costringono ad interventi spesso costosi e non sempre rispettosi del contesto in cui si realizzano.

“L'uomo non è che una canna, la più fragile di tutta la natura, ma è una canna pensante. E anche quando l'universo lo schiacciasse, l'uomo sarebbe sempre più nobile di ciò che lo uccide, dal momento che egli sa di morire, mentre l'universo non sa nulla” (Pascal Pensiero 264). E' nostro compito prenderci cura dell'ambiente nella logica della “canna pensante” e di quanto dall'universo ci distingue. Lo studio e le tecniche a nostra disposizione possono, come in parte esposto, dominare e al tempo stesso valorizzare lo “sfondo immutabile” in cui siamo inseriti ma per fare ciò occorre saper osservare attentamente le leggi e gli equilibri che naturalmente esistono, e da questi partire per far sì che vengano mantenuti, migliorati e valorizzati.

## Appendice - Briglia sinusoidale insistente sul torrente Lanza, nel comune di Clivio (VA)

Il torrente Lanza (o Gaggiolo) nasce dalle pendici meridionali del Monte San Giorgio, nel comune svizzero di Meride. Entra del territorio italiano a Saltrio e attraversa i comuni di Clivio, Viggù e Cantello (tutti in provincia di Varese). Successivamente rientra in territorio elvetico attraversando il comune di Stabio, per ritornare nuovamente in Italia attraversando i territori dei comuni di Valmorea, Bizzarone, Rodero e Cagno (provincia di Como) e confluire nel fiume Olona dopo l'attraversamento dei comuni di Cantello e Malnate in provincia di Varese.

Il guado sul torrente Lanza, sito all'altezza di Via Ermizada (Allegato 5), rappresenta l'unica via di accesso al campo sportivo comunale e l'amministrazione comunale, per garantire la sicurezza al passaggio delle autovetture verso il capo sportivo, ha incaricato lo studio Nicoloso di progettarne la sistemazione al fine di ridurre al minimo le difficoltà nel transito e garantire l'accesso alle strutture in piena sicurezza specialmente durante portate considerevoli del torrente.

La soluzione costruttiva ideata e progettata risulta l'unica possibile, data la ridotta disponibilità economica. La costruzione di un ponte per l'accesso al sito sarebbe risultata sicuramente più sicura ma con costi enormemente superiori e difficoltà progettuali non indifferenti.

Il progetto prevede la realizzazione di una briglia sinusoidale, posizionata a monte del guado, in modo da sfruttare l'energia cinetica dell'acqua in uscita dallo sbarramento per allontanare i detriti che si depositano sul passaggio.

La problematica principale nel transito delle autovetture era infatti rappresentata dalla presenza di detrito mobile sul letto del fiume. Il problema è stato arginato pavimentando il guado con pietre ed aumentando l'energia cinetica della corrente al fine di "ripulire" la zona di passaggio.

La briglia sinusoidale, come tutte le briglie, è un'opera trasversale alla corrente ed ha la proprietà di riportare la pendenza dell'alveo ai valori progettati e idonei ad uno scorrere

delle acque senza che queste vadano ad erodere o a depositare il materiale presente sul fondo e sulle sponde del torrente. La particolarità di questa briglia consiste nel fatto che l'acqua in uscita non stramazza dall'opera (come visto nella briglia a monte del lavatoio sul torrente Donda, nel capitolo 3), ma scorre sulla stessa aumentando la propria energia cinetica. In questo modo l'acqua, scorrendo con una velocità maggiore sul guado, porta a valle dello stesso i detriti trasportati dalla corrente (senza un aumento dell'energia la corrente depositerebbe i detriti sul guado stesso).

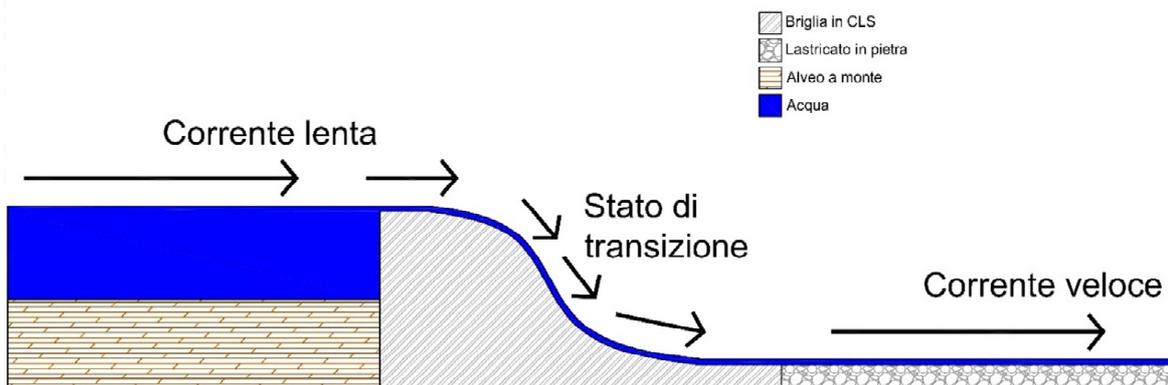


Figura 25 - Schema di funzionamento della briglia sinusoidale

Lo schema in figura rappresenta il funzionamento della briglia sinusoidale. Nel caso di una briglia classica a stramazzo l'energia cinetica acquisita dall'acqua durante la caduta viene dissipata a contatto con il terreno, mentre nella briglia sinusoidale l'accelerazione e quindi l'energia cinetica acquisita viene mantenuta in uscita dall'opera, facendo in modo che la velocità di transito dell'acqua sul guado sia elevata e garantendo un allontanamento dei detriti depositati durante le condizioni di portata minima.

Lo schema evidenzia gli stati energetici attraversati dalla corrente durante il transito sulla briglia. A monte dell'opera data la ridotta pendenza dell'asta torrentizia e dato lo sbarramento operato dalla briglia si è in condizioni di corrente lenta; durante la discesa l'acqua acquista velocità ed energia cinetica passando ad uno stadio di corrente veloce.

Questo passaggio è spiegato idraulicamente dalla condizione di stato critico della corrente.

Ponendosi in condizioni di moto uniforme e tralasciando momentaneamente ciò che avviene sulla briglia sinusoidale, il carico energetico massimo rispetto al fondo è risulterebbe costante.

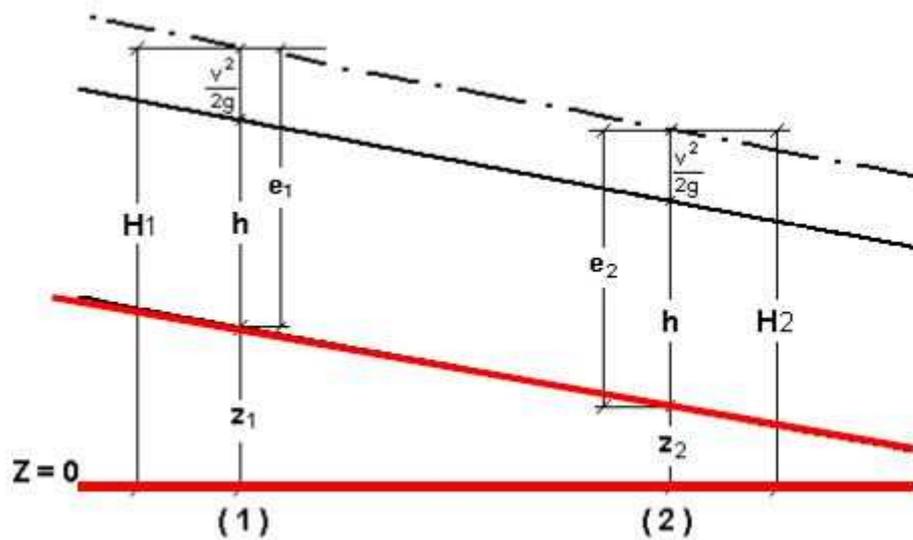


Figura 26 - Schema del carico energetico massimo rispetto al fondo

Dove con H è indicata la linea dei carichi totali mentre con h la linea dei carichi piezometrici.

Il carico totale della corrente è espresso tramite la seguente relazione, derivante dall'equazione di Bernoulli:

$$H = z + h + \frac{V^2}{2g}$$

Quindi il carico totale può essere espresso come la somma di due componenti:

- La quota geometrica z
- La somma dei due termini di pressione e velocità che insieme vanno a definire l'energia specifica della corrente rispetto al fondo, che è un valore costante nel caso di moto uniforme.

$$e = h + \frac{V^2}{2g} = h + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

Questa relazione rappresenta la quota potenziale dell'energia della corrente corrispondente al tirante idrico  $h$  e la quota cinetica dell'energia della corrente rappresentata dalla velocità (che può essere espressa in funzione della portata).

Con portata costante invece, l'energia risulta in funzione solamente del tirante idrico  $h$ . Scomponendo i due termini dell'equazione dell'energia specifica e costruendo i relativi grafici si otterranno le seguenti curve:

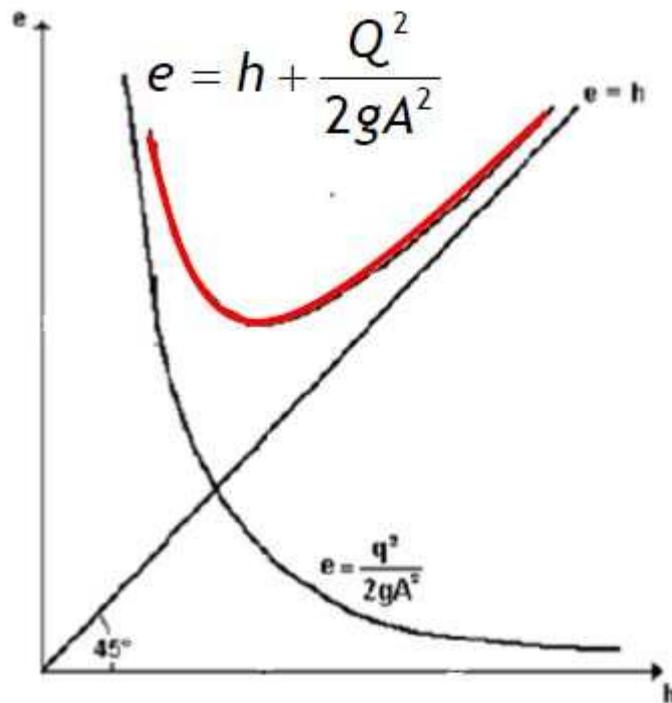


Grafico 5 - Energia specifica della corrente

La curva rossa rappresenta l'equazione generale dell'energia specifica della corrente.

Osservando il grafico è possibile affermare che con tirante idrico ( $h$ ) tendente a zero la sezione della corrente ( $A$ ) tenderà anch'essa a zero, facendo assumere valori al termine energetico ( $e$ ) tendenti a  $+\infty$ . Se al contrario il tirante idrico tende a  $+\infty$  il termine energetico assumerà valori tendenti a zero, dato che l'area della corrente ( $A$ ) assumerà valori abbastanza elevati.

Se la curva rossa rappresenta l'energia specifica della corrente ad un dato valore di portata e ad una data altezza del tirante idrico ( $h$ ), si evince che la corrente, per poter transitare dalla sezione considerata, deve avere un'energia minima, rappresentata dal punto più

basso della curva. In altre parole, la corrente, per poter transitare, deve avere un contenuto energetico  $e \geq e_{min}$ .

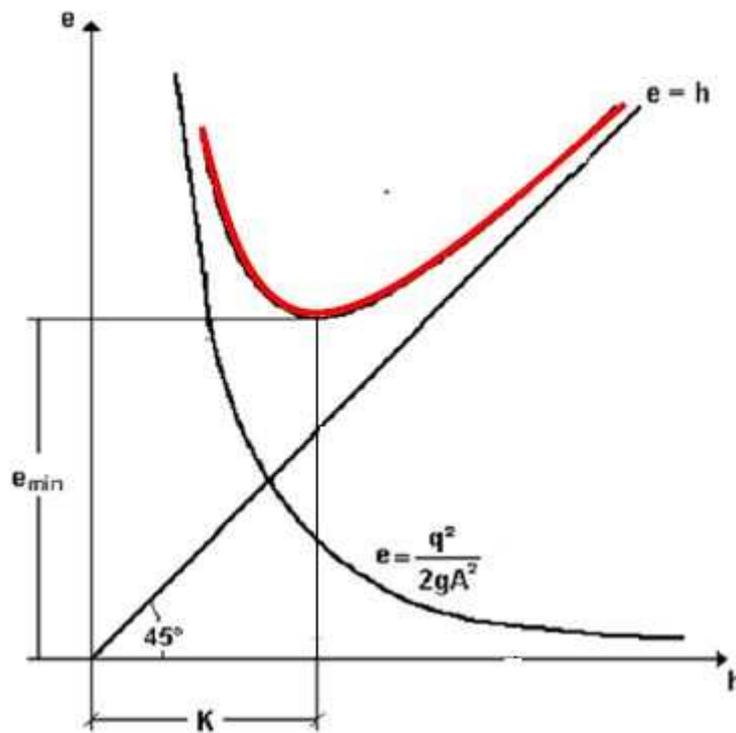


Grafico 6 - Individuazione grafica dell'energia minima ( $e_{min}$ ) e dell'altezza critica ( $K$ )

L'energia minima ( $e_{min}$ ) è la condizione limite per cui una corrente può transitare all'interno di una sezione; se l'energia è minore l'acqua non si muoverà. L'energia minima può essere quindi rapportata all'altezza della corrente definendo come  $K$  l'altezza minima del tirante idrico che deve avere la corrente per poter transitare all'interno di una sezione.  $K$  è anche chiamato altezza critica della corrente.

Se in una determinata sezione si verificano le condizioni di energia minima si dice che la corrente, in quella determinata sezione, è allo stato critico e la velocità con cui transita è definita velocità critica.

Per una data portata, quindi, la corrente può avere lo stesso contenuto energetico con valori di altezza idrometrica differenti, fatta eccezione per lo stato critico in cui l'altezza critica corrisponde solamente al contenuto energetico minimo. Lo stato critico può quindi dividere in due parti la curva energetica della corrente.

A sinistra del valore di energia minima si è in una condizione di altezza idrometrica bassa ma alta energia cinetica; queste condizioni definiscono le correnti veloci. Al contrario, alla destra dello stato critico, si avranno altezze idrometriche maggiori, con crescenti valori di energia cinetica. Le correnti in queste condizioni vengono definite correnti lente.

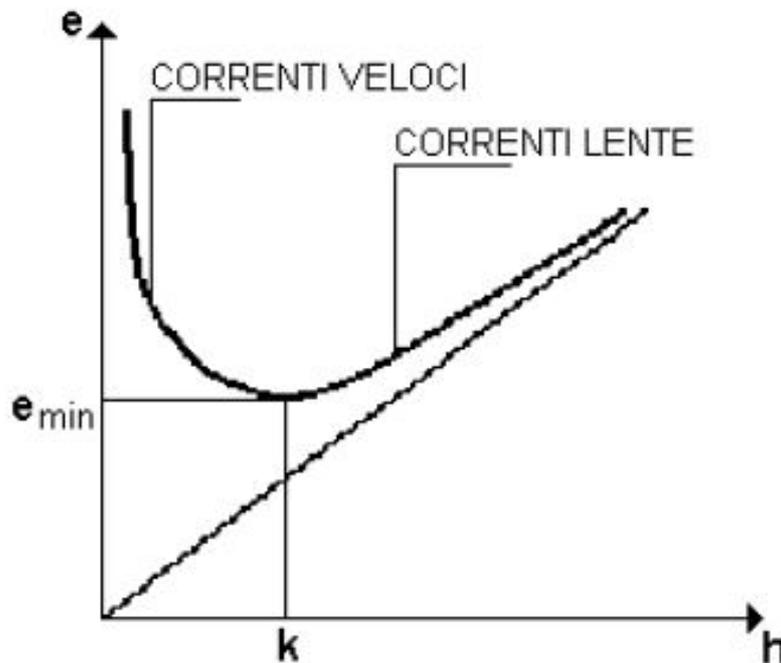


Grafico 7 - Suddivisione correnti veloci e correnti lente

Tornando ora alla briglia sinusoidale, come esposto in precedenza, a monte della briglia avremo condizioni di corrente lenta mentre in uscita dall'opera avremo condizioni di corrente veloce. Questo avviene perché durante la discesa dell'acqua dalla briglia si assiste ad un abbassamento del livello idrometrico, al punto tale da superare l'altezza critica della corrente. Si verifica quindi il passaggio da corrente lenta a veloce, passando per lo stato critico.

Questo passaggio è visibile in campo ed intuibile dalla seguente foto.



*Figura 27 - Briglia sinusoidale. Visibile l'abbassamento del livello idrometrico in corrispondenza dello stramazzo dall'opera, punto di transizione da corrente lenta a corrente veloce*

La foto scattata a Clivio, in condizioni di portata “normale” evidenziano il passaggio da corrente lenta a veloce. È intuibile che il livello idrometrico a monte dell’opera è più alto rispetto al livello idrometrico in transito sull’opera. Questo perché, grazie alla forma geometrica dell’opera, durante il transito si ha un aumento della velocità (e quindi dell’energia cinetica) con un conseguente abbassamento del livello idrometrico.

La progettazione e la realizzazione della briglia hanno considerato, oltre agli aspetti tecnici e funzionali dell’opera, anche tutti gli aspetti ambientali necessari ad integrare l’opera di sbarramento con il paesaggio e gli ecosistemi presenti. Infatti, nel corpo della briglia, sono presenti due aperture indispensabili per garantire una continuità biologica del torrente. Senza le aperture infatti la portata di stramazzo, nelle condizioni “normali”, sarebbe risultata minima e non sufficiente per permettere una continuità biologica dell’alveo. Le aperture, “abbassando” lo stramazzo, consentono di ottenere il transito dell’acqua con un’altezza idrometrica maggiore garantendo una continuità dell’ecosistema sviluppatosi in quel luogo.

L'opera progettata è comunque sufficientemente integrata con l'ambiente. La presenza del viadotto stradale costruito in calcestruzzo a poca distanza dalla briglia rappresenta un elemento ormai integrato con l'ambiente e, la briglia realizzata nello stesso materiale rappresenta una scelta costruttiva economica ed in sintonia con il luogo.



*Figura 28 - Opera ultimata. Da notare il guado rivestito in pietrame*

Al fine di proteggere il paramento di monte dell'opera è stata inserita una lastra in CORTEN, facendo in modo che eventuali urti con materiali trasportati dalla corrente non vadano a colpire direttamente il calcestruzzo, materiale più facilmente danneggiabile.

## Bibliografia

(s.d.). Tratto da Comune di Vergiate:

<http://www.vergiate.gov.it/servizi/Menu/dinamica.aspx?idSezione=616&idArea=17928&idCat=20390&ID=22117>

Bischetti, G. (2005). *Linee guida per la progettazione della viabilità agro-silvo-pastorale in Lombardia - criteri generali*. Milano.

Convenzione europea del Paesaggio. (2000, Ottobre 20). Firenze.

*Costituzione della Repubblica Italiana - Articolo 9*. (1948). Tratto da <http://www.gazzettaufficiale.it/dettaglio/codici/costituzione>

De Antonis, L., & Molinari, V. M. (2003). *Interventi di sistemazione del territorio con tecniche di Ingegneria Naturalistica*. Regione Piemonte.

Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42. (s.d.). *Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137*.

Del Favero, R. (2008). *I tipi forestali nella Regione Lombardia*. Regione Lombardia.

Delibera Giunta Regionale 18 giugno 2018 - n. XI/238. (s.d.). *Approvazione degli indirizzi per la programmazione e la progettazione degli interventi di manutenzione delle opere di difesa del suolo, dei corsi d'acqua, della gestione della vegetazione negli alvei dei fiumi e della manutenzione diffusa del territorio*.

Deliberazione di Giunta regionale 30 novembre 2011 – n. IX/2616. (s.d.). *“Aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12', approvati d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con dgr 28 maggio 2008, n. 8/7374”*. BURL n. 50 Serie ordinaria del 15 dicembre 2012.

Ferro, V. (2006). *La sistemazione dei bacini idrografici*. The McGraw-Hill Companies, S.r.l.

Gallati, M., & Sibilla, S. (2009). *Fondamenti di Idraulica*. Carrocci editore.

*Geoportale di Regione Lombardia*. (s.d.). Tratto da <http://www.geoportale.regione.lombardia.it>

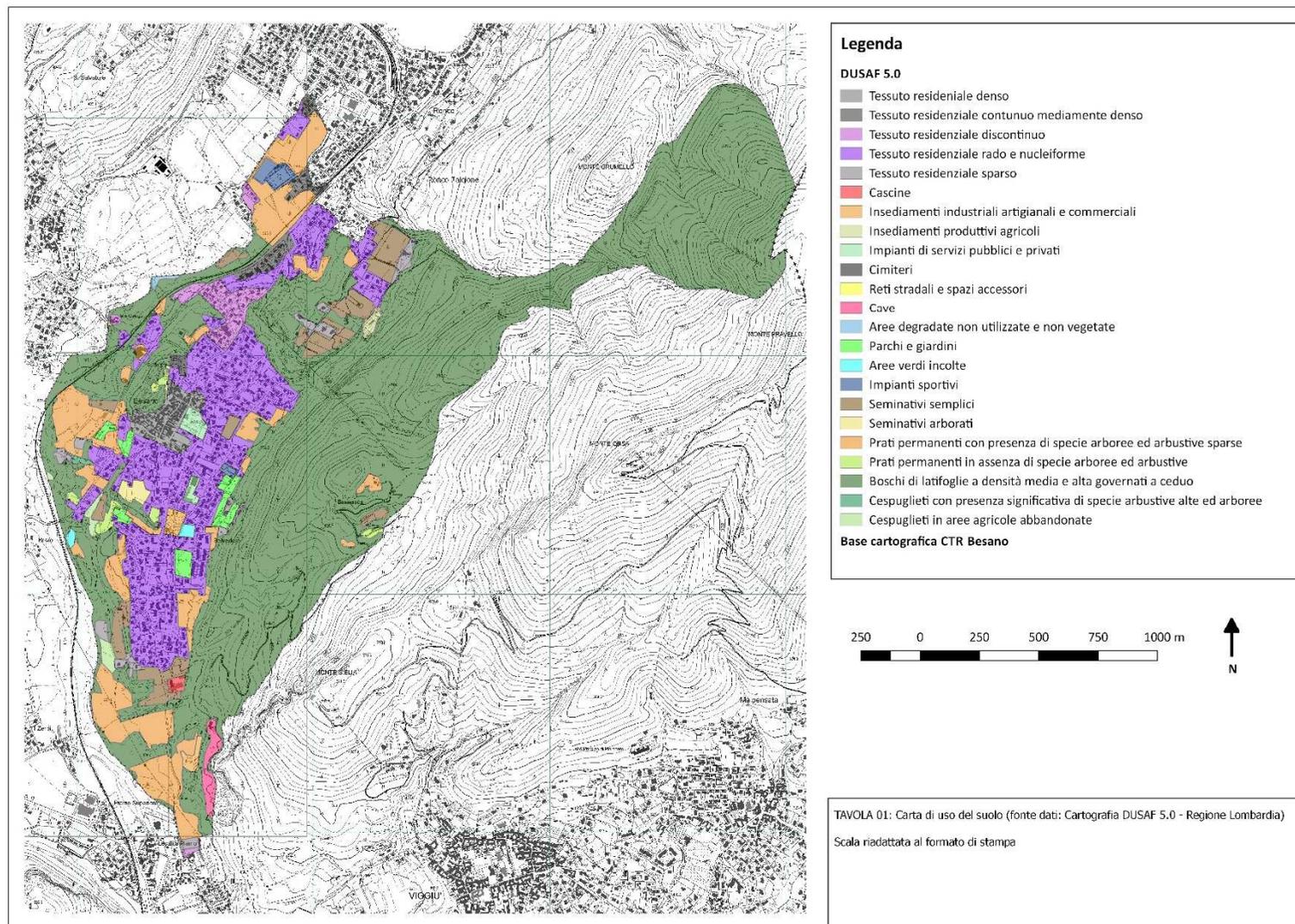
Legge Regionale 15 marzo 2016, n. 4. (s.d.). *revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d'acqua*.

*Portale Idrologico Geografico di ARPA Lombardia*. (s.d.). Tratto da <http://idro.arpalombardia.it/pmapper-4.0/map.phtml>

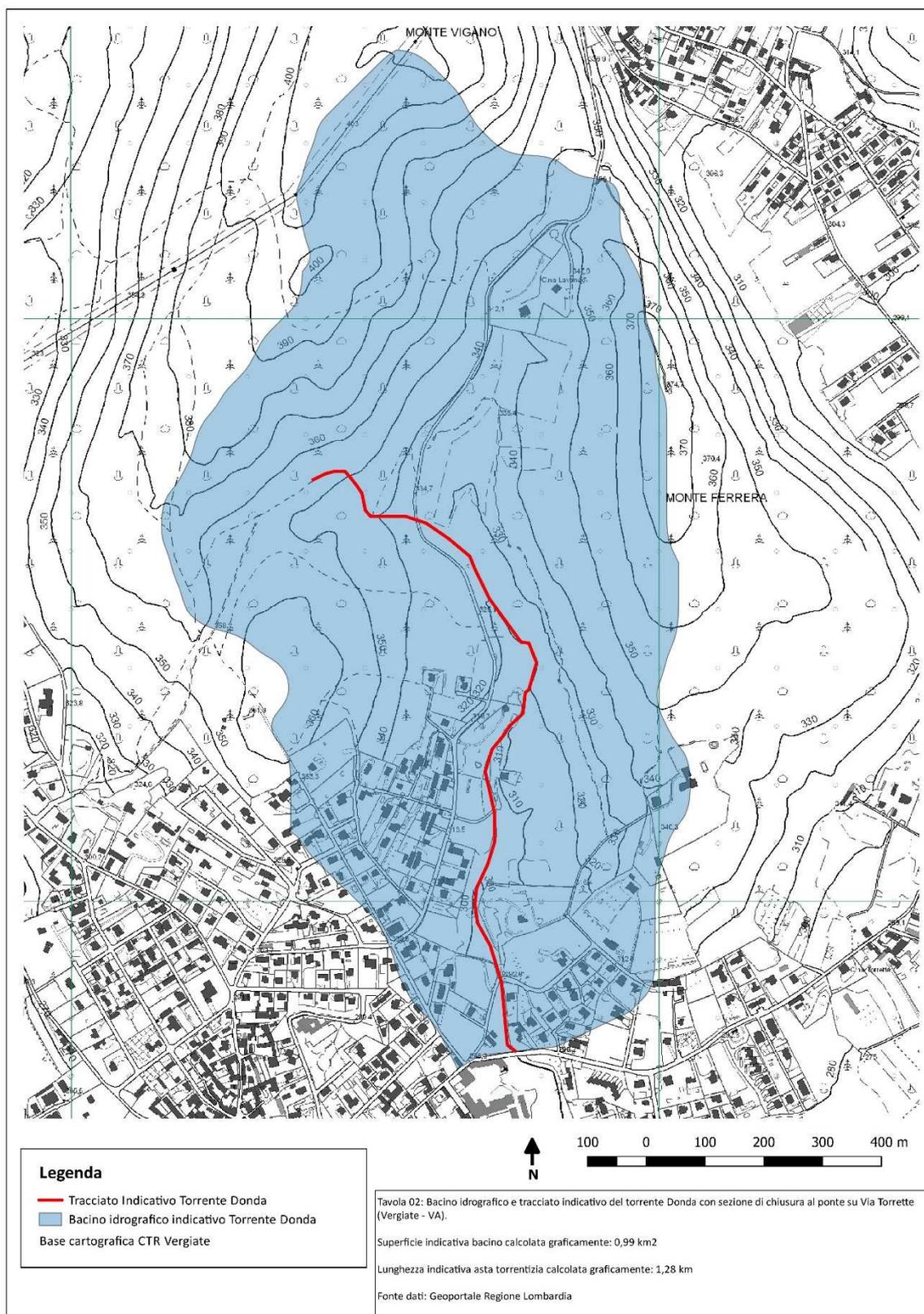
Tamborini, M., & Ribolzi, M. (2010). *Vergiate tra storia arte e cultura*. Comune di Vergiate.

Triglia, A., Iadanza, C., Bussetini, M., & Lastoria, B. (2018). *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio*. Rapporti 287/2018, ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

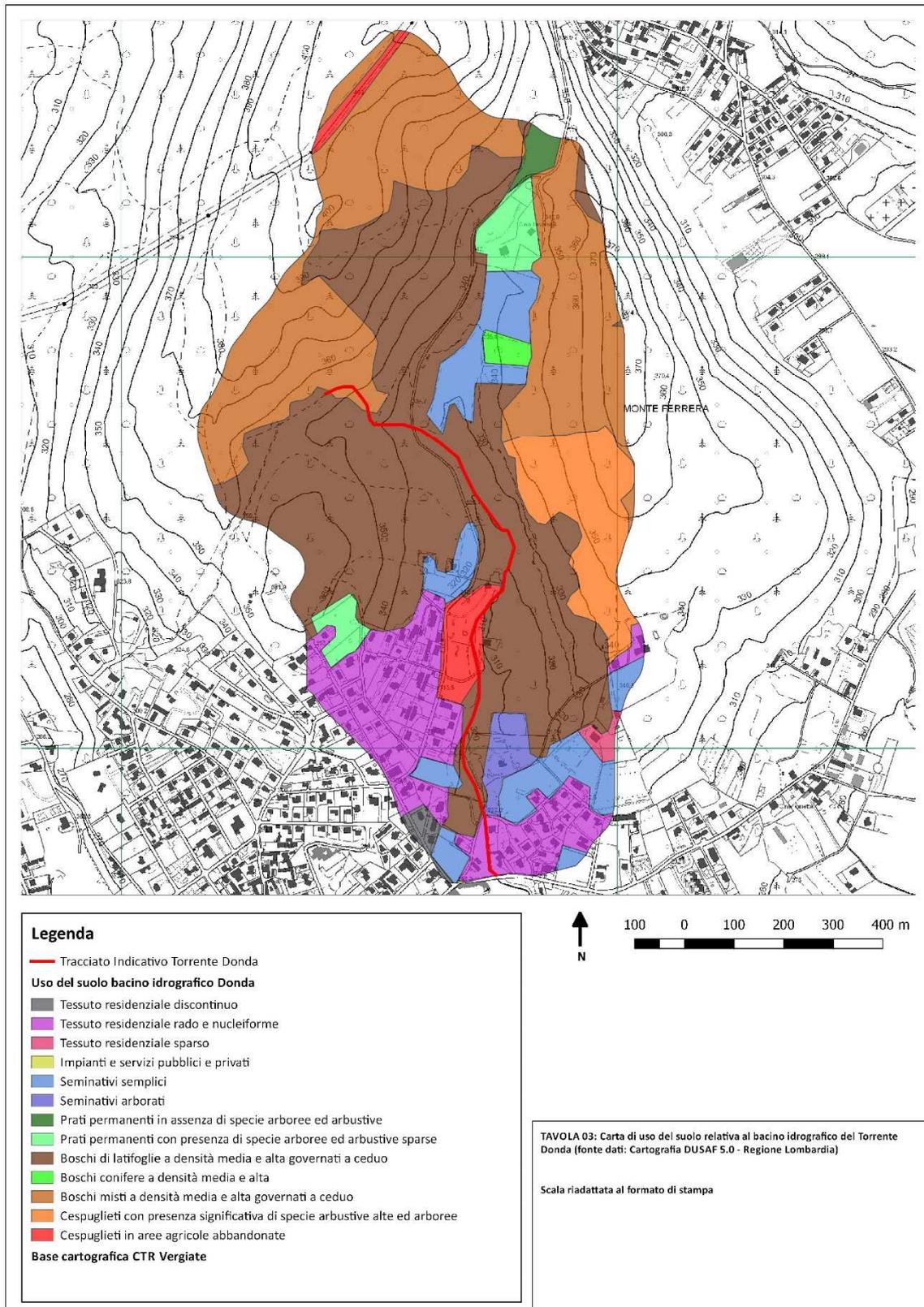
## Allegato 1 – Tavola uso del suolo Comune di Besano



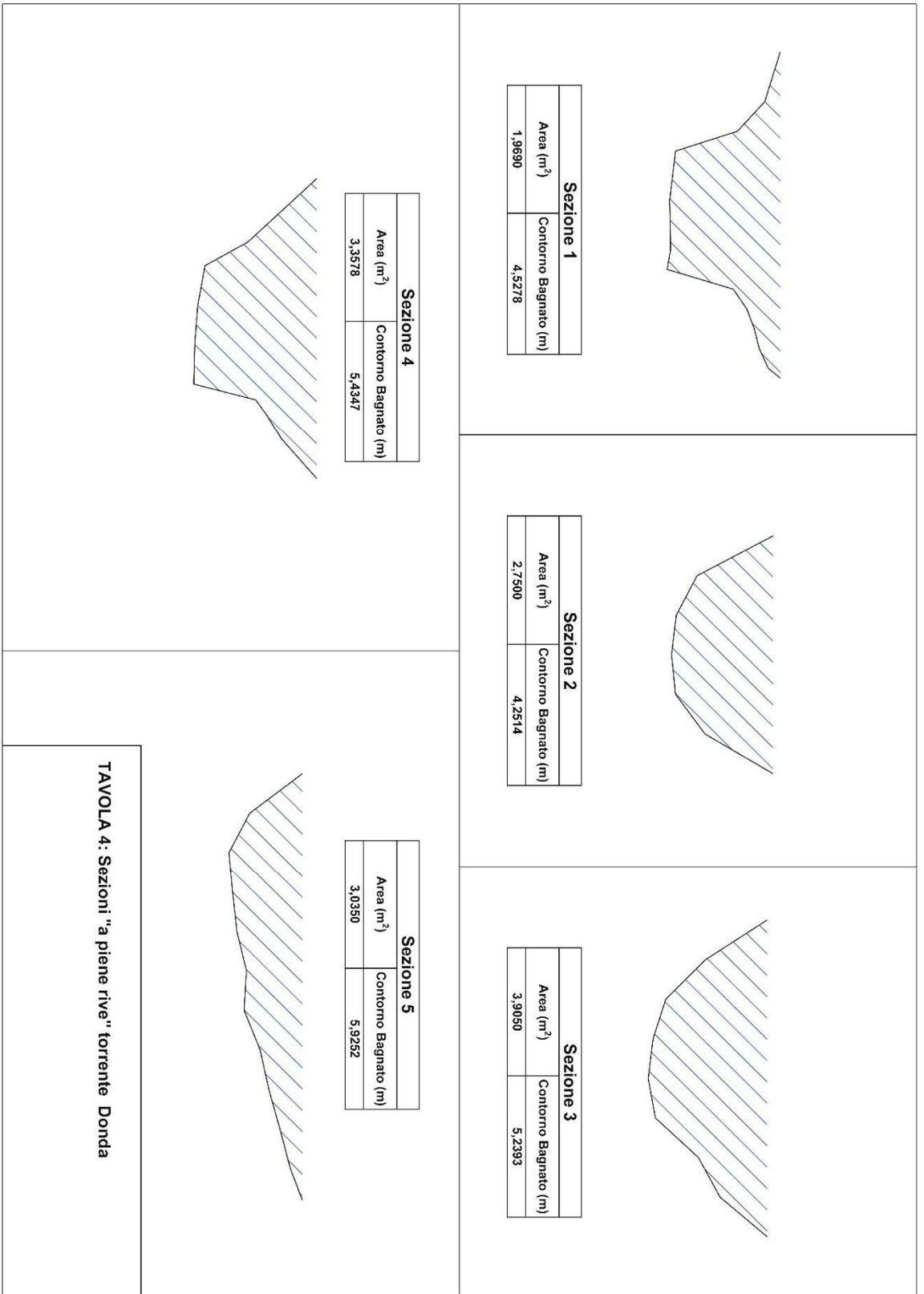
## Allegato 2 – Bacino idrografico torrente Donda



## Allegato 3 – Tavola uso del suolo relativa al bacino idrografico del torrente Donda



Allegato 4 – Rilievo delle sezioni torrente Donda



## Allegato 5 – Localizzazione briglia sinusoidale Clivio

