

REGIONE PIEMONTE  
PROVINCIA DEL VERBANO – CUSIO - OSSOLA  
**COMUNE DI BELGIRATE**

# **PIANO REGOLATORE GENERALE COMUNALE**

**VARIANTE STRUTTURALE 2000**

**PROGETTO DEFINITIVO**

a seguito controdeduzioni alle osservazioni  
formulate dalla Regione Piemonte

**RELAZIONE GEOLOGICA**

Elaborato:

**GEO 1**

Stesura:

**LUGLIO 2004**

Dott. Geol. Italo Isoli  
via alla Cartiera 52/a - Verbania Possaccio (VB)

## INDICE

<b>1. CARATTERISTICHE GENERALI DELLO STUDIO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. RACCOLTA ED ANALISI DI DATI ESISTENTI</b> .....	<b>2</b>
<b>3. CARATTERISTICHE GEOLOGICO-STRUTTURALE DEL TERRITORIO</b> .....	<b>2</b>
<b>4. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DEL TERRITORIO ESAMINATO</b> .....	<b>3</b>
<b>5. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEL TERRITORIO ESAMINATO</b> .....	<b>5</b>
5.1. SUBSTRATO ROCCIOSO .....	5
5.2. DEPOSITI SUPERFICIALI .....	5
5.2.1. <i>DEPOSITI DI ORIGINE GLACIALE E GLACIO-FLUVIO-LACUSTRE</i> .....	6
5.2.2. <i>DEPOSITI DI VERSANTE</i> .....	6
5.2.3. <i>DEPOSITI DI CONOIDE ALLUVIONALE TORRENTIZIA</i> .....	6
5.2.4. <i>DEPOSITI DI SPIAGGIA LACUSTRE</i> .....	7
5.2.5. <i>COLTRE ELUVIO-COLLUVIALE</i> .....	7
<b>6. GEOLOGIA TECNICA</b> .....	<b>7</b>
6.1. CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DELLE ROCCE .....	7
6.2. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI.....	9
<b>7. PROCESSI GEOMORFOLOGICI IN ATTO</b> .....	<b>10</b>
7.1. STABILITA' DEI VERSANTI IN ROCCIA E IN TERRENI SCIOLTI .....	10
7.2. DINAMICA GRAVITATIVA .....	12
7.3. DINAMICA LEGATA ALLE ACQUE DI SCORRIMENTO SUPERFICIALE .....	13
7.4. DINAMICA LEGATA ALLE ACQUE INCANALATE.....	14
7.5. DINAMICA LACUSTRE .....	15
7.6. INTERVENTI ANTROPICI.....	16
<b>8. IDROLOGIA</b> .....	<b>20</b>
8.1. CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEI CORSI D'ACQUA .....	20
8.2. ANALISI IDROLOGICA .....	21
8.2.1. <i>AFFLUSSI METEORICI</i> .....	21
8.2.2. <i>COEFFICIENTE DI RAGGUAGLIO</i> .....	21
8.2.3. <i>CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA</i> .....	21
8.3. TRASPORTO SOLIDO .....	23
8.3.1. <i>PREMESSA, METODOLOGIA E MODELLI INTERPRETATIVI</i> .....	23
8.3.2. <i>ANALISI STATISTICO PROBABILISTICA</i> .....	24
8.3.3. <i>ANALISI IDRODINAMICA</i> .....	24
8.3.4. <i>ANALISI GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICA SUL TRASPORTO DI MASSA</i> .....	26
8.4. LAGO MAGGIORE .....	28
8.5. CARATTERISTICHE GEOIDROLOGICHE GENERALI .....	29
<b>9. PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA, RISCHIO CONNESSO E IDONEITÀ ALL'UTILIZZAZIONE URBANISTICA</b> .....	<b>31</b>
9.1. DEFINIZIONE DEI LIVELLI DI RISCHIO .....	31
<b>10. PROGETTI DI RIASSETTO IDROGEOLOGICO PER LA DIFESA DELLA AREE CLASSIFICATE IN CLASSE IIIB</b> .....	<b>33</b>
<b>11. PROVVEDIMENTI CAUTELARI DI INIBIZIONE ALL'EDIFICABILITÀ</b> .....	<b>33</b>
11.1. PROGETTO DI PIANO STRALCIO PER IL RIASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.) .....	33
<b>12. NORMATIVA DI PIANO DAL PUNTO DI VISTA GEOLOGICO</b> .....	<b>34</b>

## 1. CARATTERISTICHE GENERALI DELLO STUDIO

Gli elaborati geologici allegati al P.R.G.C. costituiscono la raccolta delle indagini di natura geologica, geomorfologica, idrologica, idrogeologica e geotecnica eseguite dal Dott. Geol. Italo Isoli, nell'ambito della redazione del progetto del Piano Regolatore Comunale di Belgirate come disposto dalla L.R. n.56/77, dalla Circ. P.G.R. n.16/URE del 18/7/1989, dalla Circ. P.G.R. n.7/LAP dell'8 Maggio 1996 e relativa N.T.E del 1999, nonché dalle D.G.R. n. 31-3749 del 06/08/2001, n. 45-6656 del 15/07/2002 e n. 1-8753 del 18/03/2003. Gli elaborati prodotti inoltre tengono conto di quanto richiesto dal Servizio Prevenzione del Rischio Geologico nel parere datato 19-02-2002 Prot. n. 2634/20.04.

Le indagini eseguite sono state le seguenti:

- raccolta ed esame di tutti i dati di natura geologica disponibili sul territorio comunale;
- esecuzione di un rilievo geologico strutturale e geomorfologico a scala 1:2.000, su tutta l'area del territorio comunale.

L'Amministrazione comunale ha eseguito un rilievo aerofotogrammetrico a scala 1:2.000 dell'intero territorio comunale; ciò ha permesso un notevole incremento della precisione nel rilievo geologico e geomorfologico eseguito su tale base topografica; conseguentemente le carte di analisi, in particolare quella geologico-strutturale e quella geomorfologica e del dissesto, sono state prodotte su base aerofotogrammetrica.

Sulla base dei dati raccolti delle analisi eseguite è stato possibile stendere una serie di elaborati in coerenza con quanto prescritto dalla Circ. P.G.R. n.7/LAP dell'8 maggio 1996 e dalla Nota Tecnica Esplicativa del dicembre 1999:

GEO 1 Relazione geologica (in allegato Schede Sicod - Norme Tecniche d'attuazione).

GEO 1 bis Controdeduzioni al parere del Servizio Prevenzione del Rischio Geologico.

GEO 2 Carta geologico-strutturale - scala 1:2.000.

GEO 3 Carta geomorfologica e del dissesto – scala 1:2.000.

GEO 4 Carta idrologica - scala 1: 5.000.

GEO 5 Carta dell'acclività - scala 1: 10.000.

GEO 6 Carta delle opere idrauliche censite – scala 1:2.000.

GEO 7a-b Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica - scala 1:2.000. Legenda

GEO 8 Relazione geologico-tecnica relativa alle aree interessate da nuovi insediamenti o opere pubbliche di particolare importanza (ai sensi dell'art. 14 punto 2b, L.R. n.56/77) - Relazione metodologica

GEO 9 Relazione geologico-tecnica relativa alle aree interessate da nuovi insediamenti o opere pubbliche di particolare importanza (ai sensi dell'art. 14 punto 2b, L.R. n.56/77) – Schede geologico-tecniche

Benché prevista dalla Circ. P.G.R. n. 7/Lap dell'8 maggio 1996, si è ritenuto di non realizzare la "Carta delle caratteristiche litotecniche dei terreni". Circa tale carta, risulta molto poco agevole porre dei limiti di carattere litotecnico sui depositi superficiali aventi caratteristiche di quelli presenti sul territorio comunale di Belgirate sia per la loro natura eterogenea (depositi glaciali e glacio-fluvio-lacustre) ed eteropica (depositi di conoide alluvionale), sia per la scarsità di affioramenti o di spaccati che permettano una loro identificazione di maggior precisione. Di conseguenza si è ritenuto di inserire nella legenda della Carta geologico-strutturale, a scala 1:2.000 una caratterizzazione geotecnica e geomeccanica di massima dei terreni e delle rocce presenti.

La sintesi dei dati ottenuti ha permesso di fornire al progettista di piano da un lato una zonizzazione del territorio sulla base della quale definire le aree edificabili, dall'altro i criteri e le norme che definissero le modalità di edificazione; tali criteri sono inseriti nell'ambito della Terza fase così come previsto dalla Circ. P.G.R. n. 7 Lap, nell'allegato Norme Tecniche di Attuazione sotto forma di classi di idoneità all'utilizzazione urbanistica. Sulla base di quanto sopra è stato possibile individuare la fattibilità geologica del nuovo progetto di piano da adottarsi.

## **2. RACCOLTA ED ANALISI DI DATI ESISTENTI**

Sono stati esaminati e, ove necessario, utilizzati per la stesura dello studio, i seguenti documenti:

### **a) Documenti cartografici:**

- Carta d'Italia I.G.M., scala 1:25.000, Verbania Foglio 31 Quadrante IV NO; Stresa Foglio 31 Quadrante IV SO
- Banca Dati Geologica: carte tematiche scala 1:100.000 (Regione Piemonte Settore Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico).
- Progetto di Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico del F.Toce – Tavole della delimitazione delle fasce fluviali e Tavole della delimitazione delle aree in dissesto – Scala 1:25.000.

### **b) Studi e rilievi precedenti:**

- Dott. Geol. Italo Isoli: "Rilevamento geologico-strutturale e geomorfologico a corredo variante generale P.R.G.C." – 1991.

## **3. CARATTERISTICHE GEOLOGICO-STRUTTURALE DEL TERRITORIO**

Il substrato roccioso affiorante presenta molteplici strutture che riflettono l'evoluzione petrografico-strutturale degli Scisti dei Laghi e della Serie dei Laghi in generale, caratterizzata da una storia deformativa polifasica molto complessa.

Il rilievo eseguito non ha finalità di studio, rappresentazione e interpretazione delle strutture legate ai processi deformativi, tuttavia vengono rappresentate di seguito, solo a titolo illustrativo, una serie di osservazioni e descrizioni delle strutture riconosciute a scala mesoscopica, in grado comunque di influenzare le caratteristiche geomeccaniche del substrato roccioso.

Alla scala mesoscopica non sono state rilevate evidenze strutturali riferibili a deformazioni di età pre-ercinica.

La fase deformativa principale (di età Ercinica) definibile da minerali (biotite e muscovite in particolare) sviluppatasi in facies anfibolitica, è associata ad una foliazione pervasiva che definisce la scistosità regionale delle unità appartenenti alla Serie dei Laghi. Tale fase ha trasposto le superfici preesistenti (superfici di stratificazione sedimentaria, contatti tra livelli sedimentari e livelli quarzoso-feldspatici di origine magmatica, limiti tra filoni aplitici o pegmatitici e roccia incassante, ecc.) attribuendo ad esse la medesima giacitura della foliazione.

Una fase deformativa duttile pre-permiana, deforma la scistosità regionale realizzando pieghe mesoscopiche chiuse, talora asimmetriche, generalmente con geometria M, assi immergenti a SSE, piani assiali paralleli alla scistosità e senza sviluppo di superfici di piano assiale. Rare ma riconoscibili, cerniere di pieghe sradicate che sottolineano il carattere traspositivo di questa fase deformativa. In corrispondenza di porzioni rocciose caratterizzate dalla presenza di numerose alternanze di livelli micacei e di livelli quarzoso-feldspatici, con quest'ultimi aventi spessore maggiore, si osservano pieghe mesoscopiche con il tipico aspetto lobato-cuspidato.

Nel territorio esaminato non sono stati rilevati lineamenti tettonici (faglie, sovrascorrimenti) di particolare importanza regionale; evidenze di cataclasi e alto grado di fratturazione e di alterazione su spessori rocciosi comunque molto contenuti sono state rilevate nell'area compresa tra il Rio Lesurana e il Rio Magrino; porzioni rocciose cataclastiche, cioè ad elevato grado di fratturazione ma non associato alla presenza di lineamenti tettonici, sono invece diffuse in tutto il territorio comunale.

#### **4. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DEL TERRITORIO ESAMINATO**

Il territorio comunale di Belgirate si sviluppa sul versante occidentale del Lago Maggiore, per un'estensione di circa 1.9 km<sup>2</sup> con quota minima a 198 m s.l.m. e quota massima a 496 m s.l.m..

L'assetto geomorfologico dell'area studiata è il risultato dell'azione di agenti morfogenetici operanti in fasi successive.

Benché le forme e i depositi legati all'azione glaciale siano da considerarsi prevalenti, sono tuttora riconoscibili caratteri preglaciali sviluppatasi con ogni probabilità in epoca prequaternaria (Messiniano) in corrispondenza di periodi di essiccazione del Mediterraneo che provocò notevoli abbassamenti del livello marino e di conseguenza del livello di base del profilo d'equilibrio. Le incisioni in cui corrono i rii in esame, che nel caso del Rio Valdera e del rio senza nome in sinistra del Rio Paronnelle e del Rio Lesurana diventano forre molto profonde, hanno avuto presumibilmente origine durante il suddetto periodo.

L'area in esame comunque mostra prevalentemente caratteri morfologici tipici di un versante appartenente ad una valle interessata dall'attività dei ghiacciai; la complessa morfologia che ne è derivata è resa tale dalle infinite variazioni di volume, di posizione ed in ultima analisi dall'attività erosivo-deposizionale della massa glaciale.

Gli effetti dell'azione erosiva glaciale sono chiaramente rilevabili nel profilo longitudinale del versante che si mostra articolato da una serie di gradini e di rotture di pendenza (molto evidenti soprattutto lungo l'alveo del Rio Paronnelle e del Rio Lesurana) e nella presenza di rocce montonate con evidenti striature (nei pressi della Baita della Libertà e della chiesa di san Paolo). In particolare i versanti sono caratterizzati da acclività media inferiore ai 30° con tratti a maggior ripidezza (35-38°) localizzati tra il campo sportivo e il villaggio Bezzi; si osservano inoltre aree a bassa pendenza sino a subpianeggianti presenti in particolare nella zona compresa tra il Rio Magrino e il Rio Paronnelle circa a quota 350 m s.l.m. o zone pianeggianti (appartenente al comune di Lesa) presenti a monte della chiesa di S. Paolo. Una zona terrazzata di probabile origine glaciale è presente esattamente in corrispondenza del nucleo storico di Belgirate, separata da una scarpata alla base della quale vi è una zona subpianeggiante interessata dalle acque lacustri nei periodi in cui il livello del Lago Maggiore era superiore all'attuale.

Tuttavia ancora più imponenti sono i risultati dell'attività deposizionale legata all'azione glaciale, visibili nella presenza di erratici decametrici, rilevati al confine occidentale con il comune di Lesa e soprattutto nella estrema diffusione di depositi di origine glaciale o glacio-fluvio-lacustri.

La porzione settentrionale del territorio di Belgirate compresa tra il Rio San Paolo e la località Machere, al confine con il comune di Stresa, presenta caratteristiche morfologiche differenti rispetto a quanto rilevato nel resto del comune; sono infatti rilevabili una trincea a direzione N-S entro la quale corre il Rio San Paolo avente lunghezza di circa 400 m e una debole contropendenza a quota di 397 m s.l.m. spostata ad oriente rispetto alla trincea. È ipotizzabile che tali forme, ampiamente ricoperte da depositi di origine glaciale o fluvioglaciale, abbiano avuto origine da dinamica di versante a larga scala (probabilmente da una deformazione gravitativa profonda di versante) di età precedente alla messa in posto dei depositi glaciali e fluvioglaciali ora osservabili in corrispondenza delle forme in esame e in condizioni morfologiche differenti rispetto a quelle osservabili attualmente. Si può inoltre osservare come l'azione delle masse glaciali ha modellato soprattutto la contropendenza, che al momento presenta una cresta poco evidente e molto arrotondata tanto da far ritenere che sulla precedente morfologia si sia impostata in epoca glaciale una cresta morenica e che la fossa retrostante sia stata riempita sempre da sedimenti di origine glaciale o glacio-fluvio-lacustre.

Conseguentemente si può ritenere che il dissesto gravitativo che ha originato la trincee e la contropendenza presenti nel territorio esaminato, abbia età precedente le glaciazioni pleistoceniche e sia attualmente stabilizzato. Nella Carta geomorfologica e del dissesto è stata individuata l'area di inviluppo di tali morfologie, classificata ai sensi della "Legenda regionale" di cui alla D.G.R. n. 45-6656 del 15/07/2002.

Circa l'anomalia del reticolo idrografico presente nel Rio San Paolo sottoforma di alveo divergente verso valle, si osserva come lo sdoppiamento avvenga nel tratto a direzione est – ovest in corrispondenza di una porzione impostata su substrato roccioso posta a quota 372 m s.l.m. e caratterizzata da bassa acclività; da quanto osservabile deviazione del corso d'acqua è connessa semplicemente alla dinamica morfologica di carattere torrentizia legata all'attività del rio stesso, e non a fenomeni di cattura, o a movimenti del versante su cui si localizza il corso d'acqua.

L'attività torrentizia dei corsi d'acqua presenti nel territorio comunale di Belgirate, ha causato in alcuni casi la formazione di piccole conoidi alluvionali in corrispondenza dello sbocco a lago; in particolare è stato possibile riconoscere tali forme in corrispondenza del Rio Magrino e del Rio Paronelle. I restanti corsi d'acqua non sono stati in grado di edificare apparati conoidali veri e propri ma solo modestissime aree subpianeggianti costituite dai sedimenti portati in carico dai rii; tali aree non sono state riportate in cartografia poiché di difficile ed incerta perimetrazione sia per le modificazioni di natura antropica sia per l'azione del moto ondoso lacustre.

## **5. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEL TERRITORIO ESAMINATO**

### **5.1. SUBSTRATO ROCCIOSO**

La zona in esame appartiene all'unità nota come "Serie dei Laghi", la quale è suddivisa a sua volta in due subunità, gli "Scisti dei Laghi" e la "Zona Strona-Ceneri", separate dalla Zona Marginale della Strona Ceneri costituita da anfiboliti e paragneiss anfibolici; tutta l'unità è poi attraversata da corpi di ortogneiss di forma, estensione e composizione variabile. Nell'area esaminata sono presenti solo gli "Scisti dei Laghi".

Il substrato roccioso affiora in quantità molto ridotte nel territorio comunale di Belgirate (meno di un quarto della superficie totale) ed è presente essenzialmente solo negli alvei lungo le fasce spondali dei corsi d'acqua e in corrispondenza degli scassi stradali.

In genere gli Scisti dei Laghi sono dati da alternanze di paragneiss e micascisti, con sporadiche intercalazioni di filoni aplitici (talvolta anche metrici) e localmente pegmatitici. Raramente sono presenti livelli anfibolitici spessi anche alcune decine di centimetri; all'affioramento gli Scisti mostrano alterazione di colore rossastro e si presentano come alternanze tra bancate più competenti a composizione paragneissica (plagioclasio, quarzo, biotite, muscovite,  $\pm$  staurolite e cianite) e livelli di micascisti con maggiori percentuali di muscovite e biotite (nonché di granato) e di conseguenza più fittamente foliati; la grana può variare da minuta a media.

Sono state rilevate vaste porzioni (in particolare lungo il Rio Paronelle e il rio senza nome alla sua sinistra, nonché nella zona detta dei Falchetti) in cui si riconoscono alternanze fra numerosissimi livelli di spessore da millimetrico a centimetrico a composizione quarzoso-feldspatica, granitico-granodioritica o quarzosa, e livelli di spessore generalmente inferiore molto ricchi in biotite, muscovite e granato; lenti di ortogneiss a composizione da granodioritica a tonalitica e spessore decimetrico, sono state rilevate nei pressi del Rio Paronelle.

Le rocce presenti sono, come detto nel capitolo precedente, interessate da numerose pieghe mesoscopiche non scistogene che piegano la foliazione precedente.

### **5.2. DEPOSITI SUPERFICIALI**

Il substrato roccioso è generalmente ricoperto da depositi superficiali di vario spessore originati dall'azione dei seguenti agenti morfogenetici:

- ghiacciai;
- gravità;
- acque incanalate e ruscellanti;

- laghi
- agenti atmosferici;
- azione antropica.

### **5.2.1. DEPOSITI DI ORIGINE GLACIALE E GLACIO-FLUVIO-LACUSTRE**

Il rilevamento svolto sulle forme d'accumulo d'origine glaciali non ha preso in considerazione l'individuazione di eventuali superfici di discontinuità stratigrafiche e quindi il riconoscimento dei rapporti stratigrafici tra i vari lembi separati dalle suddette discontinuità. Ci si è quindi limitati alla descrizione delle caratteristiche sedimentologiche dei depositi riconosciuti.

I depositi di origine glaciale sono largamente i più diffusi sul territorio, poiché occupano più di tre quarti della superficie esaminata; essi presentano spessori molto variabili, da un minimo di 3 m ad un massimo di oltre 10 m, deducibili sia da osservazioni sul terreno, sia da risultati di indagini geognostiche precedenti.

I depositi sono costituiti da diamicton addensati o scarsamente addensati a matrice sabbiosa o sabbioso-limosa alterata, con abbondanti clasti di varia natura a scarso arrotondamento di dimensioni da centimetriche a decimetriche (probabili till indifferenziati) e da diamicton a matrice sabbioso-ghiaiosa, poco addensati con frequenti ciottoli decimetrici e blocchi metrici subangolosi (probabili till di ablazione).

Depositati di origine glacio-fluvio-lacustre costituiti da sabbie limose stratificate con intercalazioni di origine torbosa talora molto estese, sono localizzati in corrispondenza delle zone subpianeggianti e con ogni probabilità sono il risultato del riempimento di conche preesistenti e ulteriormente rimodellate dall'azione glaciale.

### **5.2.2. DEPOSITI DI VERSANTE**

Si tratta di depositi superficiali costituiti da elementi eterometrici di varia natura, angolosi o subangolosi, immersi in scarsa matrice sabbiosa, con pezzatura e forma variabili a seconda dello stato di fratturazione del substrato da cui provengono; sono stati generati dall'azione della gravità (favorita soprattutto dai cicli crioclastici) e dagli agenti atmosferici.

Tali depositi appaiono localizzati alla base di pareti rocciose, soprattutto dove le caratteristiche geomeccaniche della roccia appaiono mediamente scadenti, per presenza di elevato grado di fratturazione e alterazione. Nel territorio esaminato sono stati rilevati in prossimità della località ai Carcioni.

### **5.2.3. DEPOSITI DI CONOIDE ALLUVIONALE TORRENTIZIA**

Essi sono presenti lungo gli alvei dei colatori e nel tratto subpianeggiante corrispondente allo sbocco a lago.

Per quanto riguarda i depositi in alveo, si tratta di accumuli di materiale di natura diversa a disposizione generalmente caotica, con selezione praticamente nulla, matrice generalmente assente, spessore limitato, estensione variabile e forma assimilabile a quella di un cordone longitudinale.



Attualmente tali depositi sono sottoposti ad erosione continua da parte delle acque dei torrenti che tendono ad asportare la frazione più fine. Il tratto che precede la zona di foce, viste le limitate dimensioni, non è definibile come un vero e proprio edificio conoidale; esso è costituito da depositi a granulometria varia, ghiaioso-ciottoloso con matrice sabbiosa passante a sabbioso-ghiaioso sino al passaggio coi sedimenti lacustri di tipo sabbioso-limoso.

#### **5.2.4. DEPOSITI DI SPIAGGIA LACUSTRE**

Si tratta di depositi di spiaggia di natura prevalentemente sabbiosa con clasti da centimetrici a decimetrici. Tali materiali sono prodotti dall'azione rielaboratrice del lago che si esplicita sostanzialmente attraverso il moto ondoso e le correnti lungo costa. Sono stati riconosciuti anche depositi antichi, sedimentati in corrispondenza di passati livelli lacustri più elevati dell'attuale.

#### **5.2.5. COLTRE ELUVIO-COLLUVIALE**

Coltri eluvio-colluviali rappresentano i prodotti dell'alterazione in situ del substrato roccioso e dei depositi superficiali. Composizione e potenza variano alquanto in funzione della natura delle aree sorgenti: in generale sono dati da frammenti detritici di dimensioni e frequenza molto variabili, profondamente alterati, immersi in matrice di sedimenti molto fini con elevato contenuto organico.

Vista l'esiguità e l'irregolarità dello spessore di tali depositi in relazione agli obiettivi dell'analisi svolta, la coltre eluvio-colluviale non è stata cartografata come copertura.

### **6. GEOLOGIA TECNICA**

#### **6.1. CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DELLE ROCCE**

Le proprietà geomeccaniche del substrato roccioso sono strettamente dipendenti dalla composizione mineralogica, dagli elementi strutturali e microstrutturali, dallo stato di alterazione ma soprattutto dalla presenza e dalle caratteristiche delle superfici di discontinuità (piani di scistosità, stratificazioni, fratture, ecc.).

Per quanto riguarda il materiale roccia, le caratteristiche geomeccaniche sono in generale discrete, con peggioramenti solo in corrispondenza delle bancate di micascisti, di livelli di paragneiss particolarmente ricchi in miche e di conseguenza molto foliati e soprattutto di litotipi interessati da elevato grado di fratturazione e di alterazione. Il materiale roccia assume invece migliori proprietà geomeccaniche nelle porzioni in cui sono presenti numerosi livelli millimetrici e centimetrici a composizione quarzoso-feldspatica.

Zone fratturate sono state rilevate lungo le fasce spondali del rio senza nome in sinistra del Rio Paronelle e del Rio San Paolo; per una valutazione di stabilità sono comunque basilari le direzioni dei piani di scistosità e fratturazione rispetto ai pendii naturali o agli intagli artificiali presenti o da realizzarsi.

La direzione dei piani di scistosità è generalmente tra i N150° e i N170° (quindi da NNW-SSE); l'inclinazione è verso generalmente W-SW, ma sono frequenti bancate inclinate ENE, con valori variabili fra i 20° e i 30°.

Per quanto riguarda i set di fratturazione, si può riconoscere a scala regionale almeno due sistemi.

In sintesi si può affermare che le caratteristiche geomeccaniche sono in generale discrete per i paragneiss e da discrete a scadenti o addirittura molto scadenti per quanto riguarda i micascisti, soprattutto in corrispondenza di livelli molto scistososi o di porzioni ad elevato grado di fratturazione e di alterazione.

Al fine di fornire una prima caratterizzazione geomeccanica del substrato roccioso e non potendo disporre in modo diffuso di prove tecniche sulle rocce interessate, si è ritenuto di utilizzare la metodologia proposta dalla I.R.S.M. (International Society for Rock Mechanics) denominata B.G.D. (Basic Geotechnical Description of Rock Masses, 1980). Tale metodologia presenta due requisiti fondamentali:

- è basata su dati quantitativi che è possibile rilevare in affioramento o eccezionalmente da prove tecniche effettuate;
- fornisce una indicazione di massima sul comportamento meccanico di un ammasso roccioso.

Nell'utilizzare la B.G.D. sono state prese in esame le litologie fondamentali presenti nel territorio:

- Paragneiss
- Micascisti

Per quanto concerne i parametri previsti dalla B.G.D. è stato possibile eseguire le seguenti osservazioni, che vanno intese come ranges di variazioni di larga massima.

**CLASSIFICAZIONE DELLE ROCCE DEL SUBSTRATO  
B.G.D. (Basic Geotechnical Description of Rock Masses) MODIFICATA**

Litotipo	MICASCISTI	PARAGNEISS
Condizioni di alterazione "W"	W1-W2 localmente W3	W1 localmente W2
Spessore degli strati "L"	L3 - L4	L2 - L3
Intercetta delle fratture "F"	F3 localmente F4	F2 localmente F3
Resistenza compressione monoassiale "S"	Sani 600-900 kg/cm <sup>2</sup> Alterati 100-300 kg/cm <sup>2</sup>	Sani 800-1.500 kg/cm <sup>2</sup> Alterati 500-700 kg/cm <sup>2</sup>
Angolo di attrito delle fratture "A"	Sani 35°-45° Alterati 30°-35°	Sani 40°-50° Alterati 35°-45°

## 6.2. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Per quanto riguarda i terreni è possibile ottenere una loro prima caratterizzazione geotecnica sulla base dei seguenti parametri.

### A) Granulometria

Rappresenta la distribuzione percentuale secondo le dimensioni dei grani costituenti il terreno; solitamente serve per classificare il tipo di terreno.

### B) Peso di volume ( $\gamma$ )

Rappresenta il rapporto fra il peso del terreno e il suo volume. Se non si ottiene in laboratorio può essere valutato sulla base di tabelle in letteratura. In prima approssimazione si intende il peso di volume allo stato naturale medio, ossia con circa il 10%-20% del volume d'acqua possibile nei pori.

### C) Angolo di attrito interno ( $\varphi$ )

Rappresenta l'angolo secondo cui si rompe un campione di terreno sottoposto a una pressione assiale (rapporto fra sforzo e deformazione). Se non si eseguono prove di resistenza al taglio su campioni in laboratorio, la sua valutazione può essere eseguita sulla base di correlazioni presenti in letteratura (Terzaghi-Peck, Meyerhof, Peck-Hanson-Thornburn) sulla base del numero di colpi degli S.P.T. eseguiti in foro di sondaggio.

### D) Coesione totale (C)

Anch'essa viene ricavata in laboratorio sulla base di prove di taglio; tuttavia è possibile valutarla anche sulla base delle correlazioni di Schmertmann, che utilizzano anch'esse i risultati degli S.P.T.

I parametri sopra indicati possono essere valutati approssimativamente anche sul terreno attraverso osservazioni empiriche o semplici prove.

Premesso tutto questo è stato possibile eseguire una caratterizzazione geotecnica dei terreni riconosciuti durante il rilievo geologico ai fini della progettazione delle opere.

Una stima dei parametri prima esposti è rappresentata nella seguente tabella:

Depositi	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	$\varphi$ (°)	C (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Depositi alluvionali torrentizi e di conoide alluvionale</b>	1.7 - 2.1	30-35° (sabbie e ghiaie) 35-40° (depositi caotici in alveo montano)	0.0
<b>Depositi di origine glaciale</b>	1.9 - 2.1	35-40°	0.1 - 0.5
<b>Lenti sabbiose in depositi glaciali</b>	1.7 - 1.9	30-35°	0.0
<b>Lenti limose in depositi glaciali</b>	1.6 - 1.8	25-30°	0.1 - 1.0
<b>Depositi detritici di falda frana</b>	1.8 - 2.0	35-45°	0.0

Circa la coltre eluvio-colluviale, essa rappresenta la parte più superficiale dei terreni, in cui l'azione della vegetazione e degli agenti atmosferici ha prodotto fenomeni di trasformazione tali da escludere la possibilità di una univoca caratterizzazione geotecnica, che comunque appare da scadente a mediocre. Si tratta in genere di limi sabbiosi con ciottoli ed elevata componente organica; tali terreni non sono mai utilizzabili come terreni di fondazione.

## **7. PROCESSI GEOMORFOLOGICI IN ATTO**

### **7.1. STABILITA' DEI VERSANTI IN ROCCIA E IN TERRENI SCIOLTI**

#### **A) Versanti rocciosi**

La stabilità naturale dei versanti rocciosi appare in stretta dipendenza da un lato con le caratteristiche meccaniche del materiale roccia e dell'ammasso roccioso, dall'altro con le caratteristiche geometriche delle superfici di discontinuità rispetto allo sviluppo del versante stesso e infine con l'azione intensa o concentrata di agenti morfogenetici, in particolar modo delle acque dei torrenti al piede dei versanti e delle acque ruscellanti a monte. Nel territorio comunale di Belgirate i dissesti gravitativi in roccia sono presenti lungo le fasce spondali dei rii e hanno luogo generalmente in concomitanza con eventi eccezionali di precipitazioni; di conseguenza il ruolo giocato dalla intensissima azione erosiva dei torrenti in piena e soprattutto dall'infiltrazione a monte delle acque ruscellanti diventa fondamentale. È importante quindi un'analisi delle caratteristiche meccaniche di rocce e terreni in rapporto alla loro capacità di resistenza all'erosione delle acque e alla loro permeabilità.

Dal punto di vista delle caratteristiche meccaniche dell'ammasso roccioso si può affermare che risultano essere fondamentali nella valutazione della stabilità, i set di fratture e le loro caratteristiche; nel caso di ammassi con valori di intercetta bassi, fratture ad apertura millimetrica e persistenza areale vicina al 100% anche in presenza di materiale roccia con buone caratteristiche, la stabilità generale del versante diminuisce a causa della aumentata possibilità di suddivisione in lastre e dell'aumento della permeabilità secondaria legata all'infiltrazione dell'acqua nelle fratture. Tale situazione è peraltro verificabile per esempio nelle porzioni di Scisti dei Laghi fittamente intercalate con livelli quarzoso-feldspatici aventi migliori qualità come materiale roccia, ma rese instabili dall'elevato grado di fratturazione.

Dal punto di vista delle caratteristiche geometriche delle discontinuità rispetto allo sviluppo del pendio si può affermare che le situazioni naturali presentano generalmente almeno tre set di discontinuità fatto che impone un'analisi di stabilità complessa ed articolata che tenga conto dell'interazione tra le diverse superfici in rapporto all'acclività del pendio stesso.

#### **B) Versanti con terreni di copertura**

Nel caso di versanti costituiti da materiali sciolti, appaiono rilevanti da un lato le caratteristiche geotecniche dei terreni e conseguentemente la loro resistenza all'erosione, e dall'altro l'eventuale presenza di acqua di infiltrazione oltre che e l'azione disgregatrice degli agenti atmosferici.

Importante ai fini della stabilità, benché subordinata ai fattori geologici, è l'acclività del pendio formato da materiali sciolti. Generalmente per pendenze fino a 25° la stabilità appare per tutti i materiali da discreta a buona. Ma già per acclività maggiori di 25°/30° la stabilità diminuisce nel caso per esempio di coltri eluvio-colluviali o di livelli morenici più limosi.

Al di sopra dei 35°-40° l'acclività raggiunge valori simili a quelli dell'angolo di attrito degli altri tipi di copertura e la loro stabilità dipende sostanzialmente dalla presenza di fattori

coesivi o pseudocoesivi che nel caso di coperture moreniche può raggiungere anche valori elevati ma che può variare in funzione della saturazione.

Per ciascuna delle categorie di terreno in relazione alla situazione geomorfologica presente nel territorio esaminato, è possibile fare le seguenti considerazioni.

### **Coltre eluvio-colluviale**

Come già detto in precedenza la coltre eluvio-colluviale presenta mediocri o scadenti caratteristiche geotecniche; la sua stabilità è in genere aumentata dalla presenza dell'impianto vegetazionale (d'alto fusto, arbustivo o anche solo erbaceo). Problemi di stabilità possono derivare da una imbibizione della coltre nella zona al contatto con il substrato roccioso impermeabile sottostante in occasione di periodi piovosi prolungati o intensi lungo pendii ad elevata acclività (maggiori di 35°).

### **Depositi di origine glaciale e fluvio-glaciale**

I depositi di origine glaciale e fluvio-glaciale sono costituiti da livelli di spessore molto vario caratterizzati da granulometria e di conseguenza da caratteristiche geotecniche molto differenti. Generalmente tali depositi sono costituiti da ghiaie sabbiose con trovanti: in questo caso la stabilità viene data dall'angolo di attrito; nel caso di livelli sabbioso-limosi, diventa importante anche il contributo legato alla coesione.

Di fatto i problemi maggiori per la stabilità di queste coperture sorgono quando, a seguito di precipitazioni notevoli, i materiali si saturano di acqua. In questo caso, sia a causa della presenza di disomogeneità dei parametri geotecnici (livelli sabbiosi sciolti, livelli limoso-argillosi impermeabili, ecc.), sia nell'ipotesi di depositi di scarso spessore che si appoggiano su substrato molto inclinato, si possono verificare colate o erosioni accelerate alla base dei depositi.

### **Depositi alluvionali torrentizi**

I depositi alluvionali presenti nel territorio comunale di Belgirate, si distribuiscono essenzialmente nel tratto subpianeggiante (visto le modestissime dimensioni non si possono definire vere e proprie conoidi) che precede lo sbocco a lago; non si osservano depositi alluvionali torrentizi con forme acclivi se non per erosione torrentizia; in tal caso la stabilità è fornita esclusivamente dall'angolo di attrito dei materiali e dalla loro granulometria, in quanto privi assolutamente di coesione.

## 7.2. DINAMICA GRAVITATIVA

Sotto questa denominazione sono stati descritti tutti quei processi dissestivi che hanno l'azione della gravità come agente determinante.

Per il territorio in esame si distinguono forme che interessano depositi superficiali e substrato roccioso.

### A) Depositi superficiali

#### 1) Frane per saturazione delle coltri superficiali

Si tratta di dissesti che interessano per lo più la coltre eluvio-colluviale o depositi glaciali di scarso spessore e sono generati o da una acclività del pendio maggiore dell'angolo di riposo del terreno (per lo più provocata da erosioni al piede ad opera di corsi d'acqua o da intagli prodotti dall'uomo per motivi viari o costruttivi) oppure da un mancato e/o errato drenaggio (naturale o artificiale) che porta ad un accumulo locale di pressioni interstiziali dell'acqua di filtrazione. In questo caso il movimento avviene per scivolamento planare della coltre con caratteristiche di vera e propria colata, in genere rapida.

Nel territorio comunale di Belgirate sono stati segnalati fenomeni di questa natura soprattutto lungo le fasce spondali del Rio Paronelle e del Rio Magrino; durante l'evento alluvionale del maggio 2002, si sono verificati dissesti di questa natura all'altezza della strada per Calogna e soprattutto a valle della strada che conduce al campo sportivo, dove il dissesto ha coinvolto anche i riporti costituenti la strada stessa.

#### 2) Scorrimenti rotazionali in depositi glaciali e fluvioglaciali

Nel territorio comunale di Belgirate vi è un esempio di questa tipologia di dissesto che in generale non risulta molto frequente in situazioni geologico-geomorfologiche simili a quelle presenti sulla sponda occidentale del Lago Maggiore.

Il dissesto, localizzabile nei pressi della sponda sinistra del Rio San Paolo circa a quota 360 m s.l.m., si è verificato in corrispondenza di uno scavo profondo poco più di cinque metri effettuato per la realizzazione di un complesso residenziale che interessava depositi di origine glaciale costituiti da sabbie limose con rari ciottoli.

Le cause dello scorrimento rotazionale (evoluto poi in colata), la cui superficie è stata individuata a circa dieci metri di profondità dall'originario piano campagna, va ricercata nell'insufficiente drenaggio delle abbondanti acque sotterranee, le quali una volta aperto lo scavo hanno provocato sovrappressioni tali da causare la rottura del terreno stesso.

#### 3) Fessure di trazione

Sono state rilevate a tergo del muro di sostegno del campo sportivo, che in occasione dell'evento del maggio 2002 ha mostrato evidenti fratture e segni di cedimento, tanto da essere stato in parte abbattuto. Altre fessure trattive sono state osservate in sponda sinistra del Rio San Paolo all'altezza del piano su cui sorge la chiesetta di San Paolo.

## B) Substrato roccioso

### 1) Frane di crollo in roccia e distacchi di lastre e massi da pareti rocciose

Si tratta di fenomeni di crollo e distacco di massi, lastre o limitate porzioni rocciose, localizzati in corrispondenza di fasce spondali in roccia fratturata, interessata da discontinuità tettoniche o con disposizione geometrica delle fratture favorevole al distacco o allo scivolamento di blocchi. Le manifestazioni più importanti di questi disturbi ai fini della pianificazione urbanistica sono rappresentate dalle possibilità di distacchi di porzioni di roccia lungo i versanti o soprattutto lungo le fasce spondali dei rii. Tali dissesti sono inoltre favoriti dall'azione crioclastica di gelo-disgelo, dalla presenza di acque circolanti nelle fratture e, in misura minore e solo nel caso di crolli lungo le fasce spondali, dall'azione erosiva dei corsi d'acqua ai piedi del versante.

Nel territorio in esame possibilità di cadute di massi isolati e di intere lastre rocciose sono state in particolar modo riconosciute lungo le sponde destra e sinistra del rio senza nome in sinistra del Rio Paronnelle (q. 350 m s.l.m.), lungo alcuni intagli stradali (lungo via Panoramica e via Carcioni) e lungo una parete rocciosa presente a monte di Via San Paolo tra il Rio San Paolo e il Rio del villaggio Bezzi.

### 2) Orli di scarpata in roccia

Sono rilevabili essenzialmente lungo il versante a monte del campo sportivo e poiché sono in un ambito morfologico che presenta trincee e contropendenze che evidenziano la presenza di movimenti a grande scala non più attivi, potrebbero essere la traccia di scarpate di antiche frane in roccia. Al momento tali forme sono inattive in masse ma possono riattivarsi puntualmente come crolli di limitate porzioni rocciose.

### 3) Trincee e contropendenze

Rappresentano forme connesse a movimenti profondi di versante a grande scala; in particolare esse derivano dalla formazione di fratture di trazione in roccia subparallele all'andamento del versante, parzialmente colmate da depositi di versante o di origine glaciale. Come detto in precedenza, tali forme sono da considerarsi inattive.

## **7.3. DINAMICA LEGATA ALLE ACQUE DI SCORRIMENTO SUPERFICIALE**

I fenomeni riconducibili a questo tipo di dinamica sono rappresentati dall'azione delle acque di pioggia scorrenti sul terreno.

### a) Solchi e tracce da ruscellamento concentrato

Queste forme sono presenti nelle aree, generalmente piuttosto acclivi, in cui le acque piovane o provenienti da sorgenti non perenni scorrendo sul terreno tendono a concentrarsi in percorsi preferenziali; nel caso in cui queste concentrazioni siano elevate e contemporaneamente il terreno sia privo di una cotica erbosa protettiva, possono innescarsi fenomeni di erosione accelerata del suolo. Frequentemente il ruscellamento concentrato viene innescato da opere viarie trasversali al pendio che raccolgono le acque superficiali e le concentrano a valle in corrispondenza di tombini e caditoie.

Tali forme erosive sono estremamente diffuse nel territorio comunale di Belgirate.

#### b) Zone di ristagno

I fenomeni di ristagno rappresentano l'aspetto contrario al precedente: le acque di pioggia vengono concentrate in aree a debolissima pendenza e, per le notevoli quantità presenti e/o per le caratteristiche di limitata permeabilità dei terreni, non vengono assorbite da quest'ultimi, con conseguente formazione di zone umide o addirittura allagate.

Tali fenomeni non creano dissesto ma sono penalizzanti nel caso di progetti di utilizzo delle aree in quanto necessitano di innalzamenti artificiali o di drenaggi.

#### c) Aree in erosione dovute all'azione di acque ruscellanti diffuse

Sono localizzate in settori molto acclivi (per lo più fasce spondali) ricoperti da diffusa coltre eluvio-colluviale; l'azione erosiva delle acque ha luogo senza la formazione di solchi generalmente ad andamento subparallelo alla direzione di massima pendenza, ma attraverso l'asportazione della cotica erbosa superficiale e al dilavamento dei terreni di copertura a causa dell'azione dei flussi laminari agenti sul pendio.

### **7.4. DINAMICA LEGATA ALLE ACQUE INCANALATE**

La dinamica torrentizia rappresenta un fattore molto importante nell'evoluzione del territorio in esame. Durante il rilievo eseguito sono stati segnalati numerosi fenomeni e forme ad essa attribuibili, ed in particolare i seguenti.

#### a) Orli di scarpata torrentizia

Essi rappresentano l'elemento morfologico presente alla sommità di una zona acclive al passaggio ad una zona pianeggiante o comunque con minore pendenza. Questa forma è causata in genere da fenomeni di erosione regressiva le cui cause sono da ricercarsi, nella maggior parte dei casi, in uno scalzamento al piede o comunque in una spiccata erosione del fondo ad opera dei corsi d'acqua, in genere causata da abbassamento del livello di base del profilo di equilibrio.

Tali forme sono state quindi riconosciute sia all'interno delle zone a depositi glaciali, sia in corrispondenza di aree a substrato roccioso affiorante (limiti di forre torrentizie) o subaffiorante. Inoltre in corrispondenza di depositi superficiali, una forma di questo tipo nei pressi della testata delle vallecole può indicare fenomeni di erosione regressiva dovuta generalmente alla presenza di venute sorgentizie alla base.

Come si può vedere dalla "Carta geologico-strutturale e geomorfologica", a scala 1:2.000, nel territorio comunale sono state riconosciute moltissime di queste forme, per lo più abbastanza antiche ma potenzialmente in evoluzione. In alcune situazioni, per esempio lungo il Rio Lesurana e il Rio Valdera si nota come in corrispondenza di una zona a bassa acclività ricoperta da depositi di origine glaciale, a poche centinaia di metri dallo sbocco a lago, i corsi d'acqua cambino rapidamente caratteristiche geomorfologiche, con una diminuzione improvvisa dell'altezza delle fasce spondali (da circa una quindicina di metri a meno di due) e del grado di incisione dell'alveo.

Sono inoltre presenti orli di terrazzo orografico che delimitano zone subpianeggianti, per lo più terrazzi dovuti all'azione erosiva delle masse glaciali.



## b) Erosione spondale

Gli alvei e le fasce spondali torrentizie sono il risultato della sovrapposizione dei processi morfologici prequaternari (in particolare quelli legati all'essiccazione messiniana del Mediterraneo), di quelli legati alle numerose fasi di espansione e ritiro dei ghiacciai e di quelli che hanno avuto luogo a partire dal ritiro stesso, in cui è prevalente l'attività erosiva; quest'ultima in particolare sulle sponde e nei materiali sciolti in alveo si manifesta, in condizioni normali, soprattutto nell'asportazione dei materiali più fini presenti sia nei depositi alluvionali sia nelle parti affioranti erodibili del substrato che, nel caso di micascisti, presenta discrete quantità di minerali argillosi derivanti dall'alterazione delle miche.

Gli episodi di piena più elevata sono in grado di determinare erosione spondale e di fondo soprattutto nel caso in cui i torrenti scorrano su depositi sciolti, su rocce cataclamate o su litotipi aventi scarse qualità geomeccaniche (micascisti alterati).

Fenomeni di erosione spondale sono stati rilevati lungo il piede delle sponde sia in roccia sia in depositi sciolti dei Rii San Paolo, Magrino e del colatore senza nome che scorre nei pressi della "Baita della Libertà". Molto rare le evidenze di erosioni di fondo poiché la maggior parte degli alvei è in roccia e i depositi alluvionali sono poco diffusi e di scarsa potenza.

## c) Conoidi alluvionali

Tali zone subpianeggianti a forma di ventaglio formatesi dalla deposizione di sedimenti dovuta all'attività dei corsi d'acqua, sono nel territorio di Belgirate di dimensioni molto ridotte; escludendo i rii Magrino e Paronnelle, infatti gli altri corsi d'acqua date le loro modeste dimensioni e date le caratteristiche geologiche e geomorfologiche presenti non sono stati in grado di edificare un apparato conoidale vero e proprio ma solo una modestissima area subpianeggiante in corrispondenza della confluenza a lago, in cui si sono depositati i sedimenti portati in carico dai corsi d'acqua.

## **7.5. DINAMICA LACUSTRE**

Gli allagamenti derivati dalle piene del lago sono generalmente ad energia bassa o nulla anche se il moto ondoso innescabile dalla presenza di venti di provenienza nord-orientale che generalmente soffiano al termine delle piogge, può causare l'erosione dei terreni lungo le sponde ma anche danni rilevanti alle opere di difesa a lago, svuotamento dei riempimenti a tergo delle stesse o addirittura danni ai serramenti dei fabbricati allagati, specialmente se all'energia del moto ondoso si aggiunge quella del materiale in flottazione.

Durante tali episodi si verificano scarse deposizioni di tipo sabbioso-limoso; rilevante è, invece, durante le fasi di abbassamento, la deposizione di materiale vegetale o anche di rifiuti flottati dai torrenti e poi trasportati dalle correnti e dal moto ondoso del lago.

Opposta, invece, è l'azione delle magre che rielabora e erode i terreni alla base delle fondazioni dei muri di sostegno, mette allo scoperto le canalizzazioni fognarie o, addirittura, produce fenomeni di avvallamento di sponda determinati dal mancato

sostegno piezometrico ai versanti subacquei e alle pressioni di filtrazione dell'acqua da monte.

## **7.6. INTERVENTI ANTROPICI**

L'intervento dell'uomo può modificare notevolmente l'assetto di un territorio: significativi sono soprattutto gli interventi edificatori con relativa urbanizzazione, gli interventi eseguiti sui corsi d'acqua e le opere di sistemazione dei versanti. Nei punti seguenti vengono esaminati alcuni di questi interventi.

## **A) Interventi legati all'urbanizzazione**

### **1) Viabilità**

La principale via di comunicazione è la s.s.n.33 "del Sempione". Essa attraversa tutti i rii provenienti dal versante su cui si sviluppa il territorio comunale di Belgirate; in molti casi i sottopassi di attraversamento presentano sezioni di deflusso apparentemente insufficienti (Rio Lesurana, Rio Paronnelle), che non sembrano in grado di smaltire portate di piena liquide più solide eccezionali.

I medesimi problemi si incontrano lungo la rete stradale comunale che permette il collegamento tra le varie località del comune di Belgirate: sezioni di deflusso palesemente insufficienti si segnalano in corrispondenza di attraversamenti stradali e di tratti tombinati lungo il Rio Lesurana, il Rio Paronnelle, Rio della stazione e il Rio del villaggio Bezzi.

Il territorio comunale è anche servito dalla linea ferroviaria Arona-Domodossola; generalmente le sezioni di deflusso in corrispondenza degli attraversamenti dei rii appaiono sufficientemente dimensionate.

### **2) Costruzioni residenziali**

Il comune di Belgirate si è sviluppato nel tempo in varie fasi:

- il nucleo antico di Belgirate, si è formato prevalentemente in un'area a bassa acclività non interessata da dissesti gravitativi e idraulici; tuttavia si deve ricordare che le edificazioni prossime alla sponda lacustre sono sottoposte a periodici allagamenti dovuti alle piene del Lago Maggiore;
- nelle zone più acclivi un tempo utilizzate anch'esse per il pascolo e l'agricoltura si sono invece insediate rare abitazioni rurali sparse, successivamente andate lentamente in disuso;
- nell'ultimo secolo il comune di Belgirate ha avuto anche uno sviluppo di tipo turistico-stagionale, con la formazione di ville di un certo pregio, talora successivamente riconvertite in strutture alberghiere, soprattutto lungo la sponda del Lago Maggiore e spesso in corrispondenza degli sbocchi a lago dei rii minori; tali costruzioni quindi sono potenzialmente a rischio durante le piene dei rii minori;
- nel secondo dopoguerra si è sviluppato, invece, il fenomeno delle seconde case situate lungo viabilità di tipo nuovo, poste come diramazioni delle strade principali in corrispondenza di zone panoramiche; tali strutture, di solito scarsamente legate ai centri storici tradizionali, sono talvolta situate in zone ad elevato rischio da dinamica idraulica e gravitativa; spesso inoltre le opere connesse a tali costruzioni (muri di sostegno, tratti di alvei ricoperti, ecc.), hanno causato locali ma evidenti aggravamenti della pericolosità naturale dei rii con conseguente aumento del rischio per le strutture presenti lungo il loro corso.

## **B) Interventi riguardanti i corsi d'acqua**

### **1) Tombinature**

La necessità di poter disporre delle maggiori superfici possibili per gli utilizzi abitativi o produttivi ha fatto sì che alcuni tratti di corsi d'acqua siano stati tombinati e deviati dal loro corso naturale, cioè sia stato realizzato un percorso sotterraneo per le acque, o mediante tubazioni o, meno frequentemente, mediante ricoperture trasversali a volta o in cemento, a seconda delle disponibilità di prefabbricati sul mercato e il più delle volte a prescindere da un calcolo idraulico delle portate defluibili in caso di piena.

Ciò ha comportato e comporta, in corrispondenza di alcune tombinature sottodimensionate nel caso di piogge intense, il prodursi di fenomeni di rigurgito, intasamento, erosione e allagamento ad opera delle acque e dei materiali da esse trasportati (sabbia, ciottoli, residui vegetali).

Nel caso di tombinature ridotte è pressoché impossibile eseguire su di esse lavori di manutenzione e pulizia, in quanto non ispezionabili o addirittura con percorsi tortuosi.

Per tutti questi motivi (scarichi abusivi, tombinature sottodimensionate, occlusioni) è opportuno che venga concessa la copertura dei rii solo nei casi di comprovato interesse pubblico e con sezioni dimensionate sulla base di un calcolo idraulico.

Inoltre è quanto mai auspicabile che, laddove possibile, i tratti coperti vengano riportati alla superficie.

### **2) Occlusione o restringimento di alveo**

Questo fenomeno è stato segnalato numerose volte entro gli alvei dei corsi d'acqua minori anche con dimensioni limitate. E' dovuto nella quasi totalità dei casi o ad una mancata pulizia degli alvei (caduta naturale di piante, accumulo di foglie e/o ramaglie), a fenomeni di deposizione abusiva, entro le valedole, di rifiuti ingombranti, materiali inerti provenienti da demolizioni o scavi, rami, arbusti e erbe provenienti dalla pulizia dei giardini o a sezioni di deflussi sottodimensionate in corrispondenza di attraversamenti dei rii.

In ogni caso l'effetto creato è quello di formare una barriera che impedisce o rende molto difficoltoso il regolare deflusso delle acque, soprattutto in occasione di forti piogge, che possono contribuire ad accumulare o far "incastrare" questi materiali. Di conseguenza le acque di piena tendono a formare delle zone di diga (con possibile rottura improvvisa) o vanno ad interessare, con erosioni e esondazioni le aree limitrofe dell'alveo. Inoltre tali pulsazioni di piena possono aumentare il trasporto solido e creare problemi nelle parti terminali degli alvei (intasamento di tombinature e/o diminuzioni delle sezioni di deflusso).

## **C) Opere di difesa da dinamica torrentizia**

### **1) Pavimentazioni**

Rappresentano una sistemazione del fondo dell'alveo, e sono generalmente eseguite o con una platea in calcestruzzo, o in calcestruzzo e massi o, molto più raramente, in lastre e elementi squadrati accostati.

In genere i tratti pavimentati non generano gravi problemi di dissesto; deve comunque essere sempre valutata la velocità della corrente (in quanto con la pavimentazione si diminuisce il coefficiente di scabrezza dell'alveo) che può, se eccessiva, innescare fenomeni di erosione sui lati del canale (nel caso in cui le sponde siano formate da muri a secco e non sia stato eseguito un buon raccordo fra questi e la pavimentazione) e soprattutto in corrispondenza del termine del tratto pavimentato, al passaggio con l'alveo in depositi sciolti che possono essere erosi per la elevata velocità della corrente.

La diminuzione del tempo di corrivazione conseguente all'aumentata velocità dell'acqua è invece da considerarsi abbastanza limitata, dato il non particolare sviluppo di tali opere (in genere una decina di metri) che invece, se eseguite correttamente, possono contribuire in modo significativo al passaggio di ondate di piena con forte trasporto solido fino al recettore naturale ossia il Lago Maggiore.

## **D) Opere di difesa da dinamica gravitativa**

### **1) Sottomurazioni**

Si tratta di opere murarie eseguite alla base di ammassi rocciosi in cattivo stato, a sostegno dell'ammasso stesso. Sul territorio comunale sono state rinvenute opere di sottomurazione, prive di organicità e in stato non sempre ottimo, eseguite principalmente a cura dei privati, ove gli affioramenti rocciosi presentavano evidenti segni di fratturazioni.

## **E) Riempimenti e accumuli di materiali inerti**

I riempimenti sono una metodologia frequente in campo edilizio per ottenere aree pianeggianti, terrazze o debolmente acclivi laddove le caratteristiche naturali del terreno non permetterebbero uno sfruttamento ottimale delle aree. Nella maggior parte dei casi si tratta di semplici reinterri nell'ambito delle varie opere edilizie.

## 8. IDROLOGIA

La pericolosità naturale presente sul territorio comunale di Belgirate soprattutto per quanto riguarda la zona urbanizzata è da ascrivere quasi esclusivamente alla dinamica idraulica dei numerosi corsi d'acqua presenti.

Di conseguenza ai fini della pianificazione territoriale, l'analisi idrologica sommata a quella geologico-strutturale e geomorfologica assume un'importanza fondamentale. In questo capitolo sono brevemente riportati metodi e risultati per il calcolo dei parametri idrologici già utilizzati e ricavati dal sottoscritto nei progetti di sistemazione idraulica di alcuni rii interessati dall'evento alluvionale dell'8 Luglio 1996.

### 8.1. CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEI CORSI D'ACQUA

Dal punto di vista dell'idrologia superficiale il territorio in esame appare costituito da un torrente avente bacino di significative dimensioni, il Rio San Paolo e da una serie di piccoli corsi d'acqua scarsamente ramificati con bacini e aste principali che si estendono in direzione ovest-est; fa eccezione il Rio San Paolo il cui corso, circa a quota 460 m s.l.m., devia bruscamente assumendo andamento S-N; tali corsi d'acqua possiedono caratteristiche torrentizie e alcuni di essi non si asciugano mai completamente anche durante magre eccezionali poiché alimentati da acque sorgentizie.

Nella tabella seguente sono indicati i principali parametri morfometrici relativi ai rii presenti sul territorio comunale di Belgirate:

	Superficie del bacino (km <sup>2</sup> )	Lunghezza asta principale (km)	Quota confluente nel lago (m s.l.m.)	Quota massima (m s.l.m.)	Quota media (m.s.l.m.)	Pendenza alveo (°)
<b>R. Valdera</b>	0.09	0.68	195	478	361	22
<b>R. Lesurana</b>	0.23	0.99	195	640	471	24
<b>R. Magrino</b>	0.55	1.31	195	628	474	18
<b>R. della stazione</b>	0.11	0.77	195	471	382	20
<b>R. Paronnelle</b>	0.27	0.85	195	552	508	23
<b>R. San Paolo</b>	1.10	1.81	195	689	534	16
<b>R. villaggio Bezzi</b>	0.16	0.58	195	480	392	26
<b>R. Falchetti</b>	0.22	0.79	195	543	389	24
<b>R. Machere</b>	0.25	0.72	195	584	417	28
<b>R. Sale</b>	0.08	0.35	195	517	355	42

## 8.2. ANALISI IDROLOGICA

### 8.2.1. AFFLUSSI METEORICI

L'esame degli afflussi verificatisi nell'evento alluvionale dell'8 Luglio 1996, che ha interessato un areale prossimo al territorio comunale di Belgirate, è illustrato nella "Analisi delle precipitazioni dell'evento alluvionale dell'8 Luglio 1996" a cura di I. Isoli e A. Sassi a cui si rimanda. Tramite elaborazioni statistiche è stato possibile ricavare le relazioni rappresentative delle curve di possibilità climatica relative all'areale interessato dall'evento, per durate comprese tra 1 e 24 ore e tra 10' e 60'. Sono stati anche ricavati i parametri "a" e "n" validi per lo stesso areale per diversi tempi di ritorno e riportati nelle seguenti tabelle :

Parametri a e n a diversi tempi di ritorno per durate comprese tra 1 e 24 ore

STAZIONE	PARAMETRI "a" E "n" RELATIVI A VARI TEMPI DI RITORNO									
	10		50		100		200		500	
	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
Areale	66.8	0.45	84.9	0.47	93.1	0.47	101.6	0.47	109.9	0.48

Parametri a e n a diversi tempi di ritorno per durate comprese tra 10' e 60'

STAZIONE	PARAMETRI "a" E "n" RELATIVI A VARI TEMPI DI RITORNO									
	10		50		100		200		500	
	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
Areale	62.1	0.68	79.8	0.63	89.0	0.64	96.8.	0.64	107.0	0.63

I parametri sopraindicati devono essere considerati come cautelativi per il metodo con cui sono stati ricavati (analisi probabilistica su più stazioni), ma si ritiene che, per la tipologia delle precipitazioni che interessano questa zona, sia più opportuno osservare criteri assai conservativi.

Poiché i tempi di corrivazione dei rii presenti sul territorio in esame sono tutti inferiori all'ora, sono stati utilizzati i parametri corrispondenti a leggi di possibilità climatica ricavate sulla base dei dati di altezza di pioggia di durata inferiore all'ora.

### 8.2.2. COEFFICIENTE DI RAGGUAGLIO

Sulla base di esperienze precedenti per bacini con queste caratteristiche morfometriche e secondo quanto consigliato dal Weather Bureau si è ritenuto opportuno utilizzare un coefficiente di ragguglio di 0.9.

### 8.2.3. CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA

Il calcolo delle portate di piena determinate dai vari prevedibili afflussi alla rete può essere effettuato in vari modi.

Per tale calcolo in carenza di dati sperimentali che consentano un confronto tra ietogrammi e idrogrammi, si è utilizzato il metodo cinematico ritenuto il più affidabile per le caratteristiche dei rii in esame. Il metodo cinematico consente di valutare la massima

portata di un corso d'acqua in relazione ad un evento critico attraverso la seguente relazione:

$$Q_{\max} = 0.277 \cdot \varphi \cdot C_r \cdot P_c \cdot A / T_c$$

dove

$\varphi$  è il coefficiente di deflusso

$C_r$  è il coefficiente di ragguaglio

$P_c$  è il valore di pioggia critica

$A$  è l'area del bacino

$T_c$  è il tempo di corrivazione

Tale metodo si basa sulle considerazioni che una precipitazione, purché uniformemente distribuita, produce colmi di piena sempre crescenti fintanto che la sua durata non superi il tempo di corrivazione mentre per durate  $t_r > t_c$  la portata, una volta raggiunta la portata massima, si mantiene approssimativamente costante per un intervallo  $\Delta = t_r - t_c$  (onda di piena trapezia).

Di seguito sono illustrate le metodologie utilizzate per la parametrizzazione dei bacini secondo il modello cinematico.

#### 8.2.3.1 COEFFICIENTE DI EVAPOTRASPIRAZIONE

Il coefficiente di evapotraspirazione  $\varepsilon$  si definisce come rapporto fra gli afflussi che effettivamente alimentano la rete e gli afflussi piovuti e sta ad indicare la frazione di acqua perduta per evapotraspirazione.

Trattandosi di scrosci di elevatissime intensità che avvengono in genere nell'ambito di precipitazioni intense della durata di qualche ora e che determinano condizioni di umidità relativa dell'area prossime al 100%, si può ritenere trascurabile la percentuale di pioggia evaporata durante la durata critica, e quindi di può assumere  $\varepsilon = 1$ .

#### 8.2.3.2. COEFFICIENTE DI DEFLUSSO DI PIENA

Il coefficiente di deflusso si definisce come il rapporto fra il volume dell'acqua che defluisce attraverso una data sezione e il corrispondente afflusso in un certo arco di tempo.

Il coefficiente di deflusso  $\varphi$  può essere considerato come il prodotto di numerosi coefficienti, tra cui i principali sono i seguenti (Gabella):

$$\varphi = \varphi_c \cdot \varphi_p \cdot \varphi_i$$

dove :

$\varphi_c$  : coefficiente dipendente dalla copertura vegetale

$\varphi_p$  : coefficiente dipendente dalla permeabilità dei terreni

$\varphi_i$  : coefficiente dipendente dalla pendenza del terreno

Per i rii esaminati si è ritenuto opportuno, visto l'estensione ridotta dei bacini e le caratteristiche geologico-geomorfologiche, utilizzare un valore di coefficiente di deflusso pari a 0.8.



### 8.2.3.3. TEMPO DI CORRIVAZIONE

Il tempo di corrivazione è il tempo necessario perché, in un dato bacino di area A tutte le particelle d'acqua defluenti giungano alla sezione sottesa.

Il metodo più sicuro per calcolare il tempo di corrivazione di un bacino è quello della misura dei tempi intercorrenti fra i massimi degli scrosci e gli inizi dei colmi di piena, ma evidentemente questo metodo prevede le disponibilità degli ietogrammi e degli idrogrammi di ciascun evento che come si è già visto, consentirebbe di evitare tutto il calcolo attraverso modelli. In carenza di tali dati occorre ricorrere ai metodi alternativi basati sulle analisi delle velocità di movimento delle particelle liquide.

Il metodo qui utilizzato è quello di Visentini e Giandotti:

$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{H_{med} - H_{min}}}$$

Si tratta di una formula tarata su numerose esperienze reali che utilizza parametri facilmente misurabili.

### 8.2.3.4. PORTATE DI MASSIMA PIENA

Per i rii presi in considerazione si sono ottenuti i seguenti valori di portata di massima piena a diversi tempi di ritorno:

	$T_c$	$\varphi$	10		50		100		200		500	
			$P_c$	$Q_{max}$	$P_c$	$Q_{max}$	$P_c$	$Q_{max}$	$P_c$	$Q_{max}$	$P_c$	$Q_{max}$
R. Valdera	0.22	0.8	22.1	1.8	30.6	2.5	33.6	2.8	36.5	3.0	41.0	3.4
R. Lesurana	0.26	0.8	24.7	4.4	34.0	6.0	37.4	6.6	40.7	7.2	45.6	8.1
R. Magrino	0.37	0.8	31.7	9.3	42.8	12.6	47.3	13.9	51.5	15.1	57.5	16.9
R. della stazione	0.23	0.8	22.8	2.2	31.6	3.0	34.7	3.3	37.7	3.6	42.3	4.0
R. Paronnelle	0.24	0.8	23.5	5.3	32.4	7.3	35.6	8.0	38.7	8.7	43.4	9.8
R. S. Paolo	0.47	0.8	37.2	17.3	49.8	23.1	55.1	25.6	59.9	27.8	66.8	31.0
R. villaggio Bezzi	0.22	0.8	22.4	3.2	31.0	4.4	34.1	4.9	37.1	5.3	41.6	5.9
R. Falchetti	0.28	0.8	26.1	4.1	35.7	5.6	39.3	6.2	42.8	6.7	47.9	7.5
R. Machere	0.24	0.8	23.9	4.9	32.9	6.7	36.2	7.4	39.3	8.0	44.1	9.0
R. Sale	0.17	0.8	18.4	1.8	25.8	2.5	28.3	2.7	30.8	2.9	34.7	3.3

## 8.3. TRASPORTO SOLIDO

### 8.3.1. PREMESSA, METODOLOGIA E MODELLI INTERPRETATIVI

Nello studio finalizzato alla definizione della pericolosità dei torrenti montani, uno dei problemi fondamentali è quello della determinazione dei volumi mobilizzabili in relazione a ipotizzate situazioni di afflussi-deflussi (valutabili con metodi statistico-probabilistici e con idonei modelli idrologici) e a date situazioni geomorfologiche del bacino (descrivibili con le tecniche del rilevamento geologico).

Un'analisi completa da tutti i punti di vista è quasi sempre impossibile per la enorme complessità dei parametri in gioco. E' necessario pertanto restringere il campo di analisi

ad alcuni modelli interpretativi più semplici e confrontare i risultati ottenuti attraverso ciascun modello.

E' possibile individuare le seguenti possibili analisi:

- analisi statistico-probabilistica di eventi conosciuti;
- analisi idrodinamica;
- analisi geologico-geomorfologica.

### **8.3.2. ANALISI STATISTICO PROBABILISTICA**

L'analisi statistico-probabilistica può essere effettuata con ottimi risultati nei corsi d'acqua dove:

- la mobilitazione dei materiali è strettamente dipendente dalle portate di piena, nel senso che la sempre presente disponibilità di materiale sciolto in alveo rende possibile che ad ogni incremento di portata e di velocità della corrente corrisponda un aumento del materiale mobilizzato;
- esistono stazioni di misura di portata e sistematiche campagne di rilevamento dello stato dell'alveo dopo ogni evento di piena.

Nel caso dei corsi d'acqua presenti nel territorio comunale di Belgirate non sussistono ambedue le condizioni sopra esposte.

### **8.3.3. ANALISI IDRODINAMICA**

Occorre distinguere fra trasporto solido ordinario (di fondo, selettivo, di cernita, ecc.) e trasporto solido di massa (debris-flow o lava torrentizia).

#### **8.3.3.1. TRASPORTO DI FONDO O SELETTIVO**

Il trasporto di fondo selettivo avviene quando la forza di trazione esercitata dalla lama d'acqua sullo strato del deposito supera la forza di trazione critica del materiale superficiale senza comunque mobilizzare l'intero strato.

Date per ciascuna sezione di deflusso:

- le caratteristiche granulometriche dei depositi in alveo;
- le velocità della corrente in relazione alle portate di piena e alle caratteristiche geometriche e di scabrezza della sezione;

è teoricamente possibile ipotizzare le percentuali di deposito mobilizzabili da un prefissato evento di piena.

In realtà il fenomeno del trasporto di fondo non è semplicemente riducibile ad un rapporto fra velocità della corrente e il diametro dei granuli in quanto il peso di materiale che una corrente di determinata velocità e portata è in grado di trasportare ha un limite costituito dalla condizione di "saturazione" della corrente, oltre la quale qualunque aumento del materiale trasportato provoca un rallentamento della corrente e di conseguenza, una deposizione di equal peso del materiale più grosso trasportato dalla corrente stessa.

Inoltre la distribuzione della velocità della corrente lungo ciascuna sezione è diversa da punto a punto e comunque più bassa a contatto con l'alveo che non alla superficie (secondo alcuni autori la velocità al fondo è pari al 75% di quella media), per cui il calcolo della velocità con la consueta formula di Chezy deve essere utilizzato con prudenza.

Pertanto nel caso di analisi di pericolosità di torrenti montani quali quelli in esame, la determinazione delle condizioni di mobilizzazione dei depositi in alveo per trasporto di fondo consente solo con molta approssimazione di valutare i limiti inferiori di portate di piena al di sotto dei quali non si verifica sostanziale erosione e quindi trasporto di materiali.

In realtà si può ritenere che le eccezionali deposizioni di massa, siano seguite per lunghi periodi da numerosi e meno rilevanti fenomeni di erosione e trasporto di fondo che finiscono per rendere maggiormente stabile lo strato superficiale del deposito attraverso l'asportazione del materiale più fine e la conservazione dei massi più grossi; tali depositi in realtà possono nuovamente mobilizzarsi a causa dell'azione erosiva di acque in corrispondenza di portate elevatissime con in carico rilevanti percentuali di sedimenti, come risulta dal paragrafo seguente.

#### 8.3.3.2. MECCANISMI D'INNESCO DEI DEBRIS FLOW

In determinate condizioni, più rare ma più pericolose e catastrofiche, il trasporto solido assume forme di trasporto di massa, con caratteristiche di trasporto e deposito non selettivo e formazione di un fluido poco differenziato fra il fondo e la superficie, costituito da detriti rocciosi di granulometrie estremamente varie, a frequente o addirittura continuo contatto fra di loro e in cui la presenza dell'acqua con percentuali anche molto basse funge da lubrificante, tanto da giustificare il nome di debris-flow o, per le evidenti analogie di viscosità e modalità di movimento, il nome di "lava torrentizia".

In generale, dal punto di vista geologico, geomorfologico ed idrologico, le condizioni necessarie per l'innescò di fenomeni di debris flow sono le seguenti:

- possibili precipitazioni secondo leggi di possibilità climatica con rapporti fra altezze di pioggia e durate decisamente favorevoli all'innescò e con intensità maggiori di 20 mm in 10 minuti;
- presenza in alveo o lungo le fasce spondali di substrato roccioso con qualità geomeccaniche particolarmente scadenti;
- presenza di depositi sciolti in alveo;
- pendenza dell'alveo superiore almeno in alcuni punti al 20°;
- presenza di fasce spondali o di versanti ad elevata acclività, ricoperti da coltre eluvio-colluviale, da depositi di origine glaciale o di falda-frana.

Molti bacini localizzati sul territorio in esame presentano tali caratteristiche o almeno alcune di esse, se si esclude la disponibilità di depositi sciolti in alveo che per questi rii è sempre estremamente scarsa.

Per analogia con situazioni conosciute che hanno riguardato aree con caratteristiche geologiche e geomorfologiche simili a quelle osservate a Belgirate, si può ritenere che eventuali fenomeni di debris flow presentino le seguenti modalità di innesco:

- A) Uno sbarramento in alveo causato da un corpo di frana o da un ostacolo artificiale come un ponte occluso da legname può, in poche decine di secondi, formare un accumulo a monte di acqua mista a detriti in grado di demolire l'ostacolo sotto la semplice pressione idrostatica; in tal caso tutto il materiale viene fluidificato e messo in movimento in tempi brevissimi dando origine ad un fluido avente peso specifico quasi doppio, forte coefficiente di attrito e conseguente forza distruttiva enorme, con una portata istantanea superiore di molte volte a quella del colmo di piena idrica.
- B) Nei corsi d'acqua impostati su versanti ricoperti da depositi sciolti, con elevata acclività (intorno a 40°), è possibile l'innesco di fenomeni di trasporto di massa, di magnitudo comunque limitata, a causa della fluidificazione in alveo dei corpi delle colate che vengono immediatamente presi in carico dalle acque.

Vista la non elevatissima pendenza degli alvei dei corsi d'acqua presenti e soprattutto vista la scarsità dei depositi presenti negli alvei, si ritiene che sia altamente improbabile l'innesco di fenomeni di trasporto di massa a causa dello sforzo di trazione della lama d'acqua sui depositi sciolti in alveo, che in particolari situazioni è in grado di superare significativamente la forza di trazione critica dello strato superficiale, in genere più grossolano, riuscendo quindi a mobilitare l'intero strato del deposito che si disperde così su tutto lo spessore d'acqua.

#### **8.3.4. ANALISI GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICA SUL TRASPORTO DI MASSA**

Molto difficile appare l'analisi delle condizioni puntuali di innesco di un fenomeno di trasporto di massa dovuto allo scorrimento in alveo del corpo di una colata. Un evento disestivo di questo tipo è assolutamente non prevedibile puntualmente nel tempo e nello spazio visto il numero di variabili in gioco e la loro complessa parametrizzazione. In questi casi, risulta fondamentale l'analisi di eventi precedenti nella zona e una valutazione dettagliata delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche dei siti.

Altrettanto difficoltosa è la valutazione delle magnitudo prevedibili per eventi di debris flow a causa della complessità del fenomeno e della variabilità dei parametri in gioco, fatti che mal si prestano alla possibilità di fornire modelli interpretativi facilmente confrontabili tra loro.

Il modello interpretativo più confacente ai casi in esame, sia pur a livello qualitativo, può essere quindi considerato il seguente:

- i rii di Belgirate non sono stati in grado di edificare significative conoidi alluvionali. Questo fatto indica una scarsa disponibilità in alveo e lungo le fasce spondali di materiale detritico di origine glaciale già a partire dal termine dell'ultima fase di ritiro delle lingue glaciali;
- si ritiene che eventi alluvionali catastrofici possano essere determinate dalla concomitanza di episodi di fluidificazione in alveo e di immediata presa in carico di corpi di frana (generalmente colate in coltre eluvio-colluviale o in depositi glaciali). Il materiale che forma il corpo di frana è generalmente dato da sabbie ghiaiose con

ciottoli, con frazione limosa presente ma senza trovanti metrici; esso è caratterizzato da alto grado di saturazione e viscosità sufficientemente elevata da provocare erosioni laterali e di fondo alveo con asportazione di notevoli quantità di sedimenti e in taluni casi anche di substrato roccioso. La pendenza non elevata degli alvei esaminati, non dovrebbe consentire al corpo di frana di assumere velocità consistente, fatto che ne diminuirebbe notevolmente le caratteristiche erosive;

- la valutazione quantitativa del possibile trasporto solido relativa ad un evento catastrofico non è agevole perché strettamente dipendente dal volume del corpo di frana e dalla quantità di materiale eventualmente eroso durante lo scorrimento verso valle (a sua volta dipendente da numerosi parametri quali il volume iniziale del corpo della colata, la granulometria del materiale di cui esso è costituito, la velocità che il corpo assume durante lo scorrimento, le caratteristiche dei sedimenti e del substrato roccioso presenti in alveo e lungo le fasce spondali, ecc.);

Si può ragionevolmente pensare che per i rii presenti in comune di Belgirate la probabilità dell'innescarsi di fenomeni di debris flow è pari alla probabilità di sviluppo di colate in coltre o in depositi superficiali all'interno dei bacini poiché come detto, per bacini con queste caratteristiche il debris flow viene innescato dal materiale detritico proveniente da colate. Tale probabilità risulta maggiore per versanti ad acclività superiore ai 35°, che nel territorio esaminato sono costituiti solo dalle fasce spondali dei rii e dalla porzione che comprende il bacino del Rio Paronnelle

Si può inoltre affermare che è estremamente probabile che colate in coltre eluvio-colluviale o in depositi superficiali avvengano solo in concomitanza di eventi piovosi di eccezionale intensità e durata, poiché la loro causa scatenante va ricercata nella saturazione della coltre o dei depositi, fatto che provoca sovrappressioni tali da vincere la resistenza data dall'attrito tra i granuli e dall'eventuale coesione, con conseguente rottura del terreno.

In conclusione è possibile affermare che per i corsi d'acqua presenti nel territorio comunale di Belgirate sono possibili occlusioni, erosioni e sovralluvionamenti causati da fenomeni di trasporto di massa che tuttavia, a causa della pendenza degli alvei non particolarmente accentuata, delle scarse portate idriche dei rii, del limitato sviluppo di pendii ad acclività elevata e della scarsa disponibilità di depositi superficiali lungo le fasce spondali, saranno con ogni probabilità di magnitudo modesta, ma in grado comunque in alcuni casi, soprattutto in corrispondenza di sezioni di deflusso non sufficientemente dimensionate, di provocare allagamenti e deposizioni di materiale sabbioso-ghiaioso.

## 8.4. LAGO MAGGIORE

E' noto che i colmi di piena del Lago Maggiore presentano tempi di ritardo sui massimi afflussi dell'ordine di 12-36 ore.

La valutazione degli afflussi critici è quindi relativa alle precipitazioni massime di analoga durata.

Per il bacino imbrifero del Lago Maggiore esistono studi specifici molto validi, a cura del C.N.R. Istituto di Idrobiologia e, in particolare, esiste una "Carta delle precipitazioni massime di 1 giorno" a cura di A.Carollo, F.Contardi, V.Libera, A.Rolla, che prende in esame il periodo di osservazione 1921-1980 e che è da considerarsi tuttora valida.

Di particolare interesse ai fini degli eventi massimi sono gli studi sia italiani che svizzeri, sull'evento dell'autunno del 1993, con evidenziazione degli ietogrammi corrispondenti alle varie perturbazioni che hanno interessato l'area e che hanno causato la piena più elevata del secolo nel bacino lacustre con livello idrometrico di 197.61 m s.l.m..

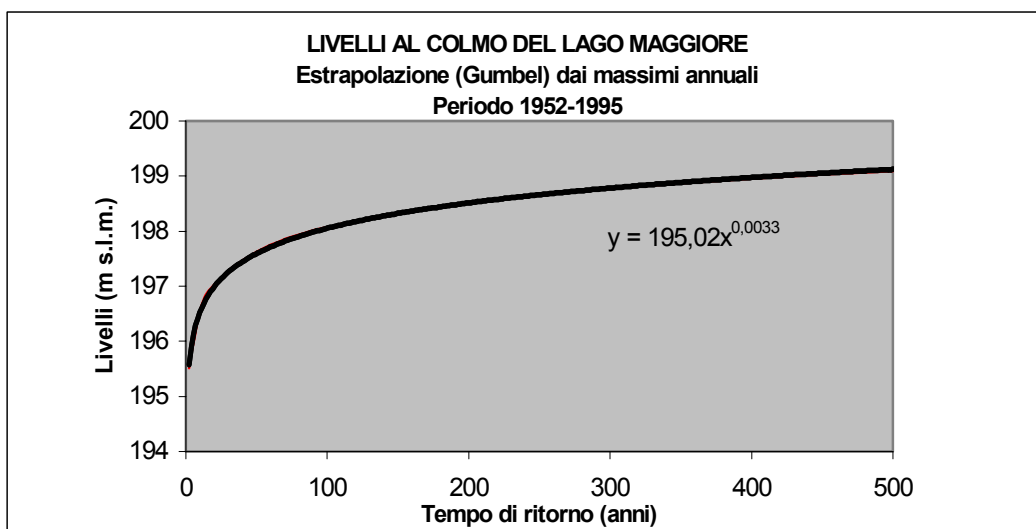
La distribuzione delle piogge in tale massimo evento ha confermato la distribuzione statistica registrata nella citata "Carta delle precipitazioni massime di 1 giorno".

Per quanto riguarda gli afflussi critici effettivi occorre tenere conto della vastità del bacino imbrifero che è di 6598 Km<sup>2</sup>, per cui le precipitazioni critiche mediate sull'intero bacino vanno poi ridotte con opportuni coefficienti di ragguaglio e deflusso.

Il calcolo non è agevole e peraltro non risulta di particolare interesse ai fini idraulici in quanto gli effetti sulle variazioni di livello sono meglio valutabili per via statistica sulle relative serie.

Secondo un'analisi dei livelli al colmo del Lago Maggiore misurati alla stazione di Pallanza nel periodo 1952-1995 ed elaborati mediante la correzione di Gumbel, si ottiene quanto segue:

Massimi annuali	
T. ritorno (anni)	Livelli (m s.l.m.)
2.33	195,51
10	196,57
20	197,03
50	197,62
100	198,07
200	198,51
300	198,77
400	198,95
500	199,10



Per quanto riguarda i tempi di sommersione viene riportata qui di seguito la tabella tratta dagli Atti del C.N.R., Istituto Idrobiologico di Pallanza sempre relativa al periodo 1952-1990.

LIVELLI	DURATA %	DURATA CUMULATIVA %
> 196.0	0.37	0.37
195.00 - 196.00	1.99	2.36
194.50 - 195.00	4.20	6.56
194.00 - 194.50	30.59	37.15
193.50 - 194.00	41.57	78.72
193.00 - 193.50	12.47	91.59
192.50 - 193.00	7.83	99.02
192.00 - 192.50	0.98	100.00

## 8.5. CARATTERISTICHE GEOIDROLOGICHE GENERALI

La circolazione delle acque sotterranee avviene in misura strettamente dipendente dalla permeabilità dei terreni; da questo punto di vista il territorio in esame può essere suddiviso in:

### a) Zone a flusso nullo.

Sotto questa denominazione sono raggruppati tutti gli affioramenti di rocce impermeabili (micascisti, paragneiss) che permettono alle acque uno scorrimento esclusivamente superficiale.

### b) Zone a flusso per fessurazione.

Si tratta di zone caratterizzate dalla presenza di rocce fratturate o dislocate in modo da permettere una circolazione sotterranea al loro interno.

L'alimentazione di tale circolazione avviene per cessione d'acqua dalle coperture permeabili sovrastanti, per infiltrazione lungo gli alvei dei corsi d'acqua o, più limitatamente, per infiltrazione superficiale diretta. L'emersione delle acque avviene mediante sorgenti di frattura.

La lunghezza dei percorsi sotterranei influisce in modo rilevante sul regime di tali sorgenti e sulle loro caratteristiche chimiche e batteriologiche.

L'individuazione di tali sorgenti è in genere abbastanza ovvia, in quanto si tratta di emergenze conosciute da lungo tempo, salvo nei casi in cui gli affioramenti siano nascosti da depositi superficiali (sorgenti geologiche).

### c) Zone a flusso per porosità.

Sono tutte le aree coperte da depositi di versante e morenici, in posto o rielaborati, nei quali avviene una circolazione di acque sotterranee provenienti in larga misura dall'infiltrazione superficiale (compatibilmente con la permeabilità dei terreni), dalle perdite in subalveo, e in misura minore dalle diaclasi e fratture sotto forma di sorgenti geologiche.

Nell'ambito di questi depositi sono possibili locali aumenti del valore del coefficiente di permeabilità dei materiali; tali aumenti sono da imputare alla creazione, ad opera delle acque di filtrazione, di percorsi preferenziali lungo i quali la velocità di flusso può aumentare in modo non indifferente.

I versanti compresi entro il territorio di Belgirate presentano una struttura caratterizzata da un substrato roccioso scarsamente affiorante o subaffiorante e per lo più ricoperto da depositi di natura glaciale e in misura minore di versante anche di spessore molto rilevante.

L'infiltrazione delle acque di scorrimento superficiale (ruscellanti o incanalate) avviene in corrispondenza di tutte le superfici permeabili, quindi nei depositi superficiali e nelle aree a substrato roccioso fratturato, che generalmente corrispondono ad alvei torrentizi o zone di conca (a causa della migliore erodibilità delle fasce fratturate). Nel caso del territorio in esame appare importante il ruolo di bacino di accumulo giocato dalla zone subpianeggianti presenti a monte del confine comunale (zona torbiera e Pozzarache).

Dal gran numero di sorgenti presenti è ragionevole ipotizzare l'esistenza di un acquifero in roccia di sufficienti dimensioni (fratturazioni pervasive su vaste aree e, soprattutto, in profondità) tanto da instaurare una importante circolazione idrica.

Nel caso in cui il substrato roccioso sia privo di fratturazione esso funge da limite di base di un acquifero in depositi sciolti, che può essere permanente nel caso di depositi a notevole sviluppo areale e spessore ed effimero nel caso della presenza solo della coltre eluviale o di depositi superficiali di limitata entità. In quest'ultimo caso infatti si forma, a seguito di piogge prolungate, una zona satura nei depositi immediatamente al di sopra del contatto con il substrato.

Il flusso di tutte queste acque sotterranee rispecchia quello dei maggiori gradienti idraulici, e quindi in genere ha direzione corrispondente alla linea di massima pendenza dei versanti; sono possibili però locali variazioni legate o ad una diversa orientazione delle fratture acquifere oppure alla presenza di percorsi preferenziali nei depositi sciolti (ad esempio legati alla presenza di intercalazioni di sabbie fini sciolte all'interno dei depositi glaciali).

L'emergenza di tali acque può avvenire mediante sorgenti di frattura sgorganti direttamente dalla roccia oppure sorgenti di limite di permeabilità definito, situate caratteristicamente in corrispondenza del passaggio fra depositi superficiali e substrato. Tipiche in queste situazioni sono le sorgenti localizzate alla testata di vallecole e le emergenze diffuse lungo l'asse dell'alveo.

Data l'irregolarità della circolazione idrica sotterranea non si è ritenuto possibile rappresentare in carta la soggiacenza della falda freatica.



## 9. PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA, RISCHIO CONNESSO E IDONEITÀ ALL'UTILIZZAZIONE URBANISTICA

### 9.1. DEFINIZIONE DEI LIVELLI DI RISCHIO

Occorre premettere alcune definizioni della terminologia utilizzata (vedi Circ. P.R.G. n.7/LAP dell'8/5/96).

*"Secondo la più recente letteratura internazionale (Tung & Mays 1981, U.S.Geol.Survey 1982, Projeť Duti 1983, Cancelli 1983, Haymes 1984, Varnes 1984, Hartien & Viberg 1988, Einstein 1988), il rischio geologico è definito dalla probabilità che un determinato evento naturale si verifichi, incidendo sull'ambiente fisico in modo tale da recare danno all'uomo e alle sue attività.*

*La valutazione in termini probabilistici dell'instabilità potenziale, indipendentemente dalla presenza antropica, definisce invece il grado di pericolosità di una certa area in funzione della tipologia, della quantità e della frequenza dei processi che vi si possono innescare.*

*La pericolosità, dunque, si traduce in rischio non appena gli effetti dei fenomeni naturali implicano un costo socio-economico da valutarsi in relazione all'indice di valore attribuibile a ciascuna unità territoriale.*

*Tale misura di valore socio-economico integra i parametri indicatori dei processi naturali nella determinazione dei livelli di rischio." (da GOVI M. in Banca Dati Geologica, pp.17-18).*

Dal punto di vista strettamente matematico la pericolosità dovrebbe potersi calcolare come prodotto della probabilità dell'evento di dissesto per la sua energia.

Il rischio geologico è a sua volta dato dal prodotto della pericolosità per la vulnerabilità e per il valore del bene che può essere distrutto.

Tale metodologia però non è facilmente applicabile alla pianificazione del territorio, in primo luogo perché non è semplice stabilire la probabilità del verificarsi di eventi naturali e, soprattutto, perché non esiste ad oggi una normativa che consenta di valutare un rischio accettabile (vedi anche limiti imposti dalla L.R.n.56/77, art.13 e 30).

Pertanto anche la Circ.P.G.R. n.7/LAP dell'8/5/96 suggerisce una valutazione di pericolosità di tipo geomorfologico che prescindendo quindi, in generale, da valutazioni di tipo probabilistico e che tenda ad escludere l'edificazione in zone pericolose o, per lo meno, di un tipo di pericolosità che non possa essere eliminato mediante accorgimenti tecnici realizzabili nell'ambito del singolo progetto edificatorio e senza interferenze o peggioramenti sulle aree circostanti.

In riferimento a quanto citato l'intervento del geologo deve consistere innanzitutto, nella valutazione della pericolosità delle aree oggetto di studio, in termini di presenza od assenza di fattori di pericolosità; in una fase successiva, assieme all'urbanista, deve valutare il rischio geologico connesso con l'urbanizzazione dell'area, esistente o di progetto, in zone soggette a tali fattori.

In quest'ottica è necessario quindi mettere in luce la tipologia dell'evento in relazione alla tipologia del danno, che è a sua volta funzione delle scelte urbanistiche e/o degli interventi di riassetto idrogeologico.

Si deve intendere cioè che l'analisi geologica deve integrarsi con l'analisi urbanistica in modo tale da mettere in evidenza sia il **rischio in atto** sia le caratteristiche di edificabilità del territorio in funzione del **rischio potenziale** connesso con tale edificabilità.

Per esemplificare, un'area soggetta ad un'elevata probabilità di evento di dissesto geologico di elevata energia può essere considerata:

- **a rischio in atto praticamente nullo** se non è interessata da alcuna edificazione o opera, né tanto meno vi sono previsioni di insediamenti o interventi; in questo caso l'analisi geologica può senz'altro suggerire l'inedificabilità dell'area stessa (classe IIIa);
- **a rischio in atto elevato** se l'area è edificata; in tal caso si possono verificare molte situazioni su cui l'analisi geologica può indirizzare le scelte urbanistiche:
  - l'area può essere considerata a rischio tecnicamente non superabile o a costi di riassetto eccessivi; in questo caso si può ragionevolmente porre il problema del trasferimento degli insediamenti esistenti (classe IIIc);
  - il rischio può essere eliminato attraverso interventi generali di riassetto che agiscano definitivamente sulla possibilità di verificarsi dell'evento; in questo caso l'analisi geologica può suggerire una edificabilità condizionata alla realizzazione degli interventi (classe IIIb);
  - il rischio può essere controllato attraverso opere che esigono manutenzione nel tempo; si tratta di una situazione intermedia fra le due precedenti in cui la decisione di edificabilità o di trasferimento è anche connessa con i costi di manutenzione.
- **a rischio potenziale** in quanto l'area è inedificata ma esiste un preminente interesse pubblico all'edificazione; è chiaramente la situazione più delicata e complessa; si possono verificare varie situazioni, fra cui quelle più comuni sono le seguenti:
  - può accadere che nell'area debbano essere realizzate opere di rilevante interesse pubblico non altrimenti localizzabili; in tal caso se i costi del riassetto e/o della difesa dagli eventi calamitosi e/o addirittura la valutazione del possibile danno sono ragionevolmente compatibili con i vantaggi pubblici dell'opera, è possibile che l'indagine geologica suggerisca la possibilità dell'utilizzo dell'area a determinate condizioni; in genere queste aree possono essere considerate in classe IIIa ove sono ammessi appunto tali tipi di interventi di interesse pubblico o IIIb con norme tecniche particolari.
  - l'interesse pubblico può manifestarsi anche nel caso in cui le esigenze di equilibrato sviluppo del territorio rendano potenzialmente interessanti anche aree parzialmente edificate con moderato rischio geologico generale il quale possa essere superato con limitati interventi di riassetto con effetti anche su aree limitrofe; in questo caso l'analisi geologica può indicare le caratteristiche degli interventi necessari al

superamento del rischio e la classe di edificabilità può essere considerata ancora di tipo IIIb, includendo in esse porzioni di aree non edificate come aree di completamento all'interno dell'urbanizzazione o, al limite, in area di "frangia".

Tutte le situazioni sopra illustrate riguardano aree nelle quali è presente un dissesto in atto o potenziale, in cui la presenza di una nuova edificazione comporta già di per sé un elemento di rischio o addirittura in cui alcuni tipi di opere possono aggravare la situazione di dissesto dell'area circostante, per cui solo un intervento coordinato dall'ente pubblico può consentire il superamento del rischio.

Esistono invece situazioni in cui le singole opere non determinano un aggravamento della stabilità o del dissesto dell'intera area ma vanno eseguite con criteri particolari: si tratta per esempio di terreni pianeggianti, geotecnicamente scadenti o a falda affiorante, oppure aree passibili di inondazioni non distruttive che possono essere affrontate con criteri costruttivi particolari (fondazioni speciali, innalzamenti del piano campagna, ecc.), oppure anche di aree ragionevolmente acclivi in relazione al contesto litologico; per queste opere il rischio è solo connesso con le modalità costruttive e quindi è possibile evidenziare tali modalità, che è opportuno siano rese vincolanti (classe II).

Da ultimo esistono aree per le quali l'analisi geologica non ha identificato alcun elemento penalizzante e per le analisi è stato possibile l'inserimento in classe I.

## **10. PROGETTI DI RIASETTO IDROGEOLOGICO PER LA DIFESA DELLE AREE CLASSIFICATE IN CLASSE IIIb**

Il presente Piano Regolatore prevede Piani di Riassetto idrogeologico a difesa delle aree classificate in classe IIIb.

In tale classe sono previsti Progetti Pubblici di Riassetto idrogeologico mirati all'eliminazione o alla minimizzazione del rischio sulle aree edificate.

In normativa sono state previste tutte le modalità di esecuzione dei Progetti, di verifica e collaudo delle opere di conseguente modifica delle condizioni di fruibilità urbanistica.

## **11. PROVVEDIMENTI CAUTELARI DI INIBIZIONE ALL'EDIFICABILITÀ**

### **11.1. PROGETTO DI PIANO STRALCIO PER IL RIASETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)**

La recente adozione del Piano Stralcio in data 11 Maggio 1999 è stata pubblicata sulla G.U. in data 28/07/99 e la cartografia, le relazioni illustrative e le Norme di Attuazione sono già state messe a disposizione per la consultazione presso la Provincia del V.C.O..

La presente analisi geologica a corredo del P.R.G.C. di Belgirate ha già tenuto conto delle situazioni illustrate nelle cartografie del P.A.I. e rappresentate da una "area con pericolosità molto elevata o elevata non perimetrata" corrispondente al tratto terminale del Rio Magrino.

Le risultanze dello studio eseguito in questa sede differiscono sostanzialmente da quelle del P.A.I. soprattutto per la molteplicità delle situazioni di dissesto individuate; tali differenze dovranno essere esaminate dalla Regione Piemonte nell'ambito delle procedure previste per l'adozione del P.A.I..

## **12. NORMATIVA DI PIANO DAL PUNTO DI VISTA GEOLOGICO**

In allegato è illustrata la proposta di normativa di Piano dal punto di vista geologico redatta ai sensi della Circ. P.G.R. n. 7 LAP/96 e coerentemente con quanto illustrato nella Carta di Sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica.

Verbania, luglio 2004

Dott. Geol. Italo Isoli