

**Comune di Niardo (Brescia)**

**STUDIO GEOLOGICO DI SUPPORTO ALLA PIANIFICAZIONE URBANISTICA**

*RELAZIONE ILLUSTRATIVA*

*Gennaio 2000*

*Aggiornamento: gennaio 2003*

**ALLEGATI:**

All. 1 - Carta geologica (scala 1:25.000)

All. 2 - Carta geomorfologica (scala 1:10.000)

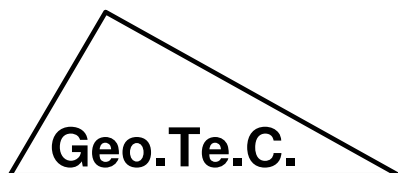
All. 3 - Carta idrogeologica e del sistema idrografico (scala 1:10.000)

All. 4a, 4b - Carta della dinamica geomorfologica di dettaglio con elementi  
litologici e geotecnici (scala 1:2.000)

All. 5 - Carta di sintesi (scala 1:10.000)

All. 6a, 6b - Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano (scala 1:2.000)

Dr. geol. Fabio Alberti



**Geo.Te.C.** - Geologia Tecnica Camuna  
Studio Associato - tel. /fax: 0364-533637  
Via Albera, 3 - Darfo Boario Terme (BS)  
E-mail: [geotec@intercam.it](mailto:geotec@intercam.it)

## INDICE

<b>PREMESSA</b>	pag. 1
<b>1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO</b>	pag. 3
<b>2. ASPETTI GEOLOGICI</b>	pag. 3
<b>2a - INQUADRAMENTO GEOLOGICO D'INSIEME</b>	pag. 4
<b>2b - SUBSTRATO ROCCIOSO</b>	pag. 4
<b>2c - DEPOSITI SUPERFICIALI</b>	pag. 7
<b>3. ASPETTI GEOMORFOLOGICI</b>	pag. 12
<b>3a - FORME, PROCESSI E DEPOSITI GRAVITATIVI DI VERSANTE</b>	pag. 13
<b>3b - FORME E DEPOSITI GLACIALI</b>	pag. 16
<b>3c - FORME, PROCESSI E DEPOSITI PER ACQUE CORRENTI SUPERFICIALI</b>	pag. 18
<b>3d - FORME CRIONIVALI</b>	pag. 23
<b>3e - FORME E DEPOSITI CARSICI</b>	pag. 23
<b>3f - FORME, PROCESSI E DEPOSITI DI NATURA ANTROPICA</b>	pag. 24
<b>4. ASPETTI CLIMATICI, IDROLOGICI ED IDROGEOLOGICI</b>	pag. 26
<b>4a - ASPETTI CLIMATICI</b>	pag. 26
<b>4b - ASPETTI IDROLOGICI</b>	pag. 27
<b>4c - ASPETTI IDROGEOLOGICI GENERALI</b>	pag. 30
<b>4d - SISTEMA IDROGRAFICO</b>	pag. 33
4d.1 - <i>Inquadramento idrografico generale</i>	pag. 34
4d.2 - <i>Torrente Fa</i>	pag. 34
4d.3 - <i>Torrente Re</i>	pag. 37
4d.4 - <i>Torrente Cobello</i>	pag. 40
4d.5 - <i>Fiume Oglio</i>	pag. 44
<b>5. CARTA DELLA DINAMICA GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO CON ELEMENTI LITOLOGICI</b>	pag. 47
<b>5a ASPETTI RELATIVI ALLA PERICOLOSITÀ MORFOLOGICA</b>	pag. 47
<b>5b ASPETTI LITOLOGICO-TECNICI</b>	pag. 49
<b>6. CARTA DI SINTESI</b>	pag. 52
<b>7. CARTA DELLA FATTIBILITÀ' GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO</b>	pag. 54
<b>7a - CLASSI DI FATTIBILITÀ</b>	pag. 54
<b>7b - INDICAZIONI DI CARATTERE GENERALE</b>	pag. 57
<b>7c - DESCRIZIONE DEI FATTORI LIMITANTI ED INDICAZIONI SUGLI APPROFONDIMENTI DI INDAGINE</b>	pag. 57
Sottoclasse: <b>a</b> - <i>Elementi di pericolosità: fiume Oglio (Fasce Fluviali PAI)</i>	pag. 57
Sottoclasse: <b>b</b> - <i>Elementi di pericolosità: conoidi dei torrenti Re e Cobello</i>	pag. 60
Sottoclassi: <b>c, g</b> - <i>Elementi di pericolosità: conoide del torrente Fa</i>	pag. 61
Sottoclasse: <b>d</b> - <i>Elementi di pericolosità: aspetti geotecnici</i>	pag. 62
Sottoclasse: <b>e</b> - <i>Elementi di pericolosità: assetto idrogeologico e pendenza elevata</i>	pag. 62
Sottoclasse: <b>f</b> - <i>Elementi di pericolosità: alveo dei corsi d'acqua</i>	pag. 63
<b>8. BIBLIOGRAFIA</b>	pag. 65

## PREMESSA

Il presente studio è stato redatto su incarico dell'Amministrazione Comunale di Niardo (con Deliberazione della Giunta Comunale n. 123 del 22/12/1998) ed è stato finalizzato all'esame degli aspetti geologici, geomorfologici ed idrogeologici del territorio comunale ed alla definizione la fattibilità geologica per la pianificazione comunale in accordo con quanto riportato nei "Criteri ed indirizzi relativi alla componente geologica nella pianificazione comunale secondo quanto disposto dall'art. 3 della L.R. 24 Novembre 1997, n. 41".

Lo studio è stato completato nel gennaio 2000 e successivamente è stato aggiornato nel gennaio 2003 in riferimento alla d.g.r. 11 dicembre 2001 n. 7/7365, sia per tenere conto del parere espresso dalla Regione Lombardia (Attività Generali di conoscenza del territorio - Struttura Geologia per la pianificazione; comunicazione del 18 gennaio 2001 - prot. Z1.2001.02736) sia per aggiornare la perimetrazione delle Fasce Fluviali rispetto alla versione approvata in sede di adozione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI).

In accordo con le normative di riferimento lo studio è stato sviluppato secondo le seguenti fasi:

- *Fase d'analisi.* In questa fase sono state effettuate una raccolta dei dati esistenti (geologici, morfologici, idrogeologici, idrografici ed ambientali) ed una serie di osservazioni di campagna finalizzate alla definizione degli aspetti complessivi del territorio. La fase d'analisi ha portato alla stesura delle cartografie d'inquadramento e di dettaglio. Nella fase in esame sono state prodotte le seguenti cartografie:

- |          |   |  |
|----------|---|--|
| - All. 1 | Carta geologica - scala 1:25.000  |  |
| - All. 2 | Carta geomorfologica - scala 1:10.000   | Estese a tutto il territorio comunale          |
| - All. 3 | Carta idrogeologica e idrografica - scala 1:10.000  |  |
| - All. 4 | Carta della dinamica geomorfologica di dettaglio e con elementi litologici e geotecnici - scala 1:2.000 | Per le sole aree interessate da urbanizzazione |

- *Fase di valutazione.* In questa fase sono stati esaminati ed incrociati gli elementi desunti dalla fase precedente, individuando gli elementi maggiormente significativi; questa fase ha portato alla predisposizione della seguente cartografia:

- |          |                                   |                                       |
|----------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| - All. 5 | Carta di sintesi - scala 1:10.000 | Estesa a tutto il territorio comunale |
|----------|-----------------------------------|---------------------------------------|

- *Fase propositiva.* In questa fase è stata condotta la valutazione critica delle condizioni di pericolosità dei fenomeni rilevati, dei conseguenti scenari di rischio e delle componenti geologico-ambientali con la predisposizione della seguente cartografia:

- All. 6	<i>Carta di fattibilità geologica per le azioni di piano - scala 1:2.000</i>	Per le sole aree interessate da urbanizzazione
----------	--	---

Il comune di Niardo ricade fra quelli interessati dagli interventi previsti nell'ambito della Legge 102/90 ("Legge Valtellina") relativamente ai seguenti corsi d'acqua:

- torrente Fa;
- torrente Re di Niardo;
- torrente Cobello.

Nella fase attuale sono stati conclusi gli interventi di sistemazione lungo i torrenti Re e Cobello mentre sono ancora completare gli interventi di sistemazione del tratto inferiore del corso del torrente Fa.

## FASE D'ANALISI

---

### **INQUADRAMENTO DEL TERRITORIO**

#### **1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO**

Il Comune di Niardo si trova nel tratto intermedio della Valle Camonica ed il suo territorio si sviluppa esclusivamente in corrispondenza del versante sinistro per una superficie complessiva di circa 20 km<sup>2</sup>. Il territorio comunale coincide per buona parte con le aree di pertinenza idrografica e morfologica dei torrenti Fa, Re di Niardo e Cobello comprendendone gli ampi conoidi alluvionali di fondovalle e l'intera estensione dei bacini idrografici; ad est il territorio comunale si sviluppa oltre lo spartiacque di questi bacini, comprendendo il tratto superiore della valle di Stabio.

Il territorio è in buona parte montuoso ed anche il settore dei conoidi alluvionali di fondovalle è caratterizzato da una relativa acclività. Altimetricamente il territorio è compreso tra le quote di circa 300 m del fondovalle del fiume Oglio all'altezza della confluenza del torrente Fa e la quota di 2674 m della linea di cresta compresa tra il monte Stabio ed il monte Frerone.

Il territorio comunale è compreso nelle Sezioni *D4c1*, *D4d1*, *D4d2*, *D2d5* e *D2c4* della Cartografia Tecnica Regionale alla scala 1:10.000, utilizzata per la cartografia di inquadramento, mentre il settore dei conoidi di fondovalle è coperto anche dalla carta tecnica comunale alla scala 1:2.000, utilizzata come base per la cartografia di dettaglio.

#### **2. ASPETTI GEOLOGICI**

Nella fase d'analisi è stata redatta la *Carta geologico-strutturale* (All. 2 - scala 1:25.000) estesa a tutto il territorio comunale. Nell'allegato, in riferimento alla scala adottata, sono rappresentate le litologie lapidee che costituiscono il substrato roccioso, affioranti e subaffioranti, e la coltre dei depositi superficiali. Le litologie del substrato roccioso sono state distinte adottando le unità formazionali individuate nella cartografia geologica d'Italia alla scala 1:100.000, mentre per quanto riguarda i depositi superficiali sono stati rappresentati solo i lembi caratterizzati da estensione e potenza significativi alla scala della carta, distinguendolo tra loro in ragione delle genesi e dell'età.

Nella cartografia è inoltre rappresentato l'assetto strutturale fondamentale del settore in esame.

La legenda di questa carta è stata strutturata operando una prima separazione tra i materiali, distinguendo le litologie sciolte dalle litologie lapidee. I *terreni* sono dei materiali i cui costituenti, individui cristallini o clasti di varia origine, composizione e dimensione, non sono legati tra loro o lo sono, ma da forze coesive relativamente deboli. Le rocce sono invece dei materiali i cui costituenti sono tenuti uniti da forze coesive tali da conferire all'insieme una compattezza apprezzabile. Alle unità della classe delle litologie sciolte corrispondono generalmente i depositi superficiali mentre alla classe delle litologie lapidee appartengono soprattutto i materiali costituenti il substrato.

All'interno di queste due classi i vari materiali sono stati distinti tra loro in base ai caratteri di composizione, tessitura e struttura, espressi anche mediante connotazioni di tipo genetico, nei casi in cui esiste una diretta relazione tra genesi e litologia, come spesso accade per i depositi superficiali.

## **2a - INQUADRAMENTO GEOLOGICO D'INSIEME**

Il settore intermedio della Val Camonica è caratterizzato dall'affioramento delle rocce di età triassica della copertura sedimentaria sudalpina e, in corrispondenza del versante sinistro della valle, dalle rocce intrusive del plutone terziario dell'Adamello. La serie sedimentaria è disturbata dalla presenza di diversi lineamenti tettonici riconducibili principalmente ad un campo di sforzi compressivi, connessi all'orogenesi alpina e diretti all'incirca da nord a sud. L'elemento tettonico principale è rappresentato da un piano di sovrascorrimento disposto trasversalmente all'asse della valle poco a sud dell'area in esame, all'altezza della zona di Breno. Questo lineamento porta l'unità del Calcere di Angolo a scorrere sulla formazione di Breno secondo piani di scollamento impostati lungo i livelli evaporitici delle unità della Carniola di Bovegno e della Formazione di S. Giovanni Bianco. A monte del sovrascorrimento le unità definiscono il fianco meridionale di una piega sinclinale, molto strizzata e coricata, il cui asse è disposto trasversalmente alla valle e decorre da Losine a Braone con direzione OSO-ENE. Il piano assiale della piega è subverticale ed immerge verso NNO così che il fianco settentrionale risulta ribaltato. Nel settore di versante posto a monte di Niardo le formazioni sedimentarie sono interessate da piccole pieghe molto strizzate, con piano assiale subverticale orientato in direzione NE-SO, parallelo all'asse della valle ed al contatto con il plutone dell'Adamello, i cui termini prevalentemente granodioritici affiorano estesamente nel settore medio e superiore dei bacini dei torrenti Fa, Re e Cobello. Le rocce sedimentarie sono però ancora presenti alla testata della valle del Re ed al fondo e lungo il fianco sinistro della Valle di Stabio, dove sono complessivamente disposte con giacitura subverticale e direzione parallela all'asse della valle.

## **2b - SUBSTRATO ROCCIOSO**

La descrizione delle caratteristiche litologiche delle unità del substrato roccioso è fatta seguendo l'ordine di età dalla formazione più antica a quella più recente. Nelle zone poste in prossimità del limite con le rocce magmatiche del plutone dell'Adamello le rocce sedimentarie hanno subito processi di metamorfismo di contatto di intensità direttamente proporzionale alla vicinanza con il limite stesso. Le rocce originarie sono state trasformate in una notevole varietà di tipi litologici caratterizzati dalla presenza di molte specie di minerali di neoformazione che rendono quest'area di significativo interesse dal punto di vista petrografico e mineralogico.

### *2b.1. Calcere di Angolo*

Questa formazione affiora estesamente alla base del versante sinistro della Val Camonica, subito a monte dell'abitato di Niardo, ed in corrispondenza del versante sinistro della Val di Stabio. In entrambe le aree la formazione è costituita da calcari e calcari marnosi di colore grigio scuro o nero, a stratificazione molto sottile, con sottili interstrati di marne ed argilliti nere. Localmente compaiono banchi calcarei. Spesso le superfici di

*Relazione illustrativa.*

stratificazione presentano un aspetto molto ondulato. In prossimità del limite con le rocce del plutone dell'Adamello i litotipi presentano gradi variabili di metamorfismo con passaggio da zone parzialmente ricristallizzate con calcefiri a zone fortemente ricristallizzate con livelli di marmi cristallini biancastri alternati a livelli di cornubianiti verdi o rosse contenenti fassaite e granato e talora vesuviana ed epidoto.

I litotipi appartenenti a questa unità testimoniano un ambiente di sedimentazione marino di zona bacinale. La formazione appartiene all'Anisico medio-inferiore.

#### *2b.2 Calcare di Prezzo*

Il Calcare di Prezzo affiora nel tratto intermedio del bacino dei torrenti Fa e Re e sul fondo e sul versante sinistro della Val di Stabio.

Questa unità è rappresentata da un'alternanza di strati calcareo-marnosi neri, di spessore medio, e di livelli di pari spessore di marne e marne carboniose nere, sottilmente laminate. Questi litotipi sono spesso ricchi di fossili, rappresentati soprattutto da cefalopodi e lamellibranchi. Localmente, all'interno degli strati calcarei, si rinvengono piccoli cristalli cubici di pirite. Dove è stata interessata dal metamorfismo di contatto la formazione è rappresentata da marmi saccaroidi alternati a cornubianiti verdi o rosse contenenti fassaite e granato e talora vesuviana ed epidoto.

L'unità del Calcare di Prezzo è indicativa di sedimentazione marina, all'interno di un bacino relativamente profondo e caratterizzato da condizioni riducenti. La formazione è dell'Anisico superiore.

#### *2b.3. Calcare di Buchenstein*

Questa unità affiora in località Bisone, in corrispondenza tra lo spartiacque tra la valle del Fa e la valle del Re, e lungo il fondo ed il fianco sinistro della Val di Stabio. La formazione è costituita da calcari e calcari debolmente marnosi di colore grigio scuro o nero, in strati di spessore medio separati da sottili intercalazioni di marne argillose nere. All'interno degli strati calcarei compaiono dei noduli o, meno frequentemente, delle sottili liste di selce scura; a volte i noduli sono silicizzati solamente al bordo. Spesso la presenza dei noduli conferisce alle superfici di stratificazione un caratteristico aspetto budinato. Alla base della formazione compaiono delle intercalazioni di calcareniti, arenarie e siltiti di colore verde o grigio-verdi in strati di spessore medio. Le facies metamorfiche di contatto sono piuttosto ricche e rappresentate da livelli di calcari saccaroidi e calcefiri alternati a cornubianiti con diopside, granato e biotite. Il Calcare di Buchenstein rappresenta un ambiente sedimentario di mare relativamente profondo ed appartiene al Ladinico inferiore.

#### *2b.4. Formazione di Wengen*

Questa formazione affiora in località Bisone, in corrispondenza tra lo spartiacque tra la valle del Fa e la valle del Re, e lungo il fondo ed il fianco sinistro della Val di Stabio. L'unità è rappresentata da marne e marne calcaree di colore grigio o nero, disposte in grossi banchi laminati, intercalate da strati medi di calcareniti ed arenarie grigio o nere o da banchi di siltiti grigie o grigio-verdi. Nella parte alta della formazione si trovano anche marne calcaree nere, in banchi rinsaldati, intercalate a calcari neri, in strati spessi o in banchi, contenenti vene di calcite bianca.

Nella zona di metamorfismo di contatto i litotipi appartenenti alla formazione di Wengen sono costituiti da cornubianiti con biotite prevalente, cornubianiti con granato e diopside e da subordinati calcefiri. La formazione

rappresenta condizioni di sedimentazione marina corrispondenti alla zona di transizione tra la scarpata continentale e la sua base. L'età della formazione è attribuita al Ladinico superiore.

#### *2b.5. Argillite di Lozio*

Questa formazione affiora in località Bisone, nella zona del Dosso Meraviglia, in modo esteso nel settore orientale della linea di cresta del Monte Alta Guardia e localmente sul versante sinistro dell'alta Val di Stabio. In tutte le zone di affioramento l'unità è metamorfosata e rappresentata da cornubianiti ricche in biotite di neoformazione. Le rocce originarie, rappresentate da argilliti e siltiti di colore nero testimoniano una sedimentazione marina in un bacino a scarsa circolazione con condizioni riducenti. La formazione è attribuita al Ladinico superiore.

#### *2b.6. Calcare di Esino*

Alla formazione del Calcare di Esino sono stati attribuiti, i termini sedimentari metamorfosati per contatto presenti a monte nella linea di cresta che separa la valle del Re dalla Valle di Stabio, nel tratto a monte della zona del Dosso Meraviglia, ed i termini presenti sul fianco sinistro dell'alta Val di Stabio. Si tratta principalmente di marmi saccaroidi bianchi e subordinatamente di calcefiri a diopside e livelli di granatiti. In relazione al forte metamorfismo l'attribuzione di questi litotipi è relativamente difficile: nel Foglio Breno della Carta Geologica d'Italia sono stati attribuiti al Calcare di Esino e quindi considerati di età Ladinica mentre da altri autori (Brack, 1985) sono stati considerati di età carnica. In relazione alla netta prevalenza di marmi puri si tratta in ogni caso di rocce che testimoniano un ambiente sedimentario marino di piattaforma carbonatica.

#### *2b.7. Dolomia Principale*

Diversi autori concordano nell'attribuire alla formazione della Dolomia Principale i termini metamorfosati che costituiscono la sommità del tratto di cresta compresa tra il monte Stabio ed il monte Frerone, alla testata della Val di Stabio. Si tratta di marmi saccaroidi di composizione calcarea e calcareo-dolomitica accompagnati a subordinati calcefiri a diopside ed epidoto. Da un punto di vista strettamente mineralogico questi termini potrebbero derivare anche dal metamorfismo dei calcari e dei calcari dolomitici della Formazione di Breno. Se attribuite alla Dolomia Principale l'età di queste rocce è Norica. In ogni caso testimoniano un ambiente di sedimentazione di piattaforma carbonatica.

#### *2b.8. Tonalite, granodiorite, e diorite dell'Adamello*

Le rocce appartenenti al plutone dell'Adamello sono rappresentate prevalentemente da tonaliti e solo subordinatamente da granodioriti e dioriti. Si tratta in tutti i casi di rocce granulari a tessitura olocristallina a grana generalmente media.

Le tonaliti sono costituite in quantità paragonabili da minerali chiari e scuri: i minerali chiari sono rappresentati principalmente da plagioclasio, di composizione tra labradorite ed andesina, subordinato quarzo e raro ortoclasio; i minerali scuri sono rappresentati da orneblenda e, in percentuale variabile, da subordinata biotite. La grana delle tonaliti è media o medio-minuta.

Le granodioriti si trovano esclusivamente in corrispondenza della linea di cresta che separa la valle del torrente Re dalla Valle del torrente Palobbia, nel tratto compreso tra il monte Frerone ed il monte Mezzullo. Nella granodiorite i minerali chiari sono prevalenti rispetto a quelli scuri: è costituita prevalentemente da plagioclasio e

quarzo con poco ortoclasio mentre la biotite è nettamente prevalente sull'orneblenda. La grana è generalmente media.

Le dioriti sono presenti sia lungo il versante sinistro della Val di Stabio sia nella zona del Dosso Cochet, dove costituiscono una grossa fascia disposta trasversalmente all'asse delle valli dei torrenti Cobello e Re. Le dioriti sono costituite in netta prevalenza da minerali scuri: principalmente da orneblenda mentre i minerali chiari sono rappresentati da plagioclasio labradoritico e poco quarzo. La grana delle dioriti è in genere medio-minuta.

#### *2b.9. Filoni di apliti, tonaliti, dioriti*

Nella zona prossima al contatto con il plutone dell'Adamello le rocce sedimentarie sono attraversate da filoni di rocce magmatiche costituiti sia da tipi poco differenziati sia da tipi ben differenziati rispetto alla composizione delle rocce del plutone. Filoni poco differenziati costituiti in prevalenza da microtonaliti e subordinatamente da microdioriti sono presenti soprattutto nel tratto inferiore delle valli Fa, Cobello e Re. Questi filoni sono in genere subverticali e raggiungono potenze dell'ordine di una decina di metri; spesso sono disposti parallelamente all'andamento locale del limite del plutone.

Filoni differenziati in senso leucocratico sono rappresentati dalle apliti presenti nella zona del monte Zincone e sul versante sinistro della Val di Stabio. Le apliti sono costituite principalmente da plagioclasio con subordinati ortoclasio e quarzo.

#### *2b.10. Filoni di porfiriti*

La maggior parte delle rocce filoniane a differenziazione melanocratica è presente nella zona della Val di Stabio e lungo la linea di cresta che separa la valle del Re di Niardo dalla valle del torrente Palobbia. Questi filoni sono in genere subverticali ed hanno una potenza variabile da 0.2 a circa 1 m. Sono rappresentati principalmente da porfiriti anfibolico-pirosseniche od orneblendico-plagioclastiche. Le porfiriti presenti entro le rocce sedimentarie nella zona della Costa di Val Bona e nell'area del monte Frerone non sono tutte legate al plutone dell'Adamello ma in alcuni casi rappresentano il risultato di un'attività più antica, probabilmente di età medio-triassica, ed appaiono manifestamente ricristallizzate.

## **2c - DEPOSITI SUPERFICIALI**

Nell'ambito dei depositi superficiali sono state distinte diverse unità essenzialmente sulla base della genesi dei depositi.

Nella carta geologica, in ragione della scala della carta, le unità definite in base ai caratteri genetici non sono state suddivise in relazione ad altri criteri mentre nella carta litologica di dettaglio sono state distinte più unità sulla base dell'età dei depositi.

La copertura dei depositi superficiali nel territorio comunale di Niardo ha una distribuzione legata direttamente alla configurazione morfologica: nei settori posti alle quote più elevate prevalgono i depositi di origine glaciale associati a depositi detritici legati alla gravità mentre il settore di fondovalle è occupato principalmente dai depositi alluvionali del fiume Oglio e dai depositi dei conoidi alluvionali dei maggiori corsi d'acqua laterali.

### *2c.1. Deposito glaciale*

Questa unità è rappresentata esclusivamente da depositi antichi perchè l'area esaminata non comprende zone attualmente interessate dall'attività glaciale. Con il termine di deposito glaciale sono stati indicati sia i depositi glaciali propriamente detti (till), proglaciali, sopraglaciali e subglaciali, sia i depositi di contatto glaciale sia i depositi glaciolacustri, ossia tutti quei materiali legati principalmente all'attività deposizionale dei ghiacciai che hanno occupato in passato le aree in esame. La scelta di raggruppare in una sola unità sedimenti che in alcuni casi sono molto diversi tra loro è stata condizionata dalla netta prevalenza dei depositi glaciali di ablazione e dalle oggettive difficoltà di rappresentazione cartografica degli altri depositi che, nella maggior parte dei casi, affiorano solo in aree molto limitate. I depositi glaciali presenti nel territorio del comune di Niardo sono legati sia all'attività deposizionale delle lingue glaciali che traevano alimentazione dalle zone di circo corrispondenti alle testate delle valli dei torrenti Fa e Re e Val di Stabio, sia all'attività deposizionale della lingua glaciale che occupava il solco vallivo del fiume Oglio.

Alla testata delle valli secondarie sono ben evidenti i cordoni morenici lasciati dalle lingue di ghiaccio di età würmiana che si raccordavano alla lingua del fondovalle dell'Oglio; in posizione interna a questi cordoni sono invece evidenti i cordoni morenici che testimoniano le fasi di ritiro della glaciazione e, alle quote superiori, i cordoni morenici e nivomorenici relativi all'attività successiva, fino ai nevai di età storica. Questi depositi sono costituiti principalmente da materiale di ablazione deposto in seguito alla fusione del ghiaccio; si tratta in genere di diamicton ovvero di sedimenti formati da blocchi, ciottoli e ghiaia in matrice di sabbia, limo e argilla, con supporto clastico o supporto di matrice e con clasti in genere poco arrotondati. Localmente, soprattutto al fondo della valle del Re e della valle di Fa, al raccordo tra la zona di circo ed il tratto inferiore del bacino, si trovano coltri di depositi glaciali di fondo che hanno una composizione granulometrica simile ai depositi di ablazione, ma essendo stati deposti sotto il ghiacciaio sono caratterizzati da un discreto grado di consolidazione.

I depositi glaciali legati alla lingua principale della valle dell'Oglio sono presenti in modo relativamente esteso su tutto il versante sinistro della valle ed in particolare alla base del versante, dove costituiscono una coltre relativamente potente e sono organizzati in terrazzi morfologici. Nella parte superiore e media del versante prevalgono i depositi di ablazione caratterizzati da un grado di addensamento da medio a basso mentre nella parte inferiore si ritrovano sedimenti caratterizzati da un buon grado di consolidazione, rappresentati principalmente da depositi fluvioglaciali e da materiale di fondo.

I depositi fluvioglaciali rappresentano i sedimenti connessi al rimaneggiamento dei materiali di origine glaciale dovuti all'azione di erosione, trasporto e deposizione operata dalle acque di fusione dei ghiacci ed hanno caratteri granulometrici e tessiture del tutto simili a quelli dei sedimenti alluvionali. Lembi di depositi fluvioglaciali, deposti probabilmente in posizione subito esterna rispetto alla lingua glaciale, costituiscono buona parte dei terrazzi morfologici posti alla base del versante.

In corrispondenza delle scarpate di erosione poste a monte del settore apicale del conoide del torrente Cobello sono presenti depositi fluvioglaciali rappresentati principalmente da orizzonti di ciottoli e ghiaia a volte ben cementati.

### *2c.2. Depositi detritici di versante*

I depositi detritici di versante sono dovuti principalmente all'azione della gravità e si originano dall'accumulo del materiale derivante dalla degradazione delle pareti rocciose. Questi depositi sono organizzati in falde o conici di detrito alla base delle pareti rocciose: falde quando l'area di alimentazione è rappresentata da una parete a sviluppo lineare più o meno ampio, conici quando la zona di alimentazione è relativamente ristretta perchè posta in corrispondenza di una rientranza o di un'incisione. I depositi detritici di versante sono rappresentati da sedimenti sciolti, a supporto clastico o, meno frequentemente a supporto di matrice, costituiti da clasti a spigoli vivi con una percentuale variabile di matrice. Questi depositi appaiono generalmente costituiti da orizzonti, spesso mal definiti, i cui clasti presentano talora il piano contenente gli assi maggiori disposto parallelamente al profilo del versante. Le dimensioni dei clasti aumentano inoltre dalla zona prossimale verso la zona distale del deposito. La dimensione media dei clasti dipende soprattutto dalla composizione e dallo stato di fratturazione degli ammassi rocciosi da cui provengono. Questi depositi sono contraddistinti in genere da una media permeabilità e da discrete caratteristiche meccaniche variabili in relazione alla granulometria, allo stato di addensamento ed al grado di alterazione. Nelle zone poste alle quote più elevate, alla testata delle valli del Cobello, del Re, del Fa e della Val di Stabio, dove le condizioni climatiche esistenti favoriscono i processi di alterazione della roccia determinando una continua alimentazione degli accumuli, i depositi detritici non sono in genere colonizzati dalla vegetazione perchè l'alimentazione e, talora, le condizioni climatiche stesse ne impediscono l'attecchimento.

Dove l'alimentazione degli accumuli ha un carattere prevalentemente episodico sono presenti depositi detritici parzialmente colonizzati dalla vegetazione. Con l'impostarsi della copertura vegetale la superficie del deposito viene progressivamente interessata dai fenomeni di alterazione connessi alla pedogenesi che determinano la formazione di un vero e proprio suolo.

Nelle zone poste a quote inferiori i depositi detritici di versante sono in genere ben colonizzati dalla vegetazione sono spesso caratterizzati dalla presenza di un orizzonte superficiale pedogenizzato caratterizzato da una granulometria relativamente fine, con abbondanza di matrice costituita da sabbia, limo e argilla in proporzioni variabili in funzione dell'evoluzione della pedogenesi e della composizione originaria dei clasti. Anche i depositi colonizzati possono comunque essere interessati, meno frequentemente, da episodi di alimentazione.

Localmente è stata rilevata la presenza di orizzonti detritici di versante caratterizzati dalla presenza di fenomeni di cementazione dei clasti. La genesi di questi fenomeni è legata alla circolazione di acque ricche in carbonato di calcio che, evaporando, hanno depositato parte del sale disciolto. Questi orizzonti sono presenti soprattutto sui fianchi della valle del torrente Cobello, all'altezza del tratto apicale del conoide dove le rocce ed i depositi detritici sono di composizione carbonatica.

### *2c.3. Deposito di conoide alluvionale*

I conoidi alluvionali sono depositi dalla tipica forma a ventaglio che i corsi d'acqua formano quando incontrano una sensibile diminuzione del gradiente topografico e subiscono una diminuzione della velocità e quindi della capacità di trasporto della corrente. Questa situazione si verifica soprattutto alla base dei versanti vallivi alla confluenza dei corsi d'acqua laterali. I conoidi sono costituiti da depositi sciolti, con clasti generalmente

*Relazione illustrativa.*

arrotondati le cui dimensioni diminuiscono dall'apice del conoide verso la zona distale, in relazione alla progressiva diminuzione della velocità della corrente. Le dimensioni medie dei clasti dipendono soprattutto dalle caratteristiche idrauliche dei corsi d'acqua. In ragione delle condizioni di energia si possono avere depositi da trasporto di corrente trattiva o depositi da trasporto in massa: gli orizzonti legati ai fenomeni di trasporto in massa sono generalmente costituiti da clasti di varie dimensioni con una percentuale variabile di matrice, che può diventare anche prevalente, mentre i depositi da corrente trattiva sono invece classati, con una composizione granulometrica relativamente ristretta.

Il settore di fondovalle del territorio del comune di Niardo coincide con i conoidi alluvionali dei torrenti Fa, Re e Cobello. Data la relativa vicinanza, le zone di deposizione dei tre torrenti si sono in parte sovrapposte ed i conoidi sono entrati in coalescenza. In ragione del carattere torrentizio dei tre corsi d'acqua e della situazione morfologica dei relativi bacini, i tre conoidi sono costituiti da depositi a granulometria relativamente grossolana in cui prevalgono i livelli da trasporto in massa. Nel settore apicale i depositi di questi conoidi sono rappresentati in prevalenza da orizzonti costituiti da massi e ciottoli; nel settore intermedio la granulometria è rappresentata in prevalenza da ciottoli e ghiaie mentre passa a ghiaie e sabbie nella parte distale. Al limite con la piana alluvionale dell'Oglio sono presenti dei depositi costituiti da sabbie limose che rappresentano eventi di sedimentazione fine, a tratti da piana di decantazione, legati sia ad apporti di conoide sia a fenomeni di esondazione dal fiume Oglio.

Conoidi alluvionali di dimensioni minori sono presenti anche alla testata della Val di Stabio e della valle del torrente Re: in alcuni casi si tratta di forme miste che a seconda delle condizioni ricevono alimentazione anche da fenomeni gravitativi o da valanghe. Da un punto vista granulometrico sono costituiti principalmente da ciottoli e ghiaia nella zona prossimale e ghiaia con sabbia nella zona distale.

In corrispondenza delle scarpate di erosione poste subito a monte del settore apicale destro del conoide del torrente Cobello, a contatto con il substrato roccioso sono presenti dei depositi alluvionali costituiti da ciottoli e ghiaia ben cementati che, anche in ragione dell'inclinazione dei livelli, potrebbero rappresentare un antico deposito di conoide alluvionale.

#### *2c.4. Depositi alluvionali*

I depositi alluvionali sono costituiti dal materiale deposto dai corsi d'acqua lungo il proprio alveo e nelle zone di pertinenza. Si tratta pertanto di sedimenti clastici legati essenzialmente all'azione trattiva della corrente. I clasti sono in genere ben arrotondati e la loro dimensione media dipende dalla velocità della corrente che li ha deposti. La granulometria di questi sedimenti può quindi variare nello spazio, in funzione di parametri quali il gradiente topografico locale e l'apporto dei corsi d'acqua tributari, e nel tempo, in relazione al succedersi delle fasi di piena e di magra ed alla loro intensità. Nella carta geologica, in relazione alla scala, sono stati rappresentati solo i lembi maggiori, presenti lungo l'alveo ed i tratti di piana dei principali corsi d'acqua. I depositi alluvionali sono stati distinti in alluvioni attuali ed in alluvioni recenti. Le alluvioni attuali corrispondono ai depositi alluvionali presenti in corrispondenza dell'alveo dei corsi d'acqua. Lungo uno stesso corso d'acqua si assiste in media ad una progressiva diminuzione della granulometria da monte verso valle. Si tratta in genere di depositi che nelle zone a maggior energia della corrente sono costituiti da massi, ciottoli e ghiaia e che, con il diminuire della velocità, passano a ciottoli, ghiaia e sabbia, fino a sole ghiaia e sabbia. Questi materiali sono contraddistinti da un'elevata

permeabilità e da discrete caratteristiche meccaniche. I depositi alluvionali costituiscono la piana di fondovalle del fiume Oglio e sono presenti lungo gli alvei ed i tratti di piana dei principali corsi d'acqua.

I depositi alluvionali possono essere distinti in alluvioni attuali ed in alluvioni recenti.

*Alluvione attuale.* Le alluvioni attuali corrispondono ai depositi presenti in corrispondenza dell'alveo dei fiumi. Lungo il tratto di fiume Oglio compreso nel territorio del comune di Niardo, le alluvioni attuali sono costituite principalmente da ciottoli con massi e ghiaia organizzati principalmente in barre longitudinali, allungate secondo la direzione del corso d'acqua. Solo in fase di morbida, quando la velocità della corrente è minore sono deposte delle barre costituite da ghiaia e sabbia mentre in condizioni di magra, nei tratti meno ripidi, si ha anche deposizione di sabbia. Le alluvioni attuali presenti lungo l'alveo dei principali torrenti, in ragione della forte energia di trasporto legata all'elevata acclività della curva di fondo, presentano in genere una granulometria grossolana e sono costituite principalmente da massi e ciottoli con ghiaia.

*Alluvione recente.* Le alluvioni recenti sono costituite dai depositi che formano la piana alluvionale dei corsi d'acqua, in posizione esterna all'alveo attuale. Nella parte superficiale questi depositi hanno una granulometria relativamente fine e sono costituiti in genere da livelli di sabbia e di sabbia con limo, deposti in occasione dei fenomeni di esondazione. Livelli a granulometria molto fine, con sabbie e limo, si trovano soprattutto nel settore di piana di fondovalle posto in sponda sinistra dove la piana si interdigita con il settore distale dei conoidi alluvionale e dove si sono verificati anche fenomeni di sedimentazione di particelle fini per decantazione.

Al di sotto degli orizzonti superficiali anche i depositi recenti sono costituiti prevalentemente da ciottoli con ghiaia e massi.

Per quanto riguarda i corsi d'acqua secondari le alluvioni recenti sono sostanzialmente significative solo per il torrente della Val di Stabio dove sono presenti nei tratti di piana posti in corrispondenza dei ripiani dei gradini morfologici longitudinali. In questi tratti di piana, in ragione della forte energia del corso d'acqua, le alluvioni recenti sono costituite principalmente da orizzonti di ghiaia.

#### *2c.5. Deposito detritico-colluviale*

I depositi colluviali derivano dal trasporto e dall'accumulo lungo i versanti, ad opera della gravità o per il dilavamento delle acque meteoriche, dei materiali eluviali derivanti dalla degradazione della roccia in posto o dei terreni. Con questa voce sono stati indicati i depositi che costituiscono delle piccole falde poste alla base di alcuni tratti del versante posto a monte dell'abitato di Niardo. I tratti di versante in esame sono impostati principalmente nei depositi glaciali e la falda posta al piede è costituita dal materiale derivante da fenomeni di degradazione, creep, soliflusso, a piccole frane di colata o locali forme erosive da ruscellamento concentrato o diffuso, che hanno interessato soprattutto la coltre superficiale ed alterata dei depositi glaciali ai quali si sono aggiungono, localmente, anche frammenti derivanti dalla degradazione del substrato roccioso.

In ragione dei sedimenti da cui derivano e dai meccanismi di messa in posto, questi depositi sono caratterizzati da una granulometria relativamente fine, con blocchi, ciottoli e ghiaia immersi in abbondante matrice di sabbia e limo.

### 2c.6. *Materiale di riporto*

Con questa voce sono stati rappresentati in carta alcuni accumuli di materiale inerte, riportato artificialmente dall'uomo, che per le loro dimensioni assumono una relativa importanza morfologica. Gli accumuli di inerti di dimensioni maggiori si trovano nella zona di fondovalle e sono rappresentati dai terrapieni utilizzati per portare alcuni settori della piana alluvionale di fondovalle alla quota del terrazzo morfologico costituito dal settore distale dei conoidi alluvionali. Sull'accumulo maggiore, situato in prossimità del ponte della strada per Losine, è stato realizzato un campo sportivo. Questi accumuli sono costituiti da materiale derivante da scavi effettuati in zone limitrofe, e soprattutto dai lavori di scavo relativi agli interventi di sistemazione idraulica fatta lungo i tratti inferiori dei torrenti Re e Cobello. Gli accumuli sono pertanto costituiti soprattutto da materiale di conoide alluvionale.

## 3. ASPETTI GEOMORFOLOGICI

Nella *Carta Geomorfologica*, redatta alla scala 1:10.000 per tutto il territorio comunale, sono state rappresentate le forme fisiche del paesaggio intese come diretta manifestazione dei vari processi che coinvolgono la superficie. Le forme della superficie terrestre sono spesso dovute a processi legati al concorso ed alla sovrapposizione di diversi agenti morfologici la cui attività è orientata sia da fattori geologici, relativi alle condizioni litologiche e strutturali dei materiali coinvolti, sia da fattori climatici che possono accentuare di volta in volta l'importanza relativa di ciascun agente. Per la classificazione delle forme si è fatto riferimento alla legenda proposta in "*Criteri ed indirizzi relativi alla componente geologica nella pianificazione comunale secondo quanto disposto dall'art. 3 della L.R. 24 Novembre 1997, n. 41*", con alcune modificazioni apportate in relazione ad alcune situazioni specifiche riscontrate nel territorio di Niardo. Il criterio di base della classificazione adottata è strettamente genetico e le forme sono state quindi distinte in funzione del principale agente morfologico che le ha generate. Sono state quindi distinte forme legate principalmente all'azione all'azione della gravità, forme legate all'azione delle acque di dilavamento, non incanalate, e delle acque incanalate, alle quali sono legate le forme fluviali, oppure legate all'attività delle acque in condizioni climatiche particolari, con le forme glaciali e periglaciali. Sono state inoltre distinte le forme antropiche, legate alle varie attività umane.

In riferimento alla dinamicità che caratterizza il modellamento della superficie terrestre i vari elementi morfologici relativi a ciascuna classe sono stati distinti tra loro anche in funzione dello stato di attività dei processi responsabili. Le forme individuate nel corso del rilievo di campagna sono state quindi distinte in tre categorie:

- a) *inattive*: forme e depositi riferibili a condizioni morfodinamiche e climatiche differenti da quelle attuali e quelli che hanno portato a termine la loro evoluzione o che non possono più continuare ad evolversi;
- b) *quiescenti*: forme e depositi per i quali esistono evidenze geomorfologiche o testimonianze di attività nell'attuale sistema morfoclimatico;
- c) *attive*: le forme ed i depositi legati a processi in atto o ricorrenti a ciclo breve.

Il territorio di Niardo può essere suddiviso in settori sulla base degli elementi geomorfologici dominanti, rappresentativi della dinamica evolutiva prevalente.

*Relazione illustrativa.*

- *Settore delle testate delle valli secondarie* (valli di Fa, del Re e di Stabio): caratterizzato da una forte impronta glaciale relativa anche all'attività olocenica (successiva alla glaciazione würmiana e fino all'epoca storica); attualmente in questo settore sono ancora presenti delle forme nivali, ma le aree sono interessate principalmente da fenomeni legati alla dinamica gravitativa, con forme di accumulo alla base delle pareti rocciose soggette a degradazione, ed alla dinamica delle acque superficiali, con forme di erosione e locale deposizione;
- *Settore dei tratti medi ed inferiori delle valli secondarie* (valli di Fa, del Re e del Cobello): l'assetto morfologico deriva principalmente dal riequilibrio della curva di fondo dei corsi d'acqua all'abbassamento del livello locale dell'erosione provocato dal ritiro dei ghiacciai würmiani; attualmente sono interessati soprattutto dalla dinamica erosiva dei corsi d'acqua alla quale si accompagnano forme e processi legati alla gravità che interessano i fianchi vallivi.
- *Settore dei conoidi di fondovalle (conoidi del Fa, del Re e del Cobello)*: l'assetto morfologico è relativamente recente ed essenzialmente legato alle forme di accumulo ad opera dei corsi d'acqua la cui dinamica è ancora attiva, ma in buona parte mitigata da interventi di regimazione effettuati negli ultimi anni.
- *Settore della piana di fondovalle* (piana del fiume Oglio): l'assetto morfologico è legato alla dinamica recente del fiume Oglio, tuttora attiva soprattutto con forme di erosione.

Nel presente capitolo sono descritte singolarmente le voci della legenda e viene fornita un'interpretazione dei processi morfogenetici principali in relazione alla dinamica dei diversi settori.

### 3a - FORME, PROCESSI E DEPOSITI GRAVITATIVI DI VERSANTE

• Orlo di scarpata di degradazione e/o di frana. I fenomeni franosi sono rappresentati dai movimenti di masse di terra o di roccia formanti un pendio che avvengono verso il basso e verso l'esterno del pendio stesso. La nicchia di frana rappresenta la superficie di distacco delle masse interessate dal fenomeno. Le modalità di distacco e di moto delle masse coinvolte possono essere piuttosto varie in funzione soprattutto delle caratteristiche dei materiali.

In questa voce della legenda sono state inserite solamente le nicchie di frana legate agli eventi di maggiore entità, con una larghezza maggiore di 30 m, e legate a fenomeni di scorrimento planare o rotazionale, di colata od a frane complesse. Le forme legate a fenomeni di crollo, scorrimento o ribaltamento in roccia sono state invece inserite in un'altra voce della legenda.

La maggior parte dei fenomeni franosi presenti nel territorio in esame è legata a fenomeni di erosione laterale e di fondo esercitata da parte dei corsi d'acqua: per ragioni di leggibilità della carta le frane direttamente innescate dall'erosione al piede delle sponde non sono state rappresentate singolarmente, ma sono state comprese nella voce relativa all'orlo di scarpata d'erosione torrentizia, attiva o quiescente in ragione della situazione locale. In carta sono stati rappresentati singolarmente i fenomeni franosi che, originatisi per erosione al piede, si sono poi sviluppati come fenomeni gravitativi di versante indipendentemente dal procedere dell'erosione torrentizia. Rientrano in questa categoria le frane presenti in corrispondenza della sponda destra del torrente Re, a monte della centrale idroelettrica, all'altezza del tratto apicale del conoide. Si tratta di frane attivate inizialmente come

forme di scivolamento traslazionale a partire dall'erosione al piede del versante, che in questo settore è costituito da depositi glaciali ben addensati. Si sono quindi formate delle scarpate di frana relativamente ripide. Le frane si sono successivamente evolute sia con un arretramento locale dell'orlo di scarpata, provocato dalle acque di scorrimento superficiale che hanno creato dei solchi di ruscellamento, sia con continui fenomeni di degradazione superficiale, ad opera soprattutto delle acque meteoriche e dei cicli di imbibizione e disseccamento, che danno luogo a piccoli franamenti in corrispondenza del ciglio. Il procedere dei fenomeni di degradazione ha portato al formarsi di una falda detritico-colluviale al piede delle scarpate di frana. Poiché il deposito glaciale è caratterizzato dalla presenza di grossi massi, con volumi dell'ordine da 0.2 a 1 m<sup>3</sup>, la continua degradazione della scarpata provoca anche episodi di caduta di massi che possono facilmente raggiungere la strada disposta lungo l'argine del torrente. A difesa dai fenomeni di caduta massi sono state disposte alcune barriere paramassi che proteggono un tratto della strada. Per i particolari relativi alla barriere si rimanda al paragrafo relativo alle opere di difesa.

- Piccola frana non fedelmente cartografabile. In questa voce sono state inserite le nicchie manifestazioni morfologiche relative a fenomeni franosi di piccole dimensioni, aventi una larghezza della nicchia inferiore a 30 m, e che pertanto non potevano essere cartografate fedelmente alla scala del rilievo. Si tratta in genere di frane per scorrimento traslazionale in terra, meno frequentemente si hanno frane per colata; in alcuni casi i fenomeni franosi interessano anche zone in cui il substrato roccioso è fortemente fratturato e alterato e con comportamento simile a quello di un terreno. Nella maggior parte dei casi questi fenomeni si sviluppano in corrispondenza di tratti ripidi delle sponde dei torrenti, non più direttamente interessate dall'erosione al piede ma soggette a fenomeni di degradazione.

- Parete rocciosa interessata da fenomeni di crollo. I fenomeni franosi inseriti in questa voce sono rappresentati dalle forme di crollo intese in senso lato come distacco di volumi di materiale dalle pareti rocciose. Si tratta quindi sia di fenomeni di crollo vero e proprio che di fenomeni di ribaltamento e, in alcuni casi, di forme di scorrimento planare. Questi fenomeni sono condizionati, nel loro sviluppo e nella loro entità, dai caratteri litologici dei materiali coinvolti e dalle caratteristiche strutturali degli ammassi rocciosi interessati, ovvero dalla presenza di discontinuità, dalla loro geometria e dal loro comportamento meccanico. I crolli sono favoriti dall'alterazione e dall'azione disgregatrice degli agenti esogeni che provocano un deterioramento progressivo delle caratteristiche meccaniche del materiale roccia e delle superfici di discontinuità. Questi fenomeni sono più frequenti nelle aree poste a quote elevate, dove le condizioni climatiche esistenti possono accelerare i processi di alterazione e disgregazione, soprattutto quelli legati all'azione del gelo. Fenomeni di crollo, anche con volumetrie consistenti e dell'ordine del metro cubo, interessano diffusamente soprattutto le pareti rocciose poste alla testata delle valli di Fa, Re, Cobello e della Val di Stabio, e le pareti rocciose che costituiscono i fianchi delle forre degli stessi torrenti. In entrambi i casi i fenomeni non sono però stati cartografati singolarmente, ma sono state evidenziate come attive o quiescenti le falde di detrito poste alla base delle pareti rocciose e gli orli delle forre. Premesso che tutti gli ammassi rocciosi sono soggetti a fenomeni di degradazione, e quindi possono dar luogo a fenomeni di distacco, il simbolo è stato utilizzato per evidenziare alcune situazioni particolari rappresentate da pareti rocciose interessate da episodi di distacco di volumi rocciosi che per la loro posizione, a monte di strade o in prossimità di abitazioni, possono costituire un elemento di rischio maggiore.

• Area interessata da soliflusso generalizzato e/o da creep. Il soliflusso ed il creep rappresentano dei movimenti lenti che sotto l'azione della forza di gravità, coinvolgono i depositi detritici che ricoprono i versanti. Il soliflusso coinvolge in particolare i depositi caratterizzati da matrice limoso-argillosa prevalente che possono imbibirsi di acqua e diventare plastici, fluendo sotto l'azione della gravità. Questo fenomeno si può verificare anche su pendii a debole inclinazione. Il movimento è relativamente lento, dell'ordine di qualche decimetro l'anno, e determina il formarsi di lobi e ondulazioni sulla superficie dei versanti. A quote elevate il fenomeno può verificarsi in seguito alla saturazione del terreno che avviene in concomitanza del disgelo; in questo caso il movimento viene chiamato geliflusso. Il creep o reptazione è invece un movimento dovuto all'assestamento delle singole particelle che costituiscono i depositi ed avviene anch'esso molto lentamente, con spostamenti dell'ordine di pochi centimetri all'anno, e con velocità decrescenti dalla superficie verso le parti più interne del terreno. Le cause dell'assestamento delle singole particelle sono da ricercare nei cicli di gelo e disgelo, di umidificazione ed essiccazione, di dilatazione e contrazione termica, nell'azione delle radici dei vegetali oppure nell'azione degli animali che scavano il terreno. Può essere provocato anche dall'azione degli animali da pascolo o da attività antropiche come l'aratura. Questo fenomeno si manifesta con piccole scarpatine e decorticazioni del manto vegetale e può causare la crescita di alberi ricurvi che cercano di mantenere una posizione verticale opponendosi all'inclinazione provocata dal movimento del terreno. Sia il soliflusso che il creep possono, in situazioni particolari, evolversi in forme di maggior intensità determinando l'innescarsi di processi erosivi o di frane superficiali. I fenomeni di reptazione interessano principalmente l'orizzonte superficiale di alterazione dei depositi glaciali, con pendenze relativamente elevate, o le coltri di depositi eluviali e colluviali, anche con pendenze non eccessive. I fenomeni di reptazione sono diffusi soprattutto alla base del versante della Val Camonica, nel tratto posto subito a monte dell'abitato, e sui fianchi del tratto inferiore delle valli di Fa, Re e Cobello, dove è presente una copertura relativamente continua di depositi superficiali e dove le pendenze sono relativamente elevate. Forme di soliflusso e geliflusso sono localmente presenti nelle zone poste alle quote più elevate, alla testata della valle del Re ed in Val di Stabio, dove interessano depositi detritici od eluvio-colluviali. La presenza di questi fenomeni indica aree dove si hanno delicate condizioni di equilibrio dei terreni, almeno per la loro parte superficiale, e dove si possono sviluppare con maggior facilità fenomeni di erosione o di frana.

• Falda detritica. Le falde di detrito sono forme di deposito legate all'azione della gravità che derivano dall'accumulo, in forma di fasce continue poste alla base delle pareti rocciose, dei frammenti prodotti dalla degradazione dei versanti, in particolare dei versanti costituiti da pareti rocciose. Il materiale che si accumula alla base delle pareti si distribuisce in funzione del proprio peso ed i frammenti più grossolani raggiungono facilmente il piede dell'accumulo, mentre i frammenti minori si fermano alla sua sommità. L'inclinazione dell'accumulo dipende dal reciproco incastro dei frammenti, ovvero dalla loro forma e dalle loro dimensioni relative. La caduta di materiale sulle falde può causare l'instabilità dell'accumulo provocando dei fenomeni di franamento. La degradazione della roccia può provocare il distacco di piccoli frammenti o portare la mobilitazione di volumi consistenti: le volumetrie complessive e le dimensioni dei singoli frammenti dipendono dalle caratteristiche litologiche e strutturali degli ammassi rocciosi. Nel territorio di Niardo le maggiori volumetrie complessive competono in genere alle formazioni calcareo-marnose, più facilmente degradabili, come il Calcarea di Angolo, anche se i singoli frammenti sono di piccole dimensioni. A rocce meno degradabili, come le tonaliti, le granodioriti e le dioriti del plutone dell'Adamello, competono invece le dimensioni maggiori dei singoli blocchi che possono

raggiungere l'ordine di qualche metro cubo. Nel territorio di Niardo sono presenti principalmente falde di detrito attive o quiescenti. Le falde attive sono soggette a continua alimentazione, di intensità variabile secondo le stagioni, e si trovano nelle zone poste alle quote più elevate, alla testata della valle del Re e della Val di Stabio, dove le condizioni climatiche più rigide determinano una maggiore degradazione degli ammassi rocciosi. Le falde quiescenti sono invece interessate solo episodicamente da fenomeni di distacco e sono presenti in tutto il resto del territorio comunale, soprattutto nel settore intermedio delle valli di Fa, Re e Cobello

### 3b - FORME E DEPOSITI GLACIALI

• Orlo di circo. L'orlo di circo glaciale rappresenta il crinale che racchiude la zona di alimentazione delle lingue glaciali. La conformazione del circo glaciale è tendenzialmente semicircolare, con fondo ampio e fianchi ripidi. Nel corso dell'ultima glaciazione le valli di Fa, del Re e della Val di Stabio sono state sede di lingue glaciali la cui zona di alimentazione comprendeva l'intera testata delle valli, con la particolarità della valle del Re la cui testata era occupata da due lingue, una per il ramo principale di malga Ferone ed una per il ramo di malga Campadelli. Al termine della glaciazione würmiana le lingue glaciali si sono via via ritirate fino ad occupare solo una parte delle testate vallive. Piccole vedrette e nevai sono rimasti attivi anche in epoca storica, confinati in piccoli circhi glaciali posti alla testata delle valli, soprattutto in Val di Stabio che presenta circhi glaciali confinati sui quasi tutti i fianchi della testata della valle.

• Orlo di scarpata di erosione glaciale e/o gradino di valle glaciale. Nel loro movimento legato all'azione della forza di gravità i ghiacciai possono esercitare un'intensa azione erosiva, particolarmente evidente nel caso di ghiacciai vallivi che tendono ad approfondire e ad allargare il solco in cui scorrono, facendo assumere alle valli una conformazione caratteristica. Tipici delle valli glaciali sono la sezione trasversale ad "U", caratterizzata da fondo ampio e piatto e fianchi ripidi, e la sezione longitudinale a gradini, con tratti pianeggianti separati da ripide scarpate. Le valli di Fa e Re e la Val di Stabio sono state occupate completamente da ghiacciaio, quasi fino alla sommità delle creste, per cui sui loro fianchi mancano le rotture di pendenza che segnano il punto di massima altezza raggiunto dalle masse glaciali e, quindi, dalla loro azione erosiva. Solo in Val di Stabio, la cui testata ha dimensioni e quota media maggiori, si può distinguere, limitatamente al tratto di versante sinistro posto in corrispondenza della Costa di Val Bona, l'orlo di una spalla glaciale che separa il solco centrale dai circhi glaciali confinati nella parte superiore del versante stesso. Lungo la Val di Stabio sono invece ben evidenti i gradini morfologici che suddividono il profilo longitudinale della valle in tratti pianeggianti separati da scarpate relativamente ripide. Gradini longitudinali sono presenti subito a valle del Lago della Sorba, alla costa di Zucconi, all'altezza di malga Stabio di sopra, a monte ed a valle ed a valle di malga Stabio di sotto. Questi gradini sono in genere impostati in corrispondenza di variazioni litologiche o di lineamenti tettonici che hanno determinato la presenza di variazioni nella resistenza all'erosione lungo il percorso della massa glaciale. Nelle valli di Fa e del Re, i gradini longitudinali presenti rispettivamente a valle di Malga Sambuco per il Fa e di malga Campadelli di sotto e malga Ferone di sotto per i due rami del Re, rappresentano quasi dei gradini di valle sospesa in quanto

sono posizionati nel punto in cui le lingue di queste valli confluivano nella lingua principale della valle dell'Oglio, al momento della sua massima potenza.

- Arco e/o cordone morenico. I cordoni morenici rappresentano gli accumuli morfologicamente più evidenti collegati all'attività deposizionale dei ghiacciai. Il profilo trasversale di questi depositi è caratterizzato da una forma triangolare con cresta più o meno aguzza in relazione all'azione erosiva, operata successivamente alla deposizione, da parte degli agenti esogeni e quindi in funzione dell'età del deposito stesso. I cordoni morenici laterali sono caratterizzati da un profilo longitudinale pressoché rettilineo, parallelo ai fianchi della valle, mentre i cordoni morenici frontali presentano un andamento longitudinale arcuato, spesso suddiviso in più lobi tra loro contigui in relazione alla complessità morfologica della fronte glaciale. Nella valle di Fa e nella valle di Campedelli si possono osservare i cordoni morenici laterali relativi alle lingue glaciali che confluivano a valle del ghiacciaio dell'Oglio. Alle testate delle valli di Fa, Re e della Val di Stabio si osservano invece i cordoni morenici laterali e frontali relativi alle fasi finali della glaciazione würmiana ed i cordoni morenici e nivomorenici di epoca storica.

- Roccia montonata. Si definiscono rocce montonate le gobbe rocciose sagomate a dorso di montone secondo la direzione di movimento del ghiacciaio. Queste forme si osservano soprattutto al fondo dei circhi glaciali ed in corrispondenza degli orli delle scarpate dei gradini longitudinali. Rocce montonate sono ben evidenti alla testata della Val di Stabio mentre alla testata delle valli di Fa e del Re sono coperte dalla coltre di depositi glaciali e di detrito di versante.

- Orlo di terrazzo di kame. In un sistema glaciale vallivo i terrazzi di kame sono dei ripiani impostati sui cordoni morenici laterali e ciascun terrazzo segna la quota raggiunta dal ghiacciaio per un periodo sufficiente perché il materiale deposto dal ghiacciaio possa costituire il terrazzo stesso. Si tratta quindi di forme legate alla deposizione di materiale. I terrazzi di kame situati alle quote maggiori segnano pertanto la massime quote raggiunte localmente dal ghiacciaio mentre quelli poste a quote via via inferiori segnano le diverse fasi di stasi che hanno caratterizzato il ritiro del ghiacciaio. La maggior parte dei terrazzi morfologici glaciali presenti lungo i versanti della Val Camonica sono impostati direttamente nella roccia e rappresentano pertanto delle forme erosive: nella zona di Niardo, alla base del versante sinistro della valle, sono però presenti dei terrazzi morfologici impostati per buona parte entro depositi glaciali che rappresentano quindi dei terrazzi deposizionali di kame.

- Conca di sovraescavazione. L'erosione glaciale in corrispondenza dei ripiani morfologici longitudinali tende a volte ad approfondire il solco vallivo creando delle conche depresse rispetto all'orlo della scarpata posta a valle del gradino stesso: il fenomeno viene detto sovraescavazione ed è spesso legato alla forte energia erosiva che il ghiacciaio acquista per effetto delle brusche variazioni di pendenza determinate dalle scarpate che separano un ripiano dall'altro. Se l'erosione delle acque subglaciali o delle acque di fusione non ha inciso linearmente la soglia, le conche corrispondenti alle depressioni sono occupate da specchi lacustri. Conche di sovraescavazione sono ben evidenti alla testata della Val di Stabio, nella zona di Zucconi, una delle quali è occupata dal piccolo specchio d'acqua del Lago della Sorba. Lungo la Val di Stabio ed alla testata delle valli di Fa e del Re potrebbero essere presenti altre conche di sovraescavazione, sepolte sotto la coltre dei depositi superficiali.

### 3c - FORME, PROCESSI E DEPOSITI PER ACQUE CORRENTI SUPERFICIALI

• Cono alluvionale. I conoidi alluvionali (detti anche di deiezione) rappresentano le forme deposizionali che i corsi d'acqua formano quando incontrano, lungo il loro percorso, una sensibile diminuzione del gradiente topografico che provoca una diminuzione della velocità e quindi della capacità di trasporto della corrente. Questa situazione si verifica soprattutto alla base dei versanti vallivi alla confluenza dei corsi d'acqua laterali. Questi elementi presentano una tipica forma a ventaglio e le dimensioni del materiale deposto diminuiscono dall'apice del conoide verso la zona distale, in relazione alla progressiva diminuzione della velocità della corrente. Lungo i conoidi la posizione dell'alveo dei corsi d'acqua risulta relativamente instabile perchè il materiale deposto in corrispondenza dell'apice durante una piena può provocare una diversione del corso d'acqua all'arrivo della piena successiva.

Per il carattere torrentizio dei corsi d'acqua presenti nell'area in esame e per le condizioni geomorfologiche dei relativi bacini, la dinamica di queste forme è legata sia al succedersi di episodi di trasporto in massa, sotto forma di colate, sia all'azione di correnti trattive. In relazione alle condizioni geologiche del bacino di alimentazione i conoidi presenti nell'area rilevata possono essere caratterizzati dal verificarsi di episodi di trasporto in massa particolarmente violenti. Questi fenomeni si verificano in occasioni precipitazioni di forte entità, sia come durata sia come intensità, per cui si hanno portate idriche in grado non solo di mobilitare il materiale presente in alveo, perchè deposto al calare di piene minori o accumulatosi per degradazione dei versanti o portato dai corsi d'acqua laterali, ma anche di erodere nuovo materiale dal fondo e dalle sponde. In queste occasioni il trasporto solido dei corsi d'acqua può essere incrementato anche da fenomeni di erosione o di frana lungo i versanti. Il risultato complessivo è dato da piene con elevato trasporto solido che raggiungono il conoide dando luogo a fenomeni di esondazione. Dal punto di vista morfologico, nell'ambito del territorio comunale di Niardo si devono distinguere i conoidi alluvionali situati a quote elevate, alla testata della valle del Re e della Val di Stabio, dai conoidi di fondovalle dei torrenti Fa, Re e Cobello.

I conoidi alluvionali posti alla testata delle valli del Re e della Val di Stabio sono forme relativamente giovani ed ancora in via di formazione: i fenomeni di esondazione possono quindi interessare tutta la superficie del conoide anche se in genere si limitano a settori più o meno ampi. Solo i conoidi posti subito a valle di Zucconi, in Val di Stabio, sono da considerare attivi e soggetti stagionalmente a fenomeni di esondazione e deposizione. Gli altri conoidi posti alla testata delle valli sono invece quiescenti e interessati da fenomeni di esondazione solo in occasione di eventi che si verificano ad intervalli di tempo superiori al ciclo stagionale.

I conoidi alluvionali di fondovalle dei torrenti Fa, Re e Cobello, sono forme relativamente antiche, nell'ambito delle quali, da un punto di vista della dinamica morfologica, si deve distinguere il comportamento del settore apicale da quello dei settori medio e distale. Nei settori apicali di questi conoidi i corsi d'acqua hanno iniziato ad erodere i propri depositi e scorrono in alvei relativamente incassati rispetto alle zone adiacenti: i settori apicali dei conoidi, all'incirca a monte di quota 400 m, sono quindi da considerare come inattivi e non più soggetti a fenomeni di esondazione e deposizione di materiale da parte dei corsi d'acqua. Nei settori medio e distale l'alveo dei corsi d'acqua si trova invece a quote paragonabili alle zone circostanti che pertanto sono ancora potenzialmente raggiungibili da fenomeni di esondazione. Nel settore distale la deposizione di materiale da parte dei conoidi è

contrastata dall'erosione da parte del fiume Oglio in una continua alternanza dei due fenomeni che determina la presenza di una fascia dove prevale di volta in volta l'attività dell'uno o dell'altro. Il settore distale dei conoidi si trova leggermente sospeso rispetto alla piana di fondovalle, dalla quale è separato da una scarpata di erosione fluviale dell'altezza di 3-4 m: questa scarpata segna un periodo nel quale l'attività erosiva del fiume è prevalsa sull'attività deposizionale dei torrenti. Attualmente l'attività erosiva del fiume prosegue: in corrispondenza della confluenza del Re e del Cobello l'erosione interessa soprattutto la sponda destra mentre interessa la sponda sinistra destra in corrispondenza della confluenza del Fa: questa conformazione indica una maggiore attività deposizionale recente da parte del Re e del Cobello che stanno estendendo la propria zona distale nella piana alluvionale recente dell'Oglio, tanto da obbligare il fiume a scorrere il più possibile a ridosso della sponda opposta.

Dal punto di vista dell'evoluzione morfologica il settore medio e distale dei conoidi dei torrenti Fa, Re e Cobello è da considerare quiescente: diversa è però la valutazione complessiva di queste forme se si tiene conto delle opere di regimazione realizzate recentemente. Subito a monte della zona apicale dei tre torrenti e, per il Fa, anche in corrispondenza del tratto apicale, sono state realizzate delle opere per contenere i fenomeni di trasporto solido. Le opere sono rappresentate da briglie selettive in grado di trattenere la maggior parte del trasporto solido di piene anche a carattere eccezionale per cui, se queste opere sono mantenute in efficienza, il trasporto solido verso il settore dei conoidi è molto contenuto. Per i torrenti Re e Cobello è stata fatta anche la sistemazione nel tratto medio distale del conoide per cui gli alvei sono ora in grado di contenere portate dell'ordine della massima piena stimata per un tempo di ritorno di 100 anni. In ragione delle opere di sistemazione i conoidi dei torrenti Re e Cobello sono stati indicati interamente inattivi, non più soggetti a fenomeni di esondazione con significativo trasporto solido, ma, limitatamente a parti dei settori medi ed inferiori, potenzialmente soggetti a fenomeni di esondazione senza trasporto al fondo eccessivo. E' stato invece indicato come quiescente l'intero settore medio ed inferiore del conoide del torrente Fa in ragione della presenza di tratti di alveo e di attraversamenti con sezioni insufficienti a garantire il deflusso di portate inferiori alla massima piena stimata per un tempo di ritorno di 100 anni e per la possibilità di fenomeni di esondazione con sensibile trasporto di fondo.

Per i dettagli relativi agli aspetti idraulici si rimanda ai paragrafi successivi. **Si tiene a sottolineare che la definizione dello stato di attività morfologica dei conoidi di fondovalle dei torrenti Fa, Re e Cobello, è stata fatta sulla base di una valutazione complessiva che tiene conto anche della presenza delle opere di sistemazione: questa definizione è quindi legata all'efficienza delle opere e qualora questa dovesse venire meno per danni o mancata manutenzione gli interi settori medio ed inferiori dei tre conoidi sono da ritenere quiescenti (in accordo con lo stadio evolutivo riscontrato) e potenzialmente soggetti a fenomeni di esondazione di forte intensità.**

• Cono di origine mista. Con questa voce sono stati indicati alcune forme presenti alla testata della valle del torrente Re che hanno la caratteristica di essere legate a fenomeni di accumulo legati a processi differenti. In ragione delle condizioni morfologiche locali si tratta infatti di forme intermedie tra conoide alluvionale e cono detritico di versante in quanto possono essere alimentate sia da piene con trasporto solido o fenomeni di colata sia dal distacco di materiale dalle pareti rocciose sia da materiale portato dalle valanghe.

- Alveo con tendenza all'approfondimento. I corsi d'acqua possono esercitare un'intensa attività erosiva di fondo ed approfondire in questo modo il proprio alveo. La presenza e l'intensità dei fenomeni erosivi di fondo lungo uno stesso corso d'acqua possono variare nel tempo in funzione delle variazioni del livello di base dell'erosione prodotte da cause naturali o artificiali. Tutti i corsi d'acqua presenti nel territorio comunale sono interessati, in modo più o meno intenso, da fenomeni di erosione di fondo e questa situazione è sostanzialmente legata al riequilibrio, tuttora in corso, rispetto alla variazione del livello di base dell'erosione provocato dal ritiro dei ghiacciai würmiani.

L'intensità dei fenomeni erosivi è minore lungo il corso del fiume Oglio, dove le variazioni della curva di fondo sono legate ad una situazione complessa in cui entrano in gioco anche gli interventi antropici. Attualmente è evidente la tendenza all'erosione di fondo lungo tutto il tratto di alveo compreso nel territorio comunale, sia a monte sia a valle della traversa posta in prossimità del ponte della strada per Losine. Di notevole intensità è l'erosione di fondo che si manifesta lungo i corsi d'acqua secondari le cui valli, all'epoca del ritiro dei ghiacciai erano rimaste sospese rispetto al fondovalle dell'Oglio. L'attività erosiva si esplica con maggiore intensità dove è maggiore la pendenza della curva di fondo e si manifesta con maggior evidenza dove l'alveo è impostato nei depositi superficiali.

- Orlo di scarpata d'erosione fluviale o torrentizia. L'azione erosiva esercitata dalle acque incanalate si esplica non solo nei confronti del fondo dell'alveo, ma anche nei confronti delle sponde ed in tal caso si parla di erosione laterale. Quest'azione provoca l'asportazione di materiale dalle sponde con la formazione di scarpate di erosione. In corrispondenza delle scarpate, l'attività può essere continua oppure episodica e legata al succedersi delle fasi di piena e di magra del corso d'acqua. L'erosione esercitata al piede delle sponde può a volte provocare, a causa della rimozione di materiale e quindi della mancanza di sostegno, l'instaurarsi di condizioni di instabilità con conseguente franamento delle sponde. L'azione erosiva, per effetto della forza centrifuga, è maggiore lungo le sponde esterne delle sinuosità.

Erosione laterale quiescente interessa buona parte delle sponde del fiume Oglio: il fenomeno è attualmente meno evidente nel tratto posto a valle del ponte della strada per Losine, dove è stata recentemente risagomata la sponda.

L'erosione laterale è diffusa lungo le sponde dei corsi d'acqua secondari ed in particolare nel tratto intermedio dei torrenti Fa e Cobello, dove le sponde sono impostate in depositi superficiali.

Dal punto di vista della dinamica morfologica dell'area, ed in particolare dei rapporti tra conoidi dei corsi d'acqua secondari e piana alluvionale dell'Oglio, è importante segnalare la presenza di una scarpata di erosione fluviale, ora in buona parte inattiva, che tronca il settore distale dei conoidi del Fa, Re e Cobello. Questo elemento morfologico testimonia una fase in cui l'erosione del fiume Oglio ha prevalso nettamente sull'attività deposizionale dei conoidi: attualmente prosegue attivamente l'erosione di fondo lungo il fiume Oglio e, a valle della scarpata di erosione descritta, la piana è in parte soggetta a deposizione da parte dei conoidi, soprattutto dei torrenti Re e Cobello.

- Forra. Al ritiro dei ghiacciai würmiani, poichè la lingua glaciale della Val Camonica aveva approfondito di più il proprio solco rispetto alle lingue di ghiaccio provenienti dalle valli laterali: le valli laterali sono quindi rimaste

sospese rispetto alla quota del fondovalle dell'Oglio. Questa situazione ha generato un'intensa attività erosiva da parte dei corsi d'acqua, tesi a riequilibrare la propria curva di fondo al nuovo livello di base. I corsi d'acqua laterali, come il Fa, il Re ed il Cobello hanno quindi approfondito linearmente il proprio alveo anche entro il substrato roccioso. Si sono create in questo modo le forre rocciose che costituiscono i tratti inferiori dei tre torrenti. Queste forme sono state considerate quiescenti perchè prosegue, sia pure lentamente, l'erosione da parte del torrente. L'approfondimento del solco comporta la rimozione di sostegno alla base delle sponde e di conseguenza il riequilibrio della geometria delle sponde: questo fenomeno comporta forme di degradazione degli ammassi rocciosi che costituiscono i fianchi della forra, con episodi più o meno consistenti di franamento, e, alla sommità dei fianchi, anche fenomeni di frana o di erosione entro i depositi superficiali che ricoprono i versanti.

• Vallecola con fondo a V. Le linee di impluvio confluenti nei corsi d'acqua principali sono in genere caratterizzate da una sezione trasversale molto incisa che denuncia la forte tendenza all'erosione di fondo legata alla forte pendenza media dei versanti. L'attività erosiva di queste vallecole è continua anche se non sempre evidente perchè spesso il fondo è impostato direttamente in roccia e perchè hanno un regime del tutto temporaneo, in stretta connessione alle precipitazioni. Al fondo di questi impluvi si può accumulare il materiale detritico derivante dalla degradazione delle pareti rocciose che ne costituiscono i fianchi o poste alla loro sommità. Il materiale accumulato può essere evacuato per gravità, perchè mobilizzato dalla caduta di nuovo materiale, oppure, più frequentemente, dall'acqua, in occasioni di forti precipitazioni che possono anche innescare fenomeni di colata di detrito. Per le vallecole poste alle quote più elevate l'evacuazione del materiale può avvenire anche con le valanghe.

• Area interessata da ruscellamento diffuso. Le tracce di ruscellamento diffuso rappresentano le forme erosive dovute allo scorrimento superficiale delle acque meteoriche non incanalate. Le acque piovane che non si infiltrano direttamente nel terreno iniziano infatti a scorrere sulla superficie in forma di lame, rappresentate da una fitta rete di filetti d'acqua, e per precipitazioni intense o prolungate, con l'aumento di portata e della velocità, in rivoli, concentrate lungo vie di scorrimento preferenziale. Lo scorrimento dell'acqua provoca lo svilupparsi di fenomeni erosivi che interessano la superficie dei versanti ricoperti da depositi sciolti determinando la locale asportazione del materiale. Questi fenomeni si manifestano con intensità differente a seconda della pendenza del versante e della presenza o meno di copertura vegetale e delle sue caratteristiche. In condizioni particolari questi fenomeni possono assumere un carattere areale coinvolgendo porzioni di versante via via più estese.

Queste forme sono presenti localmente nell'ambito del territorio comunale, soprattutto a quote medie, dove sono presenti depositi superficiali con abbondante frazione fine.

• Solco di erosione concentrata. I solchi di ruscellamento sono fenomeni erosivi legati all'azione delle acque di scorrimento superficiale che tendono a concentrarsi lungo linee preferenziali. Queste forme erosive possono interessare sia i versanti ricoperti da depositi superficiali sciolti sia versanti privi di copertura ma costituiti da rocce poco coerenti. Con il procedere dell'attività erosiva le incisioni si possono approfondire e presentare un progressivo arretramento della testata che spesso si verifica con la creazione di nuove ramificazioni. Come conseguenze estreme si può avere lo sviluppo di fenomeni franosi per colata. Solchi di erosione concentrate sono localmente presenti nel territorio di Niardo in corrispondenza di tratti di versante relativamente acclivi. In alcuni

casi, soprattutto in corrispondenza del tratto di versante posto subito a monte dell'abitato, i solchi di erosione sono legati alla concentrazione d'acqua determinata dalla presenza di strade.

- Sorgente (captata e non captata). Le sorgenti rappresentano le zone, più o meno ampie, in corrispondenza delle quali avviene l'affioramento delle acque sotterranee. La venuta a giorno delle acque sotterranee siano esse contenute in un mezzo poroso, rappresentato in genere dai depositi superficiali, o contenute in un mezzo permeabile per fratturazione, rappresentato quasi esclusivamente dal substrato lapideo, può avvenire per la presenza di un limite di permeabilità che determina il versamento, il trabocco o la risalita in pressione dell'acqua oppure per la presenza di un'intersezione tra la superficie topografica e la superficie piezometrica. Le sorgenti di maggiore consistenza presenti nel territorio di Niardo si trovano nel tratto inferiore delle valli dei torrenti Fa e Cobello e sono legate a limiti di permeabilità nell'ambito del substrato roccioso. Le altre sorgenti sono invece legate soprattutto ad acquiferi contenuti nei depositi superficiali e sostenuti dal substrato roccioso.

- Zona paludosa o torbosa. Queste zone sono caratterizzate dalla presenza, stagionale o perenne, di ristagni d'acqua sulla superficie topografica oppure dalla venuta a giorno, in modo diffuso, di acque sotterranee. Il ristagno d'acqua è dovuto in genere alla presenza, nel sottosuolo dell'area, di depositi superficiali o di rocce relativamente impermeabili che non permettono l'infiltrazione delle acque meteoriche oppure è legato all'affioramento della superficie piezometrica della falda superficiale contenuta nei depositi sottostanti. La presenza di acque stagnanti sulla superficie favorisce la decantazione del materiale fine ed in alcuni casi, quando è presente della vegetazione, l'accumulo di sostanza organica ed il formarsi di depositi torbosi. In molti casi queste aree sono pertanto contraddistinte dalla presenza di terreni a granulometria fine e saturi d'acqua che presentano caratteristiche meccaniche scadenti soprattutto per quanto riguarda la loro compressibilità.

Zone torbose sono presenti solo a quote elevate sia nella valle del Re, a malga Ferone di sotto, sia in Val di Stabio, nella zona di Zucconi e localmente nella piana alluvionale di fondovalle. Una zona con ristagno d'acqua in superficie è presente sul fianco destro della valle del Cobello.

- Lago di origine naturale. Laghi di origine naturale sono presenti solo alla testata della Val di Stabio, dove occupano delle depressioni legate alla sovraescavazione glaciale. Il lago di maggiori dimensioni è il lago della Sorba, situato alla quota di 2337m, di forma ellittica con gli assi di 40 e 60 m circa; sul gradino morfologico sottostante, alla quota di circa 2200 m, si trovano invece un piccolo lago, di forma circolare e con diametro di circa 30 m, ed una torbiera impostata in corrispondenza di una depressione lacustre ora interrata.

- Aree di possibile esondazione. Le dimensioni dell'alveo dei corsi d'acqua sono relative all'entità delle portate ed all'attività di erosione e di deposito che il corso d'acqua esercita: tutti questi parametri sono variabili nel tempo e, in occasioni di piene molto consistenti l'alveo può essere localmente insufficiente a contenere la portata per cui si ha la fuoriuscita della corrente dall'alveo con l'esondazione delle aree circostanti, se poste ad una quota paragonabile od inferiore a quella del pelo libero della corrente nell'alveo. Nell'ambito del territorio di Niardo i fenomeni di esondazione possono interessare sia la piana di fondovalle del fiume Oglio sia i brevi tratti di piana presenti lungo la Val di Stabio, sia alcuni settori dei conoidi alluvionali dei torrenti Fa, Re e Cobello. Per motivi di ordine grafico, legati alla leggibilità della carta, nella carta morfologica sono state rappresentate solamente le aree

di esondazione relative al torrente della Val di Stabio mentre le aree di esondazione degli altri corsi d'acqua sono state rappresentate sulla carta idrogeologica.

### 3d - FORME CRIONIVALI

- Canalone di valanga. I versanti delle valli secondarie, alla loro testata, per effetto dell'erosione glaciale presentano in genere un profilo caratterizzato da un tratto intermedio molto acclive, compreso tra le falde di raccordo al fondovalle e la zona delle creste. Questo tratto del versante è solcato da incisioni ed impluvi molto ripidi che, oltre ad essere percorsi dalle acque di scorrimento superficiale, rappresentano anche dei canali di valanga che, quando si verificano le condizioni meteorologiche favorevoli, sono percorsi dalle masse nevose scivolte dalle zone superiori dei versanti. Solo i canali posti alle quote maggiori sono attivi stagionalmente. Alcune incisioni poste nel settore intermedio della Valle del Re sono percorsi da valanghe solo in anni particolarmente nevosi.

- Cono di valanga. Le valanghe che si muovono lungo le incisioni sono in grado di rimuovere il materiale detritico presente al loro interno e trasportarlo fino allo sbocco dei canali sul fondovalle, dove possono dar luogo a forme di deposito chiamate coni di valanga. Nell'area in esame il materiale deposto dalle valanghe si somma al materiale detritico mobilizzato per gravità o dalle acque di scorrimento.

### 3e - FORME E DEPOSITI CARSICI

- Dolina. Le doline sono delle depressioni, di forma circolare od ellittica e di dimensione generalmente decametrica, connesse a fenomeni di dissoluzione delle rocce di composizione carbonatica o solfatica. Le doline si possono originare per intensa dissoluzione che si verifica a partire dalla superficie, in corrispondenza di un'area che costituisce una zona di infiltrazione preferenziale per le acque che raggiungono i condotti sotterranei (doline di dissoluzione). In corrispondenza del ripiano del terrazzo morfologico posta alla base del tratto di versante compreso tra Niardo e Braone sono presenti delle depressioni di forma circolare di origine incerta: potrebbero rappresentare delle doline oppure delle conche di escavazione glaciale o, al limite antiche doline successivamente ampliate dall'escavazione glaciale. In corrispondenza del terrazzo il substrato roccioso, coperto da una coltre di depositi di origine glaciale, è costituito dalla formazione del Calcere di Angolo che, per il suo contenuto marnoso, non è particolarmente carsificabile. In Val Camonica depressioni analoghe, nella stessa formazione, si ritrovano nella zona del Cerreto compresa tra Bienno, Cividate e Berzo Inferiore dove sembra plausibile l'interpretazione come doline perchè contigue alla zona carsica, con doline riconosciute, del settore di Cerreto compreso tra Cividate, Bienno e Breno.

Le doline possono essere interessate da fenomeni di sprofondamento legati all'allontanamento da parte delle acque sotterranee del calcare disciolto.

### 3f - FORME, PROCESSI E DEPOSITI DI NATURA ANTROPICA

• Area degradata (da pascolo). La presenza di animali da pascolo può essere una delle cause della comparsa delle tipiche forme associate al fenomeno del creep superficiale, rappresentate da piccole scarpatine e locali decorticazioni del manto vegetale, che in tal caso vengono anche chiamate *impronte d'armenti*. Quando un'area è sottoposta ad un eccessivo carico di bestiame queste forme possono assumere un carattere areale ed interessare superfici notevoli in corrispondenza delle quali si verifica la distruzione del manto vegetale ed il rimaneggiamento dell'orizzonte superficiale. In questa situazione le aree interessate si trovano facilmente esposte al rischio di fenomeni erosivi legati alle acque di scorrimento superficiale. Queste forme di degradazione superficiale sono state osservate nei pressi di malga Stabio di sopra.

• Terrazzamento agrario. Nel tratto di versante posto subito a monte dell'abitato di Niardo, soprattutto all'apice del conoide del torrente Cobello, presenti dei terrazzamenti artificiali realizzati in passato diminuire localmente l'originaria pendenza e recuperare in questo modo aree coltivabili. I terrazzamenti artificiali sono in genere sostenuti da muri a gravità realizzati con pietrame a secco e di altezza variabile. Attualmente una buona parte di questi terrazzamenti è coltivata ad orto mentre un'altra parte è utilizzata come prato da sfalcio; solo i terrazzamenti posti a maggiore distanza dall'abitato od in posizione meno favorevole per le coltivazioni sono stati completamente abbandonati e ripresi dal bosco. Nonostante l'utilizzo per alcuni terrazzamenti non è stata fatta un'adeguata manutenzione delle opere di sostegno e questo ha già provocato in più occasioni il verificarsi di fenomeni franosi che hanno coinvolto i muri di sostegno ed il terreno posto alle loro spalle. Muri di sostegno lesionati sono presenti soprattutto in corrispondenza della scarpata di erosione del torrente Cobello, all'altezza del settore apicale del conoide.

• Opere di difesa o regimazione. Successivamente agli eventi alluvionali dell'anno 1987 i torrenti Fa, Re e Cobello sono stati interessati da opere di sistemazione e regimazione in parte ancora in corso di completamento. A monte dei conidi alluvionali sono state realizzate delle briglie selettive per contenere il trasporto solido verso il fondovalle e, per il Re ed il Cobello, è stato completamente regimato l'alveo per tutto il tratto posto in corrispondenza del conoide alluvionale. Nella zona apicale gli alvei sono stati svasati, consolidati al fondo con briglie e soglie e sono state consolidate le sponde con scogliere e muri d'argine; nel tratto intermedio e distale gli alvei sono stati svasati, il fondo è stato rivestito con pietrame e le sponde sono state rivestite con pietrame o muri in calcestruzzo; solo nei tratti prossimi alla confluenza in Oglio manca il rivestimento del fondo. Per quanto riguarda il torrente Fa sono presenti due briglie selettive, una a pettine situata poco a monte del conoide ed una a fessura situata nel settore apicale del conoide, è stato svasato l'alveo e sono state consolidate le sponde con scogliere per un tratto nel settore medio-inferiore del conoide ed a valle di questo tratto è stata realizzata una piazza di deposito; ma in altri tratti del settore medio ed inferiore si hanno sezioni d'alveo insufficienti.

Anche lungo il corso del fiume Oglio è stata sistemata recentemente la sponda sinistra, con la realizzazione di un argine in terra protetto alla base da una scogliera di massi non intasati.

Altre opere di difesa presenti nel territorio comunale sono rappresentate dalla barriera paramassi disposte lungo il lato di monte della strada che collega l'abitato la centrale idroelettrica posta nella zona apicale del conoide del

torrente Re. La strada si trova infatti a valle di una scarpata di frana, in parte attiva ed in parte quiescente, impostata entro depositi glaciali caratterizzati dalla presenza di grossi massi che, in caso di franamento, sono in grado di raggiungere la strada. Lungo buona parte del lato di monte della strada, in occasione dei lavori di pronto intervento realizzati dopo gli eventi alluvionali del 1987, sono state quindi disposte delle barriere paramassi, realizzate con montanti in travi di acciaio e traverse in legname: queste barriere sono però poco efficaci nei confronti dei blocchi di maggiori dimensioni. Nel 1996, in seguito ai lavori finanziati con la L. 102, le opere di difesa sono state integrate con barriere paramassi del tipo ad alta resistenza, posizionate però solo alla base del tratto settentrionale della scarpata di frana.

• Materiale di riporto. Con questa voce sono stati rappresentati in carta gli accumuli di materiale inerte, riportato artificialmente dall'uomo, che per le loro dimensioni presentano una relativa importanza morfologica, avendo modificato sensibilmente la morfologia locale. Gli accumuli di inerti di dimensioni maggiori si trovano nella zona di fondovalle, in prossimità della strada che porta all'abitato di Losine, e sono stati realizzati per portare alcuni settori della piana alluvionale di fondovalle alla quota del terrazzo morfologico costituito dal settore distale dei conoidi alluvionali. Sull'accumulo maggiore, situato in prossimità del ponte della strada per Losine, è stato realizzato un campo sportivo.

• Cava di inerti. Le alluvioni di fondovalle, per la loro composizione granulometrica, sono state oggetto di coltivazione per ricavare inerti da calcestruzzo. L'attività di cava si è svolta fino in tempi recenti in un punto del fondovalle situato in prossimità della confluenza in Oglio del torrente Re. La coltivazione avveniva in presenza di falda, perchè il livello piezometrico della falda a pelo libero contenuta nelle alluvioni si trova a bassa profondità rispetto al piano campagna. Attualmente, in corrispondenza della zona di cava, è rimasta un piccolo laghetto. L'area di cava si trova nel territorio comunale di Losine, ma è stata comunque segnalata per la sua prossimità alle zone in esame.

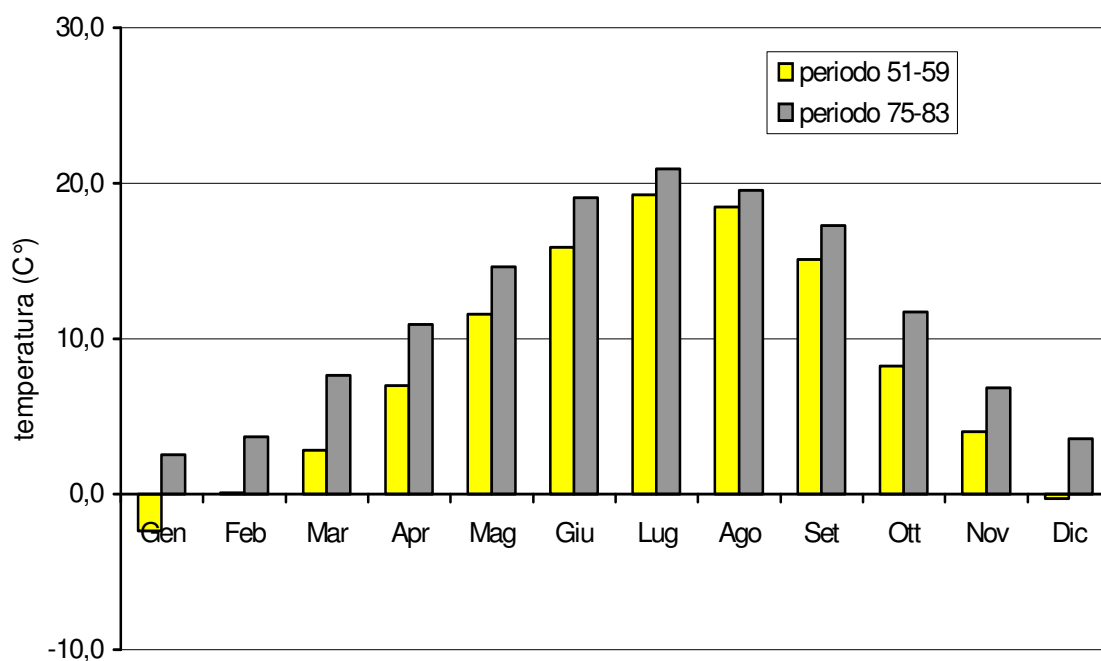
#### 4. ASPETTI CLIMATICI, IDROLOGICI ED IDROGEOLOGICI

##### 4a - ASPETTI CLIMATICI

Non esistono stazioni di misura climatiche nel territorio comunale di Niardo, tuttavia l'abitato si trova ad una distanza di circa 1.5 km dalla stazione di rilevamento di Breno che, essendo situata anch'essa sul fondovalle, ad una quota di 312 m, può pertanto essere assunta come rappresentativa.

I dati disponibili per la stazione di Breno non sono continui ma abbracciano solo due intervalli di tempo relativamente brevi per un totale di 17 anni per le temperature e 38 anni per le precipitazioni. La media annuale delle temperature riferita al periodo '51-'59 è di 8.3 C° mentre la media per il periodo '75-'83 è più alta e pari a 11.5 C°; la media ponderata su tutto il periodo di osservazioni è invece di 9.8 C°.

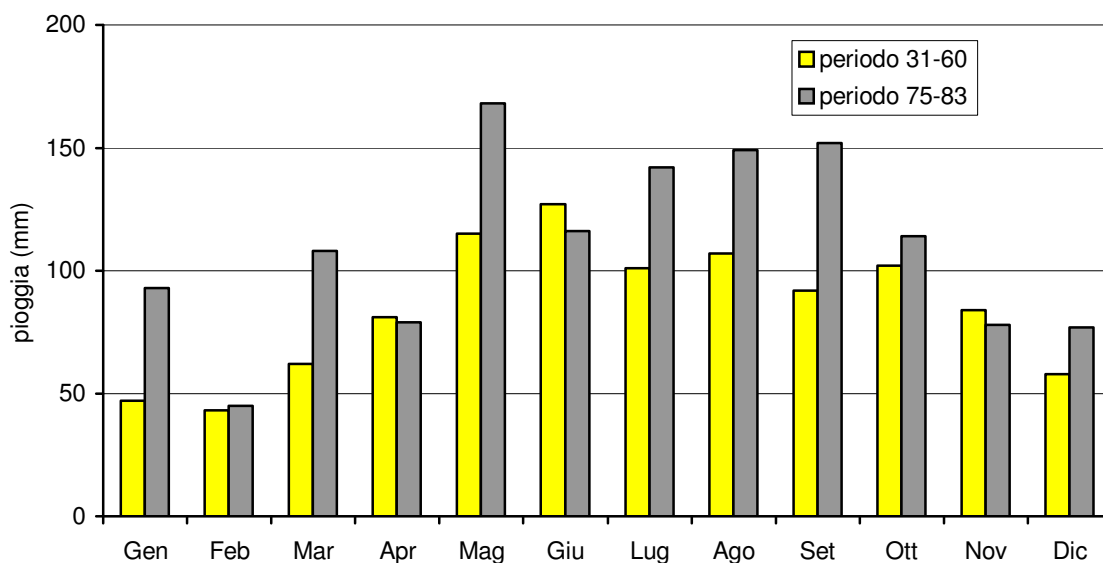
*Temperature medie (stazione di Breno)*



anni	periodo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
9	1951-59	-0,8	0,1	2,4	6,6	15,5	16,1	20,1	18,6	13,6	5,5	3,3	0,9	8,5 °C
8	1975-83	2,6	3,7	7,6	10,9	14,6	19,1	20,9	19,6	17,3	11,7	6,9	3,6	11,5 °C

Le precipitazioni hanno una distribuzione caratterizzata da un periodo di massimo tardo-primaverile ed estivo e di un periodo di minimo in inverno. Il massimo mensile si registra di norma in maggio o in luglio. La media delle precipitazioni annuali per il periodo trentennale '31-'60 è di 1019 mm mentre la media per l'intervallo '75-'83 è ben maggiore e pari a 1320 mm; la media ponderata su tutto il periodo delle osservazioni risulta di 1082 mm.

Precipitazioni medie (stazione di Breno)



anni	periodo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
30	1931-60	47	43	62	81	115	127	101	107	92	102	84	58	1019 mm
8	1975-83	93	45	108	79	168	116	142	149	152	114	78	77	1320 mm

#### 4b - ASPETTI IDROLOGICI

I dati di carattere idrologico sui bacini idrografici compresi nel territorio di Niardo, Fa, Re, Cobello, che vengono riportati in questo paragrafo sono stati desunti da studi esistenti.

- Dati di tipo idrologico ed idraulico possono essere ricavati da una pubblicazione curata dal gruppo Edison nel 1953: "Elaborazione dei dati idrologici del bacino dell'Oglio" - Direzione costruzione impianti idroelettrici del Gruppo Edison.

In questa pubblicazione, riferita all'intero bacino idrografico del fiume Oglio sotteso alla sezione di immissione nel lago d'Iseo, sono stati elaborati i dati pluviometrici relativi al periodo 1921-1940. Da questi dati sono stati ricavati

*Relazione illustrativa.*

una carta delle isoiete e per ciascun sottobacino individuato sono stati calcolati i principali parametri morfometrici e sono stati stimati i valori medi annui relativi alle precipitazioni, al deflusso ed al contributo unitario.

In questa pubblicazione sono disponibili i dati solo per il bacino del torrente Re, perchè gli altri torrenti, Fa, Cobello e Val di Stabio, sono compresi in sottobacini che comprendono anche i bacini di altri corsi d'acqua.

Nella seguente tabella si riportano i dati relativi al sottobacino n. 47, corrispondente al bacino del torrente Re.

H (m)	h (m)	S <sub>1</sub> (Km <sup>2</sup> )	S <sub>2</sub> (Km <sup>2</sup> )	p (mm)	D <sub>p</sub> (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	D <sub>g</sub> (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	D <sub>t</sub> (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	q (l/s·Km <sup>2</sup> )
1669	290	9.1	-	1240	10	-	10	0.32	35

H : altitudine media	D <sub>p</sub> : deflusso annuo dell'area non glaciale
h : quota alla sezione di chiusura	D <sub>g</sub> : deflusso annuo dell'area glaciale
S <sub>1</sub> : area non glaciale	D <sub>t</sub> : deflusso annuo
S <sub>2</sub> : area glaciale	Q : portata alla sezione di chiusura
p : altezza media di precipitazione	q : contributo unitario medio annuo

- Dati relativi alle precipitazioni intense per l'area in esame sono presenti nella pubblicazione della Provincia di Brescia: "Studio delle precipitazioni intense in Provincia di Brescia e verifica funzionale della rete pluviometrica esistente", 1985. In questo studio sono riportati i valori delle precipitazioni intense con durata di 1, 3, 6, 12 e 24 e le elaborazioni per la determinazione dei coefficienti delle rette di possibilità pluviometrica relativi a ciascuna stazione.

- Una elaborazione delle precipitazioni intense fatta a livello regionale è contenuta ne documenti allegati al " Piano stralcio per la difesa idrogeologica e della rete idrografica del Bacino del Fiume Po, redatto dall'Autorità di bacino del Fiume Po nel 1997. In questo studio il bacino del fiume Oglio, caratterizzato da un regime pluviometrico di tipo continentale, con massimi estivi e minimi invernali, è stato suddiviso in sottobacini ed il territorio del comune di Niardo rientra nel sottobacino indicato come "Alto Oglio sopralacuale e affluenti minori". Per ogni sottobacino sono stati calcolati le curve di possibilità climatica e le altezze di precipitazione per durata pari a 24 ore, come riportato nella seguente tabella.

Curva di possibilità climatica $h = a \cdot t^n$			Altezze di precipitazione per durata 24h (mm)	
h[mm]; t[d];		n per t>1 giorno n' per t<1 giorno	TR = 50 anni	TR = 200 anni
a	n	n'		
18.170*ln(Tr)+66.32	0.014*ln[ln(Tr)]+0.428	-0.019*ln[ln(Tr)]+0.378	137.4	162.6

- I torrenti Fa, Re e Cobello, sono stati interessati da fenomeni alluvionali relativamente intensi nell'estate dell'anno 1987, con piene caratterizzate da elevato trasporto solido ed esondazione nel settore medio ed inferiore dei conoidi. Questi eventi hanno provocato danni seri alle sistemazioni idrauliche, alle strutture, alle infrastrutture ed anche alle abitazioni presenti in prossimità dell'alveo, lungo tutto il settore dei conoidi.

Per i danni subiti il comune di Niardo è stato inserito nell'elenco dei comuni interessati dagli interventi di sistemazione relativi al "Piano di difesa del suolo ed il riassetto idrogeologico delle zone della Valtellina e delle zone adiacenti delle province di Bergamo, Brescia e Como" (Legge n. 102, 2/5/1990) riguardante le aree colpite dagli eventi alluvionali verificatisi nell'estate dell'anno 1987.

Nell'ambito della progettazione degli interventi di sistemazione da realizzare nelle aree della Val Camonica comprese nel Piano di Difesa del Suolo e Riassetto Idrogeologico (interventi della 1 fase ai sensi della L.R. 1/8/1992 n. 23 e Deliberazione G.R. 23/3/1993 n. V/34383), a livello di progetto di massima è stato condotto uno studio idrologico ed idraulico, redatto da un gruppo di lavoro diretto dagli ingg. Maione e Veronese, che comprende anche i bacini dei torrenti Fa, Re e Cobello.

Lo studio idrologico citato era finalizzato alla valutazione delle portate di massima piena per un tempo di ritorno pari a 100 anni, attraverso una stima degli afflussi, le precipitazioni che si possono verificare sui bacini, e la loro trasformazione in deflussi, le portate conseguenti lungo i corsi d'acqua. Per la determinazione degli afflussi è stata fatta un'elaborazione dei dati relativi alle piogge di maggiore intensità registrate in alcune stazioni pluviografiche della Val Camonica e delle aree adiacenti: l'elaborazione ha permesso di ricavare i coefficienti delle curve di possibilità climatica relative a ciascuna stazione. I dati relativi alle stazioni sono stati successivamente utilizzati per ricostruire la distribuzione spaziale, sull'area della Val Camonica, dei coefficienti,  $a$  ed  $n$ , delle curve di possibilità pluviometrica.

Per tarare il modello di determinazione dei deflussi sono stati analizzati i dati di portata del fiume Oglio. I dati di portata sono disponibili solo per due stazioni di misura, Temù e Capodiponte, e per un periodo relativamente breve, rispettivamente con 30 e 16 dati; da questi valori sono state estrapolate, utilizzando la distribuzione di Gumbel, i valori della portata con tempo di ritorno di 100 anni. La trasformazione dagli afflussi ai deflussi è stata condotta mediante un modello di trasformazione afflussi-deflussi di Nash. Per la pioggia che può dar luogo alla portata massima, è stato assunto uno schema di distribuzione nel tempo, detto ietogramma, ottenuto da uno ietogramma di tipo Chicago per un tempo di precipitazione di 24 ore e con picco delle precipitazioni posto alla fine della pioggia. L'importo delle piogge nette, la quantità d'acqua che effettivamente defluisce lungo i corsi d'acqua al netto delle perdite per evapotraspirazione ed infiltrazione, è stato definito con il metodo CN del Soil Conservation Service. Tarando i calcoli con le misure di portata alle stazioni di Temù e Capodiponte, si sono ottenuti valori discordanti perchè le due sezioni sottendono tratti di bacino idrografico aventi un diverso comportamento. Il modello è stato quindi tarato assumendo come rappresentativi per i parametri in gioco dei valori stimati per analogia con bacini aventi la stessa area. Le portate calcolate per la massima piena con tempo di ritorno di 100 anni, ottenute con questo modello per ciascun bacino in esame, sono state successivamente correlate alle caratteristiche pluviometriche e morfologiche dei bacini in esame ricavando due espressioni che mettono in relazione le portate con il tempo di corrivazione e con la superficie.

$$Q_c = \left( \frac{aA}{3.6} \right) \cdot 0.653 \cdot T_c^{-0.484}$$

$$Q_c = \left( \frac{aA}{3.6} \right) \cdot 1.115 \cdot A^{-0.193}$$

dove  $Q_c$  : portata critica in  $m^3/s$   
 $a$ : intensità di pioggia in  $mm/h$   
 $A$ : area del bacino in  $Km^2$   
 $T_c$  : tempo di corrivazione in  $h$

Sulla base delle due espressioni le portate critiche per un tempo di ritorno di 100 anni sono state calcolate per diverse sezioni all'interno dei singoli bacini oltre alla sezione di confluenza nel fiume Oglio, secondo la seguente tabella tratta direttamente dallo studio citato.

<i>Bacino</i>	<i>Sezione</i>	<i>Quota (m)</i>	<i>Area sottesa (Km<sup>2</sup>)</i>	<i>a (mm/ora)</i>	<i>Tempo di corrivazione (h)</i>	<i>Coefficiente udometrico (m<sup>3</sup>/s/Km<sup>2</sup>)</i>	<i>Portata critica TR=100 anni (m<sup>3</sup>/s)</i>
Fa	1	298	4.8	37.9	0.62	8.84	41.3
	2	387	4.4	37.9	0.57	8.82	38.9
	3	465	4.0	37.9	0.53	9.05	35.8
	4	500	3.6	37.9	0.50	9.12	33.1
Re	1	303	9.0	38	0.88	7.72	69.3
	2	409	8.8	38	0.82	7.73	68.0
	3	506	8.5	38	0.80	7.82	66.2
	4	595	8.3	38	0.78	7.83	64.9
Cobello	1	305	3.0	38.1	0.60	9.57	28.9
	2	385	2.9	38.1	0.53	9.72	27.7
	3	491	2.5	38.1	0.49	9.84	25.0
	4	535	2.3	38.1	0.46	10.22	22.7
	5	780	1.8	38.1	0.40	10.44	19.1

#### **4c - ASPETTI IDROGEOLOGICI GENERALI**

La suddivisione del territorio del comune di Niardo in tre settori facilmente individuabili dal punto di vista litologico e morfologico si ripropone anche dal punto di vista delle caratteristiche e dell'assetto idrogeologico.

##### *4c.1. Settore del versante destro della Val Camonica*

Il settore corrispondente alla testata delle valli principali, di Fa, del Re e Val di Stabio, è caratterizzato in prevalenza da rocce magmatiche con bassa permeabilità per fratturazione e da una coltre localmente potente di depositi superficiali costituiti soprattutto da detrito di versante ad elevata permeabilità e da depositi glaciali a permeabilità medio-bassa, localmente sono presenti anche depositi alluvionali e di conoide alluvionale a permeabilità medio-alta. Questa situazione litologica determina un assetto idrogeologico caratterizzato da acquiferi superficiali contenuti nella coltre detritica e sostenuti al fondo dal substrato roccioso ed alimentati da infiltrazione di acqua dalla superficie, soprattutto dalle coltri di depositi più permeabili. Le rotture di pendenza che caratterizzano il profilo longitudinale delle valli determina l'affioramento delle acque contenute in questi acquiferi con la presenza di sorgenti o zone di ristagno d'acqua spesso poste a ridosso dell'alveo dei corsi d'acqua che a valle dei gradini evidenziano un aumento sensibile della portata. La circolazione entro il substrato roccioso per quanto riguarda la testata del Fa e del Re è probabilmente limitata, data la bassa permeabilità della compagine rocciosa.

Diversa è la situazione della Val di Stabio dove, in asse alla valle, sono presenti le unità sedimentarie carbonatiche, prevalentemente metamorfosate in marmi e calcefiri, che determinano la possibilità di circolazione sotterranea preferenziale favorita dalla disposizione subverticale della stratificazione e dalla relativa carsificabilità

*Relazione illustrativa.*

delle rocce. E' molto probabile che la testata della valle di Stabio rappresenti la zona di alimentazione di un acquifero carsico impostato nelle rocce carbonatiche e caratterizzato da una circolazione relativamente profonda alla quale sono probabilmente legate alcune manifestazioni sorgentizie di notevole entità presenti nel tratto inferiore del bacino, al di fuori dei limiti comunali (sorgenti di Breno e Prestine), e le sorgenti mineralizzate presenti su fianco destro della Valle delle Valli (sorgenti di Salice).

Nel settore medio dei bacini dei torrenti Fa, Re e Cobello ed in corrispondenza della parte superiore del versante sinistro della Val Camonica la situazione idrogeologica è per buona parte condizionata dalla relativa acclività dei versanti, dalla mancanza di coltri potenti di depositi superficiali e dalla presenza di rocce magmatiche scarsamente permeabili: queste condizioni determinano una situazione favorevole allo scorrimento superficiale delle acque piuttosto che all'infiltrazione in profondità. Si ha comunque la presenza di falde di versante sostenute dal substrato roccioso, in genere temporanee, in corrispondenza delle zone dove la copertura superficiale è più potente e continua. Il substrato roccioso è comunque interessato da circolazione sotterranea entro fratture perchè sono presenti localmente delle piccole sorgenti, soprattutto in corrispondenza di limiti litologici od associate alla presenza di filoni intrusivi.

Nella parte inferiore dei bacini delle valli secondarie ed alla base del versante sinistro della Val Camonica il quadro d'insieme è caratterizzato da pendenze mediamente inferiori, dalla presenza di una coltre di depositi superficiali continua e potente e di rocce a composizione calcareo-marnosa aventi una permeabilità per fratturazione di grado medio, con possibilità di fenomeni di carsismo. In questo settore assumono probabilmente maggiore consistenza le falde di versante contenute nei depositi superficiali e sostenute dal substrato roccioso e, soprattutto, nel tratto inferiore delle incisioni vallive dei torrenti Fa, Re e Cobello sono presenti le sorgenti di maggiore importanza nell'ambito del territorio comunale, in gran parte captate per servire l'acquedotto comunale.

#### *4c.2. Settore di fondovalle*

Nel settore di fondovalle la situazione idrogeologica è legata principalmente alla coltre di depositi sciolti che costituisce la piana alluvionale dell'Oglio ed i conoidi dei corsi d'acqua laterali. Nella zona della piana compresa nel territorio di Niardo non sono presenti pozzi per acqua; nelle zone adiacenti sono presenti solo due pozzi, uno situato in località Prada nel comune di Losine e l'altro situato in località Oneta, nel comune di Breno. Le stratigrafie dei due pozzi confermano che i depositi alluvionali del fiume Oglio sono costituiti prevalentemente da orizzonti ghiaia e sabbia con livelli superficiali di sabbie fini limose. Il pozzo di Losine è poco profondo mentre il pozzo di Breno ha una profondità di 40 m entro la quale compaiono solo le alluvioni dell'Oglio. E' probabile che il substrato roccioso si trovi a profondità molto maggiori per la presenza di una conca di sovraescavazione glaciale posta a monte della soglia rocciosa di Breno. Non si conosce invece la stratigrafia del settore dei conoidi alluvionali: i depositi dei conoidi potrebbero infatti sovrapporsi ai depositi alluvionali, sovrapporsi direttamente al substrato roccioso oppure avere rapporti laterali relativamente complessi con i depositi alluvionali dell'Oglio e con i depositi glaciali del versante.

Le alluvioni sono sede di una falda a pelo libero il cui livello piezometrico, nella zona della Prada di Losine, si trova ad una profondità di 3-4 m dal piano campagna. L'alimentazione dell'acquifero è assicurata, in relazione all'andamento delle precipitazioni ed alla portata del fiume Oglio e dei suoi affluenti, sia dall'infiltrazione al fondo

dell'Oglio e dei torrenti provenienti dai versanti sia dalle acque provenienti da entrambi i versanti della valle. L'infiltrazione nei depositi alluvionali delle acque provenienti dal versante è particolarmente evidente alla base del versante sinistro i cui corsi d'acqua mancano di alveo in corrispondenza della piana, in quanto le acque si infiltrano rapidamente in profondità già nella zona apicale dei rispettivi conoidi. In ragione della situazione idrogeologica dei versanti è inoltre probabile che questa falda sia alimentata anche da acque sotterranee che circolano nelle rocce carbonatiche dei versanti.

Data l'entità degli apporti e l'omogeneità tessiturale dell'acquifero è probabile che la falda sia contraddistinta da una potenzialità elevata e che presenti un profilo di tipo piatto e relativamente regolare con direzione di deflusso parallela l'asse della valle: questa considerazione, almeno per le aree non eccessivamente distanti dall'alveo del fiume, è confermata dal livello della falda misurato nel pozzo di Breno ed osservato in corrispondenza degli specchi d'acqua al fondo delle due discariche di inerti inattive presenti presso la Cascina delle Bosche a Breno e presso il ponte di Losine.

La superficie piezometrica della falda si mantiene quindi prossima al livello del pelo libero della corrente del fiume Oglio, seguendone le oscillazioni, e si trova pertanto ad una profondità dal piano campagna non superiore a 3-4 m.

L'analisi chimica e microbiologica dell'acqua emunta dal pozzo di Breno (proprietà della ditta Fasanini s.n.c.), effettuata a seguito di un prelievo in data 11/07/1989, evidenzia una mineralizzazione relativamente bassa caratterizzata da una durezza elevata (50 F°) da mettere in relazione alla composizione carbonatica dei litotipi che costituiscono il substrato roccioso in questo tratto della Val Camonica.

L'elevata permeabilità media dei depositi alluvionali costituenti l'acquifero, la presenza di orizzonti fini superficiali poco continui e potenti e la relativa prossimità al piano campagna della superficie piezometrica, sono tali da far considerare questa falda come altamente vulnerabile nei confronti di eventuali fenomeni di inquinamento.

#### *4c.3. Sorgenti captate*

Le sorgenti che servono l'acquedotto comunale si trovano alla base del versante destro della valle, in corrispondenza del tratto inferiore delle incisioni vallive dei torrenti Fa e Cobello.

Nella valle del torrente Fa si trova una sorgente situata alla quota di circa 530 m, posta sul fianco destro della valle ed in prossimità dell'alveo. Questa sorgente è situata in corrispondenza del Calcare di Prezzo, poco a valle del limite con le tonaliti dell'Adamello. Dalla configurazione d'insieme la sorgente è legata a circolazione sotterranea di acqua entro fratture della roccia, probabilmente ampliate da fenomeni carsici. L'area di alimentazione è sicuramente rappresentata dal settore delle rocce sedimentarie carbonatiche della zona del Bisone, situata idrograficamente a monte della sorgente; è anche possibile l'apporto di acque profonde dalle zone delle rocce tonalitiche. La venuta a giorno delle acque è determinata dalla presenza di filoni di dioriti e tonaliti disposte trasversalmente all'asse della valle. La portata della sorgente è relativamente variabile nell'arco dell'anno, con una portata media di circa 5 l/s.

Nella valle del torrente Cobello si trovano tre sorgenti situate in prossimità dell'alveo, tra le quote di 575 e 590 m. Le sorgenti sono situate in corrispondenza dei calcari della formazione del Calcare di Angolo. Le sorgenti sono legate a circolazione di tipo carsico entro le rocce calcaree e la zona di alimentazione corrisponde con il settore dei versanti e del fondovalle del tratto intermedio del bacino torrente Cobello, interamente impostato entro il

*Relazione illustrativa.*

Calcare di Angolo. Anche in questo caso l'affioramento delle acque è probabilmente ad una serie di filoni di tonalite disposti trasversalmente all'asse della valle. La portata delle sorgenti è piuttosto variabile nell'arco dell'anno, con una portata complessiva che varia all'incirca da 1 a 3 l/s.

Per queste sorgenti non sono disponibili né analisi dirette alla fonte né analisi complete, ma solo analisi di controllo sui principali parametri eseguite in rete. A titolo d'esempio, nella tabella successiva, sono riportate le analisi eseguite in data 14/06/1999.

<i>Parametro</i>	<i>Unità</i>	<i>Val di Fa</i>	<i>S. Obizio</i>
pH	u pH	8.0	8.0
Conducibilità (20 °C)	µS/cm	166	160
Cloruri	mg/l	1,1	0,7
Solfati	mg/l	10,1	9,9
Durezza	mg/l	9.0	9.0
Nitrati	mg/l	4,8	4,6
Nitriti	mg/l	< 0.01	< 0.01
Ammoniaca	mg/l	< 0.1	< 0.1
Ossidabilità	mg/l	0.2	0.2
Ferro	µg/l	< 30	< 30
Manganese	µg/l	< 30	< 30
Fosforo	µg/l	<700	< 700
Cadmio	µg/l	< 1	< 1
Cromo	µg/l	< 30	< 30
Piombo	µg/l	< 10	< 10

I bassi valori di conducibilità indicano bassa mineralizzazione legata a circuiti relativamente veloci e superficiali, mentre la durezza ed il contenuto in solfati confermano il legame con rocce carbonatiche. Si tratta nel complesso di sorgenti legate a circolazione idrica sotterranea relativamente vulnerabile: le aree che costituiscono la probabile zona di alimentazione non sono però antropizzate e quindi la pericolosità è relativamente bassa.

In questa sede di studio le zone di salvaguardia delle sorgenti captate (definite ai sensi del DPR 24 maggio 1988, n. 236) non sono state definite sulla base del criterio idrogeologico, per il quale si ritiene necessario uno studio idrogeologico specifico, ma ci si è limitati a individuare la zona di Tutela Assoluta e la Zona di Rispetto secondo il criterio geometrico, senza valutare l'estensione della Zona di Protezione. Con il criterio geometrico la Zona di Tutela Assoluta è individuata da un'area circolare avente un raggio di 10 m e centro sull'opera di presa mentre la Zona di Rispetto, rappresentata nella Carta Idrogeologica, è definita da un'area compresa entro un raggio di 200 m, con centro nella sorgente ed estesa nelle zone situate a quote superiori a quella della sorgente (d.g.r. 27/06/1996 n.6/15137).

#### 4d - SISTEMA IDROGRAFICO

La presente nota è stata elaborata nell'ambito dell'incarico relativo alla redazione dello studio geologico di supporto alla pianificazione urbanistica del comune di Niardo, ai sensi della nella L.R. n. 41/1997. Le considerazioni sulle condizioni della pericolosità geomorfologica dei conoidi alluvionali dei torrenti Re di Niardo, Fa e Cobello deriva dall'analisi complessiva degli aspetti litologici, morfologici ed idrogeologici relativi a corsi d'acqua ed ai rispettivi bacini. L'analisi è stata condotta sia sulla base di dati esistenti sia sulla base di rilievi e verifiche eseguiti appositamente.

Alla presente nota si allega la Carta della dinamica morfologica, alla scala 1:2.000, delle aree dei conoidi dei corsi d'acqua in esame nella quale sono rappresentati gli elementi morfologici attivi e quiescenti, le opere di sistemazione idraulica e le zone potenzialmente soggette al pericolo di esondazione.

##### 4d.1. *Inquadramento idrografico generale*

Nell'estate dell'anno 1987 i torrenti Re di Niardo, Fa e Cobello sono stati interessati, in modo più o meno intenso, da eventi alluvionali conseguenti a fenomeni di piena, caratterizzati da elevato trasporto solido, che hanno provocato l'esondazione dei corsi d'acqua e danni alle opere ed ai manufatti esistenti lungo gli alvei e nelle zone adiacenti. Nella fase di pronto intervento, immediatamente successiva agli eventi alluvionali, sono stati eseguiti degli interventi di regimazione su tutti i tre i corsi d'acqua, finalizzati a migliorare le condizioni di deflusso nelle zone dei rispettivi conoidi alluvionali, a limitare i fenomeni erosivi laterali e di fondo ed a contenere il trasporto solido verso le zone di fondovalle. Successivamente, i tre torrenti sono stati inseriti nell'elenco dei corsi d'acqua interessati dagli interventi di sistemazione finanziati con la Legge n.102 del 2 maggio 1990 e sono stati oggetto di uno studio, coordinato dal prof. ing. U. Maione e dal dr. ing. G. Veronese finalizzato alla definizione degli interventi necessari per la messa in sicurezza delle zone dei conoidi di fondovalle rispetto a fenomeni alluvionali stimati per un tempo di ritorno di 100 anni. Interventi di sistemazione e di difesa sono stati quindi realizzati dal 1998 al 2002, inizialmente sui torrenti Re e Cobello e successivamente sul torrente Fa.

Gli interventi eseguiti finora non hanno risolto completamente le problematiche della sicurezza delle aree dei conoidi di fondovalle soprattutto per quanto riguarda il torrente Fa.

Nella valutazione della pericolosità geomorfologica riportata nei paragrafi successivi si è necessariamente tenuto conto delle opere eseguite, in riferimento al quadro delle sistemazioni riportato nella cartografia allegata.

La valutazione delle condizioni di pericolosità geomorfologica potrà quindi essere modificata qualora venissero realizzate nuove opere.

Nei paragrafi successivi la descrizione delle condizioni morfologiche, della situazione delle opere di regimazione esistenti e la valutazione della pericolosità morfologica sono svolte singolarmente per ciascun corso d'acqua.

#### **4d.2 - Torrente Fa**

##### Aspetti litologici.

Il bacino idrografico del torrente Fa presenta un'estensione di circa 4,5 km<sup>2</sup> ed è costituito in gran parte da rocce tonalitiche; solo nel tratto inferiore compaiono dei calcari marnosi a stratificazione sottile interessati da diffusi fenomeni di ricristallizzazione parziale e passanti a calcefiri in prossimità del contatto con le tonaliti. Nella parte medio-superiore del bacino il substrato roccioso è localmente ricoperto da una potente coltre di depositi glaciali. L'intero bacino è caratterizzato da elevate pendenze medie sia dei versanti sia delle curve di fondo dell'asta principale e delle aste secondarie.

##### Trasporto solido.

Il torrente Fa è contraddistinto da un elevato trasporto solido alimentato prevalentemente da fenomeni di erosione laterale e di fondo che interessano i depositi glaciali presenti nella parte intermedia del bacino. Ulteriore alimentazione è rappresentata dall'evacuazione del materiale, prodotto da locali fenomeni di degradazione delle pareti rocciose, che si accumula al fondo degli impluvi laterali.

Una stima del trasporto solido del torrente appare di difficile valutazione e l'applicazione delle diverse formule esistenti in letteratura evidenzia valori fortemente variabili legati a valutazioni medie che necessariamente non tengono sufficientemente conto delle peculiari caratteristiche litologiche e morfologiche del bacino stesso.

Valutazioni effettuate ad esempio secondo l'espressione proposta da Gavrilovic, per calcolare la quantità di materiale prodotto annualmente per erosione, portano infatti a stime elevate, dell'ordine di 22000÷36000 m<sup>3</sup>/anno; sulla base delle espressioni empiriche del tipo " $Q [m^3/anno] = \alpha \cdot A [Km^2]$ " - (dove Q è la quantità del trasporto solido annuo, A è l'area del bacino e  $\alpha$  è un coefficiente che per i bacini della zona delle Alpi varia da 2000 a 4000) - si ricava una portata annua variabile da 800 a 1600 m<sup>3</sup>. Una prima valutazione di larga massima può essere dedotta sulla base della presenza e dell'estensione dei fenomeni di erosione e degradazione presenti, ipotizzandone l'attività simultanea e la sovrapposizione dei loro apporti: in relazione all'intensità dei fenomeni si ottiene una portata variabile da 5500 a 11500 m<sup>3</sup>.

##### Aspetti geomorfologici.

L'intero bacino del torrente Fa è caratterizzato da elevate pendenze medie sia dei versanti sia delle curve di fondo dell'asta principale e degli impluvi secondari, tutti con sviluppo essenzialmente rettilineo. La testata della valle del torrente Fa è stata sede di un circo glaciale che, successivamente al ritiro del ghiacciaio würmiano, è rimasto sospeso rispetto al fondovalle dell'Oglio. A questa situazione è legata la tendenza generale all'erosione di fondo che il corso d'acqua manifesta in tutto il proprio tratto medio e superiore.

Il tratto superiore del bacino, a monte di quota 1450 m, corrisponde ad un circo glaciale ora inattivo, sospeso rispetto al fondo della valle dell'Oglio. Il settore centrale della zona del circo è occupato da depositi morenici mentre alla base delle pareti rocciose si trova una fascia costituita da falde e coni di detrito di versante, attivi o quiescenti, alimentati dai fenomeni di degradazione che interessano le pareti rocciose. La falda di detrito è interessata anche da fenomeni di valanga che interessano stagionalmente i principali canali.

Il tratto intermedio del bacino raccorda la zona del circo glaciale al fondovalle dell'Oglio, tra le quote di circa 1450 e 500 m, dove si apre il conoide alluvionale. Il tratto intermedio è caratterizzata da una forte pendenza media sia del fondovalle sia dei fianchi. Nel tratto medio-superiore il fondovalle è occupato da depositi glaciali e l'alveo del

torrente è interessato da intensi fenomeni di erosione di fondo e di erosione laterale che contribuiscono in modo determinante alla portata solida del torrente. Nel tratto medio-inferiore, a partire dalla quota di circa 850 m, fino allo sbocco sul conoide, il fondovalle del torrente è costituito da una forra rocciosa relativamente incisa, generatasi per erosione lineare successivamente al ritiro del ghiacciaio della valle dell'Oglio. Poiché in questo tratto l'alveo è direttamente impostato in roccia, i fenomeni erosivi sono meno intensi ed evidenti. In tutto il tratto intermedio i fianchi della valle sono localmente interessati da fenomeni di degradazione con reptazione, erosione da ruscellamento e piccole frane per scivolamento in corrispondenza dei depositi superficiali, e con fenomeni di crollo in corrispondenza delle pareti rocciose.

Il tratto inferiore del bacino è rappresentato da un ampio conoide alluvionale che occupa buona parte del fondo della Val Camonica. Nella zona apicale del conoide l'alveo del torrente presenta un'ansa che lo porta a scorrere a ridosso del lato sinistro del conoide stesso, fino alla quota di circa 420 m dove, con un'altra ansa, si discosta dal margine del conoide pur mantenendosi nel suo settore di sinistra. Il settore medio-superiore del conoide, da quota 500 fino a circa 420 m è da considerare come morfologicamente inattivo. In questo tratto il corso d'acqua è infatti interessato da erosione di fondo e l'alveo è inciso entro i depositi di conoide, con scarpate d'erosione quiescenti di altezza compresa tra 10 e 5 m.

Alla quota di circa 385 m il torrente passa al di sotto di un canale idroelettrico che ne deriva le acque. A valle del canale il torrente, dopo gli eventi alluvionali dell'anno 1960 e fino agli interventi di sistemazione eseguiti nell'anno 2001, presentava due rami distinti: il ramo posto a nord corrispondeva ad un canale riattivato nel 1960 e rimasto attivo fino al 2001 mentre il ramo posto a sud corrisponde all'alveo attuale ed a quello attivo prima del 1960. I lavori del 2001 hanno riportato il torrente nell'alveo attivo prima del 1960: la sezione dell'alveo è stata ampliata e risagomata per tutto il tratto compreso tra l'attraversamento di quota 376.1 e quello di quota 317, con sponde protette da una scogliera di grossi massi intasati con terra e con soglie di fondo a raso, realizzate con grossi massi e calcestruzzo. Nelle condizioni attuali, alla fine del 2002, lungo questo tratto di alveo si rileva un'evidente tendenza all'erosione di fondo con inizio locale di scalzamento delle scogliere sponda.

Nel settore compreso tra le quote di 328 e 317 m la sezione d'alveo è stata ampliata in sponda destra per realizzare una zona di sedimentazione.

A valle dell'attraversamento di quota 317 m il torrente scorre in un canale artificiale con sponde e fondo in calcestruzzo fino all'attraversamento della SS 42: a valle della SS42 l'alveo è costituito da un piccolo fosso limitato da un muro lungo la sponda destra e con fondo e sponda naturali in sinistra.

Nel settore medio-inferiore del conoide, a valle di quota 420 m circa, l'alveo del torrente è in genere molto poco inciso, la pendenza del corso d'acqua diminuisce rispetto al tratto a monte e sia ha la possibilità di deposizione di materiale in alveo. Le sezioni nel tratto compreso tra la quota 420 m circa e l'attraversamento del canale idroelettrico sono in genere piccole e si ha possibilità di esondazione per cui il tratto medio-inferiore del conoide è da considerare come quiescente e potenzialmente alluvionabile. Si hanno sezioni critiche anche in corrispondenza degli attraversamenti della ferrovia e del tracciato attuale della SS42. Esondazione in corrispondenza dell'attraversamento della ferrovia si è infatti verificata nell'autunno dell'anno 1993.

Lo stato di attività del conoide alluvionale del torrente è comunque da valutare anche in riferimento alle opere di sistemazione idraulica presenti.

#### Opere di regimazione idraulica.

Nell'anno 1987 il torrente Fa è stato interessato da una piena con elevato trasporto solido conseguente ai fenomeni erosivi presenti nel tratto intermedio del bacino. Con i lavori di pronto intervento, nel 1987 è stata realizzata una briglia selettiva a pettine, alla quota di 510 m, nel tratto posto a monte del conoide. Successivamente il torrente Fa è stato inserito nell'elenco dei corsi d'acqua interessati dagli interventi di sistemazione finanziati con la Legge n.102 del 2 maggio 1990 e nel 1995 è stato oggetto di uno studio idrologico, idraulico ed idrogeologico. Lo studio ha permesso di definire, a livello di progetto di massima, gli interventi necessari per la messa in sicurezza delle zone del conoide di fondovalle rispetto a fenomeni alluvionali stimati per un tempo di ritorno di 100 anni. Nella fase attuale è stata realizzata un'altra briglia selettiva, a fessura, alla quota di circa 445 m, nella zona apicale del conoide e sono stati realizzati gli interventi previsti dal progetto di massima nel tratto medio-inferiore del conoide relativamente al tratto compreso tra le quote di 376 e 317 m, mentre permangono delle situazioni critiche per il tratto posto subito a monte dell'attraversamento del canale idroelettrico e per gli attraversamenti della ferrovia e della SS42.

#### Pericolosità morfologica.

Se mantenute in efficienza, le opere di regimazione finora realizzate consentono di trattenere, sia a monte del conoide sia nella zona apicale del conoide, la maggior parte del materiale che il corso d'acqua potrebbe trasportare a valle in occasione degli eventi di piena. Nelle condizioni attuali però, nel settore medio ed inferiore del conoide, nel tratto compreso tra la quota di circa 420 ed il canale idroelettrico e nel tratto posto a valle dell'attraversamento della ferrovia, le sezioni di deflusso non sono sufficienti a garantire il deflusso di portate dell'ordine della massima piena stimata per un tempo di ritorno di 100 anni e, localmente, anche di piene di minore entità. Il settore medio ed inferiore del conoide, fino a quando non verranno realizzati altri interventi di sistemazione, è quindi da considerare come quiescente e potenzialmente soggetto a fenomeni alluvionali. Le aree potenzialmente alluvionabili sono state rappresentate nella carta della dinamica morfologica. In ragione degli eventi alluvionali che le possono interessare queste aree sono da considerare, in funzione della loro distanza dall'alveo, di pericolosità da esondazione da alta a bassa, dal grado H4 al grado H2 secondo la classificazione proposta dalla Regione Lombardia.

#### 4d.3 - *Torrente Re*

##### Aspetti geomorfologici

Il bacino idrografico del torrente Re è caratterizzato in genere da elevate pendenze medie sia dei versanti sia delle curve di fondo dell'asta principale e degli impluvi secondari. L'asta principale ha un andamento condizionato dai contatti litologici e dal reticolo strutturale mentre gli impluvi secondari hanno generalmente uno sviluppo rettilineo. La testata della valle del torrente Re è stata sede di circhi glaciali relativamente ampi che, successivamente al ritiro del ghiacciaio würmiano, sono rimasti sospesi rispetto al fondovalle dell'Oglio. A questa situazione è legata la tendenza generale all'erosione di fondo che il corso d'acqua manifesta in tutto il proprio tratto medio e superiore.

Il tratto superiore del bacino, a monte di quota 1450-1500 m, è costituito dai circhi glaciali, ora inattivi, della zona di malga Campadelli, situato tra il monte Alta Guardia ed il monte Zincone, e della zona di malga Ferone e del

Dosso Meraviglia, compreso tra il monte Zincone, il monte Stabio ed il monte Ferone. L'assetto morfologico dell'area dei circhi è tipicamente glaciale con evidenti cordoni morenici e nivomorenici e gradini longitudinali. La dinamica morfologica è ora legata principalmente alla gravità, con falde detritiche di versante attive o quiescenti poste alla base delle pareti, alimentate dai fenomeni di degradazione che interessano gli ammassi rocciosi. I principali canali sono anche interessati stagionalmente da fenomeni di valanga. Nella zona delle conche glaciali di malga Campadelli e, soprattutto, di malga Ferone si risente anche della dinamica morfologica legata alle acque superficiali, con forme di ruscellamento diffuso o concentrato e forme locali di erosione lungo i corsi d'acqua principali. Nel complesso il settore superiore del bacino idrografico contribuisce in maggior misura alla portata liquida del torrente piuttosto che al trasporto solido.

Il settore intermedio del bacino idrografico raccorda la zona del circo glaciale con il fondovalle, tra le quote di circa 1450 e 550 m, dove si apre il conoide alluvionale. Questo tratto è caratterizzata da una forte pendenza media sia del fondovalle sia dei fianchi sia, soprattutto, degli impluvi secondari. A parte il tratto situato subito a valle dei gradini morfologici glaciali di malga Campadelli e di malga Ferone, dove si trova una coltre relativamente potente di depositi glaciali, l'alveo del torrente è in genere impostato nel substrato roccioso. A partire dalla quota di circa 1100 m, fino allo sbocco sul conoide, il fondovalle del torrente è costituito da una forra rocciosa relativamente incisa, generatasi per erosione lineare successivamente al ritiro del ghiacciaio della valle dell'Oglio. L'alveo del torrente è caratterizzato da tendenza all'erosione di fondo, ed a tratti laterale, a spese soprattutto dei depositi alluvionali presenti localmente e dei lembi di depositi detritici posti allo sbocco dei principali impluvi secondari. In corrispondenza dei fianchi della valle, dove la roccia è coperta da depositi superficiali, sono presenti fenomeni di degradazione con reptazione, erosione da ruscellamento e piccole frane per scivolamento. Dove affiora direttamente la roccia sono invece relativamente diffuse le forme di degradazione con piccoli fenomeni di crollo. Tutti questi fenomeni determinano l'accumulo di materiale detritico al fondo dell'alveo del torrente Re e degli impluvi secondari. Il materiale accumulato lungo gli impluvi secondari può essere evacuato in occasione di eventi meteorici intensi o prolungati, dando luogo anche a fenomeni di colata, ed essere trasportato nell'alveo del Re, ad incrementarne il trasporto solido durante le piene. Lungo gli impluvi situati in sponda destra, sotto la linea di cresta monte Mezullo-monte Ferone, il materiale può essere evacuato anche in occasione dei fenomeni valanghivi che si verificano episodicamente, in occasione di anni particolarmente nevosi.

Il tratto inferiore del torrente Re, a valle di quota 550 m, si sviluppa in corrispondenza dell'ampio conoide alluvionale che il torrente ha formato allo sbocco sul fondovalle dell'Oglio. Il settore medio-superiore del conoide, da quota 500 fino a circa 400 m è da considerare come morfologicamente inattivo. In questo tratto il corso d'acqua, in regione dell'elevata pendenza, tende infatti all'erosione di fondo e l'alveo è inciso entro gli stessi depositi di conoide, con scarpate d'erosione quiescenti di altezza variabile tra 5 e 12 m. La tendenza all'erosione di fondo è evidente nonostante le opere di regimazione presenti, che in alcuni casi sono parzialmente scalzate. Lungo le sponde esterne delle anse è intensa anche la tendenza all'erosione laterale che però è stata contenuta con difese di sponda.

Alla quota di circa 385 m il torrente passa al di sopra di un canale idroelettrico che ne deriva le acque. A valle del canale idroelettrico il torrente è tutto incanalato artificialmente; la pendenza del fondo diminuisce e, per tutto il tratto inferiore del conoide, la tendenza all'erosione di fondo è meno intensa e l'alveo non è molto inciso. La pendenza del fondo diminuisce ancora nella parte distale del conoide, a valle di quota 320 m: in questo tratto il

*Relazione illustrativa.*

torrente manifesta piuttosto la tendenza a depositare materiale in alveo. Alle quote di circa 317 e 311 m il torrente è attraversato rispettivamente dalla linea ferroviaria e dall'attuale tracciato della SS42.

Opere di regimazione idraulica

Nell'anno 1987 il torrente Re è stato interessato da una piena con elevato trasporto solido conseguente ai fenomeni erosivi presenti nel tratto intermedio del bacino. Con i lavori di pronto intervento, nel 1987 è stata realizzata la regimazione di tutto il tratto inferiore del torrente. Sono state realizzate opere per contenere il trasporto solido verso valle:

- briglia selettiva a fessura alla quota di 630 m, nella forra posta a monte del conoide;
- briglie selettive a finestra alle quote di 550 m e 520 m, all'apice del conoide alluvionale;

ed opere per contenere i fenomeni erosivi e limitare la possibilità di esondazione lungo tutto il conoide secondo le seguenti tipologie:

- scogliere lungo le sponde, soglie di fondo e briglie e fondo naturale nel tratto superiore dell'apice del conoide, tra 520 e 475 m;
- briglie e soglie di fondo tra 475 e 460 m;
- muri d'argine con soglie di fondo e sezione rettangolare nel tratto posto all'altezza del centro abitato, tra 460 e 385 m;
- canale a sezione trapezia con fondo e fianchi in pietra e calcestruzzo per tutto il tratto inferiore del conoide, fino a valle dell'attraversamento della SS42, da quota 385 fino a quota 304;
- muri d'argine in calcestruzzo e fondo naturale con sezione rettangolare nel tratto distale.

Sono state inoltre ampliate le sezioni degli attraversamenti della ferrovia e dell'attuale tracciato della SS42.

In ragione della forte tendenza all'erosione di fondo che caratterizza il torrente nella parte superiore del conoide, alcune soglie ed alcuni tratti di scogliera sono già stati in parte scalzati alla base, sia nel tratto compreso tra 520 e 500 m sia nel tratto compreso tra 480 e 460 m.

Successivamente al 1987 il torrente Re è stato inserito nell'elenco dei corsi d'acqua interessati dagli interventi di sistemazione finanziati con la Legge n.102 del 2 maggio 1990 e nel 1995 è stato oggetto di uno studio idrologico, idraulico ed idrogeologico finalizzato a definire, a livello di progetto di massima, gli interventi necessari per la messa in sicurezza delle zone del conoide del fondovalle rispetto a fenomeni alluvionali stimati per un tempo di ritorno di 100 anni. Fino ad oggi è stata completata la chiusura delle ali delle briglie di quota 550 e 520 m e sono state realizzate delle scogliere a difesa delle sponde nel tratto compreso tra queste due briglie mentre è stata fatta la manutenzione, con l'asportazione del materiale depositato in alveo, nel tratto posto a valle dell'attraversamento della ferrovia.

Pericolosità morfologica

Se mantenute in efficienza, le briglie selettive realizzate consentono di trattenere, a monte del conoide e nella sua zona apicale, la maggior parte del materiale che il corso d'acqua potrebbe trasportare a valle in occasione degli eventi di piena. Lungo il tratto di torrente posto in corrispondenza del conoide pertanto transita essenzialmente la portata liquida di piena, con un minimo di trasporto di fondo. Nella relazione idraulica relativa al progetto di massima degli interventi della Legge 102, è stata assunta come riferimento per i progetti di sistemazione la portata relativa alla massima piena con tempo di ritorno di 100 anni che, per le sezioni del conoide, risulta di 70 m<sup>3</sup>/s. Nella relazione tecnica allegata al progetto di massima si nota che le sezioni degli attraversamenti della

*Relazione illustrativa.*

ferrovia e dell'attuale SS42 presentano una sezione adeguata al deflusso della piena di riferimento. Nella stessa relazione si rileva invece che il tratto di alveo incanalato artificialmente, compreso tra il canale idroelettrico e l'attraversamento della ferrovia, presenta pendenze elevate e forti deviazioni, anse con raggi di curvatura ridotti, in corrispondenza delle quali l'acqua può fuoriuscire durante gli eventi di piena: per questa ragione il progetto di massima ha previsto la realizzazione di opere di presidio ambientale localizzate sulla sommità delle arginature.

Fino ad oggi le opere di presidio non sono ancora state realizzate. In occasione di eventi di piena con tempo di ritorno superiori a 100 anni le probabilità che si abbia fuoriuscita di acqua in corrispondenza delle sponde esterne delle anse e dell'attraversamento dell'attuale sede della SS42, sono ovviamente maggiori. Le briglie sono in grado di trattenere la maggior parte del trasporto solido e le sezioni d'alveo nella zona del conoide sono comunque in grado di smaltire portate dell'ordine di 70 m<sup>3</sup>/s e più per cui, anche in occasione di eventi di piena con tempi di ritorno superiori a 100 anni, l'eventuale esondazione comporta al massimo la fuoriuscita di acqua torbida, senza trasporto di fondo significativo, e con portate relativamente ridotte.

In relazione alla situazione morfologica del conoide, delle anse e degli attraversamenti, sono state definite le aree potenzialmente raggiungibili dalle acque di esondazione in occasione di eventi di piena stimabili per tempi di ritorno superiori a 100 anni. Le aree sono state rappresentate sulla carta della dinamica morfologica. Le aree sono state individuate tenendo conto della presenza del rilevato stradale del nuovo tracciato della SS42, in fase di costruzione, e della posizione dei relativi sottopassi. A valle della linea ferroviaria, che essendo in genere in rilevato costituisce una barriera per il deflusso delle acque superficiali, è molto difficile individuare le zone potenzialmente raggiungibili dalle acque di esondazione perchè le aree sono urbanizzate ed hanno una morfologia relativamente pianeggiante: in carta sono state quindi individuate delle aree di esondazione definite secondo le direzioni di probabile deflusso a partire dai punti in cui le acque possono oltrepassare la linea ferroviaria, attraversandola in superficie o con i sottopassi.

In ragione dell'entità del fenomeno, poichè possono essere raggiunte solo da acqua con materiale in sospensione, più o meno torbida, ma senza trasporto di fondo significativo e con portate relativamente contenute, le aree individuate, in assenza di altre opere di sistemazione, sono da considerare come zone a pericolosità da esondazione da media a bassa in funzione della distanza dall'alveo e della morfologia locale che può favorire la concentrazione delle acque, di grado variabile da H3 ad H2 in riferimento alle classi di pericolosità individuate dalla Regione Lombardia per la zonazione della pericolosità dei conoidi.

#### 4d.4 - *Torrente Cobello*

##### Aspetti litologici

Il bacino del torrente Cobello è impostato in gran parte entro rocce carbonatiche e solo nella parte superiore compaiono rocce magmatiche. Le rocce carbonatiche sono costituite da calcari marnosi a stratificazione sottile con fini interstrati di marne argillose; nella parte inferiore del bacino compaiono anche strati calcarei di spessore medio o, localmente, elevato. Le rocce magmatiche sono rappresentate in prevalenza da tonaliti a grana media ed in prossimità del Dosso Cochet compare una ristretta fascia di composizione dioritica. Nei pressi del limite con le rocce tonalitiche le rocce carbonatiche appaiono metamorfosate per contatto e trasformate in calcefirosi o marmi. A distanze maggiori dal limite, fino alla porzione inferiore del bacino, le rocce carbonatiche presentano un

carattere semimetamorfo con evidenza di una parziale ricristallizzazione; fasce poco ampie di calcefiri e marmi si ritrovano localmente anche nella parte inferiore del bacino.

#### Trasporto solido

Il torrente Cobello è contraddistinto da un elevato trasporto solido alimentato prevalentemente da fenomeni di erosione laterale che interessano i depositi glaciali e detritici presenti nella parte intermedia del bacino, in corrispondenza del gradino morfologico che raccorda la parte alta, rappresentata da una valle glaciale sospesa, al fondo della Val Camonica; ulteriore alimentazione è rappresentata dall'evacuazione del materiale, prodotto da locali fenomeni di degradazione delle pareti rocciose, che si accumula al fondo degli impluvi. I fenomeni elencati sono rappresentati per tutta l'area del bacino nell'allegata carta della pericolosità geomorfologica.

Una stima del trasporto solido del torrente appare di difficile valutazione e l'applicazione delle diverse formule esistenti in letteratura evidenzia valori fortemente variabili legati a valutazioni medie che necessariamente non tengono sufficientemente conto delle peculiari caratteristiche litologiche e morfologiche del bacino stesso.

Valutazioni effettuate ad esempio secondo l'espressione proposta da Gavrilovic per calcolare la quantità di materiale prodotto annualmente per erosione portano infatti a stime elevate (13000- 20000 m<sup>3</sup>/anno) proprio per la differenza tra le caratteristiche dei bacini idrografici presi a riferimento dall'autore e le caratteristiche del bacino del torrente Cobello.

Sulla base delle espressioni empiriche del tipo " $Q [m^3/anno] = \alpha A [Km^2]$ " - (dove Q è la quantità del trasporto solido annuo, A è l'area del bacino ed  $\alpha$  è un coefficiente che per i bacini della zona delle Alpi varia da 2000 a 4000) - si ricava una portata annua variabile da 450 a 900 m<sup>3</sup>. Una prima valutazione di larga massima può essere dedotta anche sulla base della presenza e dell'estensione dei fenomeni di erosione e degradazione presenti, ipotizzandone l'attività simultanea e la sovrapposizione dei loro apporti: in relazione all'intensità dei fenomeni si ottiene una portata dell'ordine di 4000-6500 m<sup>3</sup>.

#### Aspetti geomorfologici

L'intero bacino del torrente Cobello è caratterizzato da elevate pendenze medie sia dei versanti sia delle curve di fondo dell'asta principale e, soprattutto, delle aste secondarie. Le sinuosità dell'asta principale sono determinate essenzialmente dalla disposizione del reticolo di fratture che interessa l'ammasso roccioso mentre gli impluvi secondari presentano un decorso pressochè rettilineo. La valle del torrente Cobello, successivamente al ritiro del ghiacciaio würmiano, è rimasta sospesa rispetto al fondo valle dell'Oglio ed a questa situazione è legata la tendenza generale all'erosione di fondo che il corso d'acqua manifesta in tutto il proprio tratto medio e superiore.

Il tratto superiore del bacino, al di sopra della quota di circa 1100 m, è caratterizzato da pendenze elevate e costituisce sostanzialmente il raccordo tra le creste rocciose dello spartiacque e la valle vera e propria del torrente, che si sviluppa a partire dal tratto intermedio. Gran parte dei versanti, nella parte superiore del bacino, sono costituiti da roccia affiorante o subaffiorante con locali coperture detritiche od eluviali di modesto spessore e l'alveo principale e gli impluvi secondari sono direttamente impostati nel substrato roccioso, con pendenze medie del fondo sempre superiori al 45%. In questa parte del bacino si registra una forte produzione di materiale detritico derivante dalla degradazione delle pareti rocciose; questo materiale si accumula in corrispondenza di alcune falde detritiche di dimensioni limitate e soprattutto al fondo degli impluvi. I corsi d'acqua sono caratterizzati soprattutto dal trasporto di materiale, con l'evacuazione dei detriti presenti in alveo in occasione di eventi meteorici intensi o prolungati. Contribuisce al trasporto solido anche il materiale portato in alveo in seguito a

fenomeni erosivi o gravitativi che coinvolgono localmente le scarse coperture dei versanti, sia per azione delle acque di ruscellamento sia come conseguenza di piccole frane per scivolamento superficiale.

Il tratto medio-superiore del bacino idrografico, da circa 700 a 1100 m, è caratterizzato da una minore pendenza e da una netta dissimmetria dei versanti: ripido e con roccia prevalentemente affiorante o subaffiorante il versante destro, meno acclive e con una coltre estesa e potente di depositi glaciali il versante sinistro. In questo tratto compaiono anche piccoli cono detritico-alluvionali posti alla confluenza dei maggiori impluvi secondari. Nel tratto medio-superiore il corso d'acqua è caratterizzato da una notevole dinamicità, in un continuo riequilibrio tra erosione di fondo, alluvionamento e rimaneggiamento dei depositi che si formano temporaneamente a causa della diminuzione della pendenza dell'alveo rispetto al tratto superiore. Sostanzialmente il torrente mostra una tendenza a raggiungere un profilo di compensazione rispetto alla soglia rocciosa che costituisce il limite inferiore di questo tratto (700 m circa) con erosione regressiva che si esplica soprattutto a partire da quota 950 m. Nel corso degli ultimi eventi alluvionali il torrente ha eroso i depositi alluvionali presenti al fondo, i depositi di detrito posti allo sbocco di alcuni impluvi in destra idrografica ed i depositi glaciali presenti in sinistra. L'erosione laterale è particolarmente evidente lungo la sponda sinistra, tra circa 770 e 840 m, dove si trova una scarpata di erosione alta in media 4-5 m ed estesa per un tratto di circa 120 m. Queste scarpate di erosione possono ora evolversi indipendentemente dalle condizioni idrauliche del torrente anche come forme gravitative.

Il tratto medio-inferiore del torrente, compreso tra circa 700 e 530 m, coincide con una forra generata per erosione regressiva che raccorda la valle sospesa al fondo della Val Camonica. Questo tratto è caratterizzato da una pendenza di fondo relativamente elevata e da forte tendenza all'erosione di fondo, poco però evidente dato che l'alveo ed i fianchi sono impostati in roccia. Le pareti rocciose sono interessate diffusamente da fenomeni di degradazione con piccoli crolli, soprattutto, dove la roccia è localmente cataclasata per la presenza di piani di faglia.

Il tratto inferiore del torrente si sviluppa in corrispondenza dell'ampio conoide alluvionale formatosi al raccordo con il fondovalle dell'Oglio, su cui si trova buona parte dell'abitato di Niardo.

Nel tratto superiore del conoide, dall'apice fino alla quota di circa 400 m, l'alveo del torrente si trova relativamente incassato nei propri depositi, con scarpate d'erosione alte da 12 a 4 m: questo tratto del conoide è quindi da considerare come inattivo e non più esondabile nel corso delle piene. In tutto questo tratto l'alveo è interessato da una forte tendenza all'erosione di fondo ed all'erosione laterale lungo le sponde esterne delle anse: questa tendenza è però contenuta dalle opere di regimazione realizzate recentemente. In tutto il tratto sono infatti presenti briglie e soglie per contenere l'erosione di fondo mentre a difesa delle sponde ci sono scogliere in blocchi e calcestruzzo, da 500 a 470 m di quota, e muri d'argine in calcestruzzo da 470 a 390 m di quota.

Alla quota di 385 m circa il torrente passa al di sotto di un canale idroelettrico che ne deriva le acque. A valle del canale idroelettrico il torrente è tutto incanalato artificialmente. Subito a valle, fino alla quota di 376 m la sezione è rettangolare con fondo e sponde rivestite in pietra e calcestruzzo. A valle la sezione diventa trapezoidale: con fondo e sponde rivestiti in pietrame fino alla quota di 332 m e poi con fondo rivestito in pietrame e calcestruzzo e sponde solo in calcestruzzo. Alle quote di 320 e 316 m il torrente è attraversato rispettivamente dalla linea ferroviaria e dall'attuale tracciato della SS42; a valle di quest'ultima il fondo del canale è naturale.

Nel tratto inferiore del conoide la pendenza del fondo diminuisce rispetto al tratto superiore, l'alveo non è molto inciso e la tendenza all'erosione di fondo è meno intensa, anche se attiva in corrispondenza del solco centrale del

canale, dove si concentra lo scorrimento dell'acqua. Nella parte distale del conoide, a partire dall'attraversamento della ferrovia, la pendenza del fondo diminuisce ancora ed il torrente manifesta la tendenza a depositare materiale in alveo.

#### Opere di regimazione idraulica

Nell'anno 1987 il torrente Cobello è stato interessato da una piena con elevato trasporto solido conseguente ai fenomeni erosivi presenti nel tratto medio e superiore del bacino idrografico. Con i lavori di pronto intervento effettuati nel 1987 sono state realizzate la maggior parte delle opere di regimazione descritte precedentemente, ridefinendo le sezioni dell'alveo per favorire il deflusso delle acque, contenendo l'erosione di fondo con briglie, soglie e rivestimento del fondo, e contenendo l'erosione laterale con argini e scogliere. Per limitare il trasporto solido è stata realizzata anche una briglia selettiva a finestra, posta alla quota di 550 m, nella forra a monte del conoide. Sono state anche ampliate le sezioni degli attraversamenti della ferrovia e dell'attuale tracciato della SS42.

Successivamente al 1987 il torrente Cobello è stato inserito nell'elenco dei corsi d'acqua interessati dagli interventi di sistemazione finanziati con la Legge n.102 del 2 maggio 1990 e nel 1995 è stato oggetto di uno studio idrologico, idraulico ed idrogeologico. Lo studio ha definito, a livello di progetto di massima, gli interventi necessari per completare la messa in sicurezza delle zone del conoide di fondovalle rispetto a fenomeni alluvionali stimati per un tempo di ritorno di 100 anni. Fino ad oggi è stata realizzata una nuova briglia selettiva a fessura situata alla quota di 710 m, a monte della forra rocciosa, e sono state completate le difese di sponda nel tratto apicale del conoide, tra 500 e 470 m. E' stata fatta inoltre la manutenzione, con l'asportazione del materiale depositato in alveo, nel tratto posto a valle dell'attraversamento della ferrovia.

#### Pericolosità morfologica

Se mantenute in efficienza, le briglie selettive realizzate consentono di trattenere, a monte del conoide e nella sua zona apicale, la maggior parte del materiale che il corso d'acqua potrebbe trasportare a valle in occasione degli eventi di piena. Lungo il tratto di torrente posto in corrispondenza del conoide pertanto transita essenzialmente la portata liquida di piena, con un minimo di trasporto di fondo. Nella relazione idraulica relativa al progetto di massima degli interventi della Legge 102 è stata assunta come riferimento per i progetti di sistemazione la portata stimata per la massima piena con tempo di ritorno di 100 anni che, per le sezioni del conoide, risulta di 29 m<sup>3</sup>/s. Nella relazione tecnica allegata al progetto di massima, si nota che gli attraversamenti presenti lungo il corso d'acqua hanno sezioni sufficienti per il deflusso della piena di riferimento, ma si rileva la necessità di manutenzione periodica dell'alveo nel tratto distale del conoide, dove il corso d'acqua tende a depositare materiale, soprattutto in corrispondenza dell'attraversamento dell'attuale tracciato della SS42. Nella stessa relazione si rileva inoltre che il tratto di alveo incanalato artificialmente, compreso tra il canale idroelettrico e l'attraversamento della ferrovia, presenta pendenze elevate e forti deviazioni, anse con raggi di curvatura ridotti, in corrispondenza delle quali l'acqua può fuoriuscire durante gli eventi di piena: per questa ragione il progetto di massima ha previsto la realizzazione di opere di presidio ambientale localizzate sulla sommità delle arginature.

Una prima verifica, effettuata in regime di moto uniforme, ha messo in evidenza che le sezioni d'alveo nella zona del conoide sono sicuramente in grado di smaltire portate dell'ordine di 30-40 m<sup>3</sup>/s. Una valutazione di maggior dettaglio, in regime di moto permanente, può essere fatta solo disponendo di un rilievo topografico a scala adeguata di tutto il canale.

*Relazione illustrativa.*

Poichè le briglie realizzate di recente sono in grado di trattenere la maggior parte del trasporto solido si ritiene che, anche in occasione di eventi di piena con tempi di ritorno superiori a 100 anni, l'eventuale esondazione possa comportare al massimo la fuoriuscita di acqua torbida, senza trasporto di fondo significativo e con portate relativamente ridotte. In relazione alla situazione morfologica del conoide, delle anse e degli attraversamenti, sono state definite le aree potenzialmente raggiungibili dalle acque di esondazione in occasione di eventi di piena stimabili per tempi di ritorno superiori a 100 anni. Le aree sono state rappresentate sulla carta della dinamica morfologica. Le aree sono state individuate tenendo conto della presenza del rilevato stradale del nuovo tracciato della SS42, in fase di costruzione, e della posizione dei relativi sottopassi. A valle della linea ferroviaria, che essendo in genere in rilevato costituisce una barriera per il deflusso delle acque superficiali, è molto difficile individuare le zone potenzialmente raggiungibili dalle acque di esondazione perchè le aree sono urbanizzate ed hanno una morfologia relativamente pianeggiante: in carta sono state quindi rappresentate delle aree individuate sulla base delle direzioni di probabile deflusso, definite a partire dai punti in cui le acque possono oltrepassare la linea ferroviaria, attraversandola in superficie o con i sottopassi.

In ragione dell'entità del fenomeno, poichè possono essere raggiunte solo da acqua con materiale in sospensione, più o meno torbida, ma senza trasporto di fondo, e con portate relativamente contenute, le aree individuate, in assenza di altre opere di sistemazione, sono da considerare come zone a pericolosità da esondazione a pericolosità da esondazione da media a bassa in funzione della distanza dall'alveo e della morfologia locale che può favorire la concentrazione delle acque, di grado variabile da H3 ad H2 in riferimento alle classi di pericolosità individuate dalla Regione Lombardia per la zonazione della pericolosità dei conoidi.

#### 4d.5 Fiume Oglio

##### Aspetti morfologici

Nel tratto compreso nel territorio comunale di Niardo il fiume Oglio ha un comportamento intermedio tra un corso d'acqua a canali meandriformi ed un corso d'acqua a canali intrecciati. Questo tratto si trova infatti al raccordo con la zona della piana alluvionale di Breno, sostenuta a valle da una soglia rocciosa e caratterizzata una pendenza molto bassa, dove il fiume mostra un comportamento da canale meandriforme. Il tratto posto a monte presenta invece una pendenza maggiore e l'alveo è caratterizzato dalla presenza di barre longitudinali che si sviluppano soprattutto a valle delle sinuosità. In questo tratto l'alveo è inoltre inciso entro i depositi dei conoidi alluvionali, con brevi e poco ampi tratti di piana sostenuti dalle soglie create dalla confluenza dei corsi d'acqua laterali. Nel tratto compreso tra le confluenza dei torrenti Fa e Cobello è presente una fascia di fondovalle che a seconda delle condizioni può essere interessata dalle esondazioni del fiume o dalle colate dei torrenti. La presenza dei corsi d'acqua laterali determina anche una forte sinuosità dell'alveo fluviale che si sviluppa al bordo dei conoidi. In corrispondenza delle sinuosità sono spesso presenti delle barre longitudinali la cui esistenza è legata sia alla deposizione da parte del fiume Oglio sia al materiale portato in Oglio dai corsi d'acqua laterali. La dinamica fluviale di questo tratto è infatti relativamente complessa in ragione della sovrapposizione tra l'attività del fiume Oglio e quella dei maggiori affluenti, soprattutto del torrente Palobbia, che confluisce poco a monte del tratto in esame ed è caratterizzato da un forte trasporto solido.

L'alternarsi delle fasi di piena e di magra e gli apporti degli affluenti determinano il succedersi di fasi di deposizione e di rimaneggiamento con erosione del materiale deposto in alveo. Sul lungo periodo prevale la

tendenza all'erosione di fondo lungo tutto il tratto in esame, con maggiore intensità a monte della soglia posta all'altezza del ponte della strada per Losine. In tutto il tratto in esame si nota inoltre la tendenza all'erosione laterale lungo le sponde esterne delle anse e, localmente, anche nei tratti rettilinei, in ragione delle divagazioni della corrente provocate dalla deposizione in alveo di barre temporanee.

#### Opere di regimazione idraulica

L'erosione laterale è meno evidente nel tratto posto a valle del ponte della strada per Losine, dove è stata recentemente risagomata la sponda destra. Con questi ultimi lavori la sponda destra del fiume Oglio, nel tratto compreso nel territorio di Niardo, risulta tutta protetta da opere di difesa:

- scogliera in massi di pietra legati con il calcestruzzo nei tratti posti subito a valle e subito a monte della confluenza del torrente Re;
- argine in terra protetto al piede da una scogliera di massi per tutto il resto del tratto.

#### Pericolosità morfologica

La situazione morfologica del tratto di piana di fondovalle situata in sinistra idrografica nel tratto compreso tra la confluenza del torrente Re e del torrente Fa la rende ancora potenzialmente alluvionabile in occasione delle piene maggiori. Morfologicamente la piana si estende dall'argine dell'alveo attuale fino al piede della scarpata di erosione che il fiume ha inciso nella zona distale dei conoidi, che decorre in posizione prossima all'attuale tracciato della SS42.

Una valutazione delle aree potenzialmente esondabili è stata fatta nello studio che ha portato alla redazione delle "Mappe delle aree a rischio idraulico della Valle Camonica redatte dall'ISMES per conto della Regione Lombardia nell'ambito degli studi relativi al "Piano-programma di ricostruzione, riconversione e sviluppo della Valtellina e delle zone adiacenti delle province di Como, Bergamo e Brescia colpite dalle avversità atmosferiche dei mesi luglio-agosto 1987". In queste mappe, redatte sulla base della CTR alla scala 1:10.000, sono state riportate le aree inondabili con un rischio di superamento del 10% in 100 anni. Sulla cartografia non sono indicate le portate della piena di riferimento, ma in corrispondenza delle sezioni sono riportate la quota del pelo libero della corrente. Le zone di esondazione individuate da queste mappe comprendono buona parte della piana di fondovalle, fino al limite delle costruzioni poste alla base della scarpata di erosione che delimita il settore distale dei conoidi alluvionali.

Più recentemente è stata fatta una valutazione delle aree di esondazione da parte dell'Autorità di bacino del fiume Oglio che ha pubblicato, nell'ambito del Piano stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI), adottato nel 2001, la cartografia delle aree a rischio idraulico redatte sulla base della CTR alla scala 1:25.000. In questo studio le zone di esondazione sono state definite sulla base di una stima della massima portata con tempo di ritorno di 200 anni e sono state individuate tre differenti fasce:

- fascia A: di deflusso della piena, che consente il deflusso di una portata pari allo 80% della massima piena di riferimento; questa fascia comprende, oltre all'alveo attuale, una parte della piana alluvionale posta nel tratto compreso tra le confluenze del Cobello e del Re e compresa soprattutto nel territorio di Braone;
- fascia B: di esondazione, nell'ambito della quale defluisce interamente la massima piena di riferimento; questa fascia comprende buona parte della piana di fondovalle, fino al limite delle costruzioni poste alla base della scarpata di erosione che delimita il settore distale dei conoidi alluvionali;

*Relazione illustrativa.*

- fascia C: area di inondazione catastrofica definita in riferimento a portate con tempi di ritorno di 500 anni; questa fascia si estende fino al tracciato della linea ferroviaria FNME, al di sopra dell'orlo della scarpata di erosione che delimita il settore distale dei conoidi alluvionali.
- Nel tratto di piana situato subito a valle del ponte per Losine, è presente anche un'area limitata internamente rispetto all'alveo del fiume da una linea definita come "limite di progetto tra la fascia B e la fascia C" che individua la necessità di realizzare un intervento a protezione delle zone già edificate che nelle condizioni attuali, e fino a quando non verranno realizzate le opere di difesa, sono potenzialmente alluvionabili da parte del fiume Oglio.

Le Fasce Fluviali e la posizione delle sezioni di verifica sono state riportate sulla Carta Idrogeologica e sulla Carta di Sintesi. Le mappe non riportano il valore delle portate di riferimento, che sono stati resi pubblici solo per il tratto di fiume posto a valle di Cividate: alla sezione di Cividate, situata non molto a valle di Niardo, la portata per la massima piena con tempo di ritorno di 200 anni è stata stimata in 980 m<sup>3</sup>/s. In corrispondenza delle sezioni di verifica sono però note le quote del pelo libero della corrente, riportate nella seguente tabella.

<i>Sezioni</i>	<i>Livello idrico Q200</i>	<i>Sezioni</i>	<i>Livello idrico Q200</i>
041	317.41 m	039	301.20 m
040	307.69 m	038	293.55 m

## **5. CARTA DELLA DINAMICA GEOMORFOLOGICA DI DETTAGLIO CON ELEMENTI LITOLOGICI**

La carta della dinamica morfologica è stata redatta sulla base della carta tecnica comunale alla scala 1:2.000. Questa base cartografica rappresenta il settore di territorio comunale posto in corrispondenza del fondovalle, comprendendo tutte le aree di interesse urbanistico.

Nell'elaborato sono rappresentati gli elementi che contribuiscono in modo significativo a definire nel dettaglio le condizioni di pericolosità delle aree in esame. Sono stati quindi riportati gli elementi attivi e quiescenti identificati con il rilievo geomorfologico per i quali si rimanda alla descrizione fatta nei paragrafi relativi alla Carta Geomorfologica ed alla Carta Idrogeologica.

In questo elaborato gli aspetti litologici del settore di fondovalle, dove sono presenti essenzialmente dei depositi superficiali, sono stati esaminati dal punto di vista della caratterizzazione geotecnica applicando la classificazione ASTM dei terreni.

### **5a ASPETTI RELATIVI ALLA PERICOLOSITÀ MORFOLOGICA**

L'esame complessivo della dinamica morfologica del settore di fondovalle, comprendente tutte le aree di interesse urbanistico, ha permesso di individuare le situazioni che rappresentano un potenziale elemento di pericolosità morfologica per le aree attualmente urbanizzate e per le aree che presumibilmente potranno essere interessate in futuro da interventi di urbanizzazione.

Gli elementi di pericolosità sono rappresentati da:

1. dinamica morfologica, con potenzialità di esondazione, da parte del fiume Oglio: per quanto riguarda questo aspetto si rimanda alla descrizione della Carta Idrogeologica nella quale è stata esaminata la situazione sia sotto l'aspetto morfologico sia in riferimento alla delimitazione delle fasce di rischio idraulico proposte dall'Autorità di Bacino del fiume Po nell'ambito del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico;
2. dinamica morfologica dei corsi dei conoidi alluvionali dei torrenti Fa, Re e Cobello: anche per questi aspetti si rimanda alla descrizione della Carta Idrogeologica dove la situazione è stata esaminata per ogni singolo corso d'acqua tenendo conto delle opere di regimazione presenti;
3. dinamica morfologica della base del versante sinistro della valle Camonica, nel tratto posto a monte dell'abitato di Niardo: alcuni aspetti relativi a questo settore sono stati trattati nella descrizione delle single voci della Carta Geomorfologica mentre si rimanda al paragrafo successivo per un esame complessivo.

#### *Dinamica della base del versante sinistro della Val Camonica.*

Le aree poste in corrispondenza del piede del versante della Val Camonica sono caratterizzate in genere da acclività relativamente elevata che, in ragione della situazione idrogeologica al contorno e delle caratteristiche geotecniche dei terreni, determina in molti casi la presenza di fenomeni di reptazione, di forme di erosione per ruscellamento e di fenomeni franosi.

Sulla base delle caratteristiche geotecniche e dei fenomeni prevalenti si possono individuare due diverse situazioni.

Settore posto alla base del versante in corrispondenza dell'apice del conoide del torrente Cobello. In questo settore la base del versante è impostata in roccia, a tratti alterata e coperta da depositi detritico-colluviali, oppure in depositi antichi di conoide alluvionale e depositi fluvioglaciali, in parte cementati. La forte acclività della base del versante determina la presenza di forme di degradazione con reptazione intensa e possibilità di innesco di fenomeni di frana per scivolamento nella coltre superficiale che ricopre la roccia. I fenomeni franosi già avvenuti hanno coinvolto anche i terrazzamenti sostenuti da muri in pietra a secco presenti localmente. Si tratta di fenomeni di piccole dimensioni con volumetrie massime dell'ordine di qualche decina di metri cubi. La degradazione del substrato roccioso e degli orizzonti cementati presenti entro i depositi fluvioglaciali e di conoide alluvionale antico determina invece l'insorgere di fenomeni di crollo. Anche in questo caso si tratta di fenomeni di piccole dimensioni, che coinvolgono volumetrie complessive di pochi metri cubi; i volumi unitari dei singoli frammenti sono mediamente dell'ordine di qualche decimetro cubo, ma possono raggiungere anche il metro cubo, soprattutto per quanta riguarda alcuni massi contenuti nei depositi fluvioglaciali. L'espandimento di questi fenomeni, sia degli scivolamenti sia dei crolli, può interessare alcune abitazioni ed alcuni tratti di strada posti alla base delle pareti.

E' quindi necessario che queste zone siano tenute sotto continuo controllo in modo da potere realizzare in tempo eventuali interventi di sistemazione o di bonifica per evitare il verificarsi di nuovi episodi di frana.

Si consiglia comunque di intervenire quanto prima, a livello preventivo, con opere che consentano di controllare e contenere l'evoluzione dei siti:

- manutenzione dei muri a secco;
- ripristino o mantenimento di una copertura vegetale in grado di proteggere il terreno dall'erosione senza creare problemi di sovraccarico;
- organizzazione delle acque di scorrimento superficiale (in particolare quelle che si concentrano lungo le strade) in modo da evitare fenomeni di erosione o di saturazione dei terreni;
- bonifica o protezione dei tratti di parete dove il substrato roccioso si presenta maggiormente alterato o sconnesso.

#### *Dinamica della base del versante compresa tra il torrente Cobello ed il torrente Fa.*

In questo settore la base del versante è impostata in una potente coltre di depositi glaciali e fluvioglaciali relativamente ben addensati o consolidati. L'acclività dei siti è però relativamente elevata e sono quindi diffusi i fenomeni di degradazione rappresentati da reptazione intensa e da forme di ruscellamento diffuso o concentrato che interessano principalmente la parte superficiale ed alterata dei depositi. In questo settore si sono anche sviluppati fenomeni franosi per scivolamento e colata dei quali sono ancora relativamente evidenti le nicchie ora inattive: fenomeni franosi attivi e quiescenti sono tuttora presenti sul fianco destro della valle del Re, a monte di alcune abitazioni situate in via Motta, della strada di accesso alla centrale idroelettrica e della centrale stessa.

Il procedere dei fenomeni di reptazione e di ruscellamento può portare ancora all'innesco di frane per scivolamento e colata che nel loro espandimento possono facilmente raggiungere le abitazioni poste alla base del

versante. Sulla base del rilievo morfologico le dimensioni dei fenomeni avvenuti in passato, e dei fenomeni che si potrebbero verificare in futuro, sono comprese tra qualche decina e qualche centinaio di metri cubi.

Le caratteristiche litologiche dei depositi glaciali e fluvioglaciali rendono particolare questo settore dal punto di vista della pericolosità morfologica. Questi depositi sono infatti caratterizzati dalla presenza di massi di tonalite, spesso di forma arrotondata, aventi dimensioni medie comprese tra 0.05 e 0.5 m<sup>3</sup> e dimensioni massime osservate fino a circa 3 m<sup>3</sup>; tutto il pendio è costellato di massi ben visibili, alcuni immersi parzialmente nel terreno, altri semplicemente appoggiati; alcuni sono già stati consolidati in passato con muri a secco. I fenomeni di erosione da ruscellamento e gli stessi fenomeni di reptazione possono rimuovere via via il materiale che tiene imballati i massi e provocarne il movimento verso valle: in ragione della forte acclività del pendio i massi possono raggiungere, facilmente e con energie elevate, le abitazioni poste alla base del pendio. Nel tratto posto subito a monte dell'abitato di Niardo il piede del versante è inoltre occupato da un bosco di abeti che non costituisce una copertura vegetale ideale per situazioni caratterizzate da forte acclività. In ragione delle considerazioni espresse si ritiene necessario che la situazione morfologica di questo tratto di versante sia tenuta sotto controllo per seguirne l'evoluzione e per realizzare eventuali interventi di manutenzione e sistemazione. Si consiglia pertanto di favorire:

- una gestione del bosco che eviti tagli eccessivi e mantenga una copertura vegetale in grado di proteggere il terreno dall'erosione senza creare problemi di sovraccarico, procedendo eventualmente ad una sostituzione delle essenze che attualmente sono in parte rappresentate da abete rosso;
- una organizzazione delle acque di scorrimento superficiale (in particolare quelle che si concentrano lungo le strade) in modo da evitare fenomeni di concentrazione locale con erosione o saturazione dei terreni.

## 5b ASPETTI LITOLOGICO-TECNICI

Nel tratto di territorio di interesse urbanistico, corrispondente al settore di fondovalle, è in genere presente una coltre continua e potente di depositi superficiali di origine glaciale ed alluvionale mentre il substrato roccioso affiora solo a monte della zona apicale dei conoidi alluvionali. Il rilievo di campagna ha consentito di osservare con relativo dettaglio gli aspetti granulometrici e tessiturali dei depositi e di valutarne, in prima approssimazione, le caratteristiche geotecniche. Nei seguenti paragrafi i principali depositi sono descritti da un punto di vista granulometrico in riferimento alle classi ASTM e sono classificati in riferimento alla classificazione AGI ed ASTM.

### *Depositi glaciali e fluvioglaciali*

I depositi presenti alla base del versante della Val Camonica, a monte dell'abitato di Niardo, sono rappresentati principalmente da depositi fluvioglaciali e da depositi glaciali di ablazione e di fondo. I depositi fluvioglaciali sono soprattutto da livelli grossolani con massi, ciottoli e ghiaia imballati in sabbia e limo (ghiaia sabbiosa debolmente limosa - AGI) che, in funzione della percentuale di matrice, corrispondono alle classi GP o GM della classificazione ASTM. Questi depositi presentano in genere un grado di addensamento medio e sono caratterizzati nel complesso da parametri geotecnici da buoni a discreti. I depositi glaciali sono rappresentati principalmente da orizzonti di ablazione costituiti da ghiaia con ciottoli e blocchi immersi in matrice

*Relazione illustrativa.*

prevalentemente sabbiosa e limosa e solo molto debolmente argillosa (ghiaia sabbiosa e limosa, molto debolmente argillosa - AGI). La matrice è plastica, ma non adesiva, in ragione del basso contenuto in argilla. Questi orizzonti corrispondono alla classe GM della classificazione ASTM.

*Orizzonti di alterazione dei depositi glaciali e fluvioglaciali e depositi detritico-colluviali*

I depositi glaciali e quelli fluvioglaciali presentano in genere un orizzonte superficiale alterato e poco addensato, avente uno spessore dell'ordine di 0.5-1.5 m; alla base del versante, al raccordo con i depositi dei conoidi alluvionali, si trovano inoltre delle coltri di materiale detritico-colluviale costituito principalmente dal materiale di alterazione dei depositi glaciali e fluvioglaciali colluviato al piede del pendio. A causa dell'alterazione questo deposito presenta un contenuto in fini maggiore rispetto ai depositi originari, passando da ghiaia e sabbia con limo a sabbia ghiaiosa e limosa, corrispondenti alle classi GM e SM della classificazione ASTM. I parametri geotecnici di questo deposito sono mediocri.

*Depositi di conoide alluvionale - settore superiore e medio*

I conoidi alluvionali dei torrenti Fa, Re e Cobello sono costituiti da depositi relativamente grossolani la cui granulometria diminuisce dall'apice verso la zona distale passando da massi, ciottoli e ghiaia a ghiaia, sabbia e limo. I depositi derivano sia da corrente trattiva sia da fenomeni di trasporto in massa: nel primo caso si hanno orizzonti con scarsa frazione fine e con gli elementi grossolani, massi, ciottoli e ghiaia, che costituiscono lo scheletro del deposito (GP), nel secondo caso si ha un contenuto apprezzabile di frazione fine, con sabbia e limo, in cui sono imballati gli elementi più grossolani (GM).

A titolo indicativo della situazione stratigrafica del settore apicale dei conoidi sono disponibili le stratigrafie dei sondaggi geognostici eseguiti in occasione del progetto di massima degli interventi relativi alla "Legge Valtellina".

I sondaggi riguardano in particolare la sponda destra del Fa all'altezza della briglia di quota 445 m e la sponda sinistra del Cobello alla quota di 515 m. Per il sondaggio eseguito sul conoide del Fa sono riportati anche i risultati delle prove penetrometriche tipo SPT eseguite in foro.

Nel complesso i depositi di conoidi alluvionale presenti nel settore apicale e medio, corrispondenti alle classi GP e GM della classificazione ASTM, sono caratterizzati da un grado di addensamento basso e, in ragione alla granulometria, da parametri geotecnici da buoni a discreti.

Torrente Fa - quota 445 m

<i>Profondità [m]</i>	<i>Stratigrafia</i>	<i>Profondità e NSPT</i>
0.0	Ghiaia sabbiosa con ciottoli e massi	
4.5		
5.0	Ghiaia sabbiosa e debolmente limosa con ciottoli	
6.8	Ghiaia e ciottoli	
Da 6.80 a 7.20 m		
9.3	Sabbia limosa con ghiaia e rari ciottoli	7.3 m: 8 - 15 - 16
11.5	Ghiaia e ciottoli con sabbia limosa	10.6 m: 6 - 13 - 15
13.2	Sabbia limosa con ghiaia e ciottoli	14.1 m: 10 - 18 - Rifiuto
17.0	Ghiaia con ciottoli e sabbia limosa a 16.50 m livello di limo nero	
20.0	Ghiaia e ciottoli con sabbia limosa	17.0 m: 12 - 14 - 17

Torrente Cobello - quota 515 m

<i>Profondità [m]</i>	<i>Stratigrafia</i>
0.00	Massi e ciottoli con ghiaia e sabbia
6.70	
9.00	Sabbia e ghiaia
15.00	Alternanza di livelli ghiaia e sabbia e livelli di ghiaia sabbiosa con ciottoli e massi

*Depositi di conoide alluvionale - settore inferiore*

Nel settore distale dei conoidi dei torrenti Fa, Re e Cobello si trova una fascia di transizione alla piana del fiume Oglio dove si sono avuti episodi di sedimentazione relativamente fine legate sia a colate da parte dei torrenti sia ad esondazione parte dell'Oglio. In questa fascia si trovano soprattutto livelli di sabbie e di sabbie e limo poco addensati corrispondenti alle classi SM ed ML della classificazione ASTM, ai quali competono parametri geotecnici da mediocri a scadenti.

*Depositi alluvionali*

I depositi che costituiscono la piana di fondovalle del fiume Oglio sono rappresentati in superficie, per uno spessore variabile da 0.5 a 2 m, da un orizzonte relativamente fine di sabbia e di sabbia con limo, deposto in occasione dei fenomeni di esondazione, corrispondente alle classi SW o SM della classificazione ASTM. Questo orizzonte non è addensato ed è contraddistinto da parametri geotecnici mediocri. Al di sotto del primo orizzonte si trovano invece dei livelli grossolani costituiti prevalentemente da ghiaia, ciottoli e sabbia, privi delle frazioni limosa ed argillosa, corrispondenti alla classe GW della classificazione ASTM. Questi livelli sono presentano da un grado di addensamento da basso a medio e sono caratterizzati da parametri geotecnici da discreti a buoni.

## **FASE DI VALUTAZIONE**

---

### SINTESI DEGLI ELEMENTI

#### **6. CARTA DI SINTESI**

Negli intenti della normativa di riferimento la Carta di Sintesi è un elaborato finalizzato a definire un quadro sintetico ed immediato dello stato geologico del territorio. Questa carta deriva dalla valutazione d'insieme degli elementi emersi nella fase d'indagine, rappresentati negli elaborati cartografici illustrati nei paragrafi precedenti, integrata dalle informazioni relative ai principali indirizzi ed orientamenti di pianificazione a carattere geologico, morfologico ed idrogeologico.

Per rendere più immediata la consultazione di questo elaborato la rappresentazione delle informazioni è stata semplificata, privilegiando, per quanto possibile, una rappresentazione areale.

Nella carta di sintesi sono rappresentate le seguenti categorie di elementi.

◆ *Forme, processi e depositi attivi e quiescenti.* In questa categoria rientrano tutti elementi che possono subire un'evoluzione rispetto alle condizioni osservate nella fase di rilievo. Per la descrizione di dettaglio di questi elementi si rimanda ai paragrafi riguardanti la Carta Geomorfologica.

◆ *Delimitazione delle Fasce Fluviali* individuate dal Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino ed adottato il 26 aprile 2001. Per l'esame di questi elementi si rimanda ai paragrafi relativi alla carta Idrogeologica mentre per le normative si rimanda al paragrafo relativo alla fattibilità geologica.

◆ *Situazioni idrogeologiche critiche.* In questo ambito sono state rappresentate le aree potenzialmente alluvionabili da parte dei torrenti Fa, Re e Cobello, i tratti di alveo e gli attraversamenti con sezioni insufficiente e le zone caratterizzate dalla presenza di terreni con parametri geotecnici mediocri. Per l'esame di questi elementi si rimanda ai relativi paragrafi contenuti nella descrizione delle carte di analisi.

◆ *Aree di particolare interesse scientifico e naturalistico.* La fase di rilievo ha permesso di riconoscere nell'ambito del territorio comunale di Niardo alcune situazioni morfologiche e mineralogico-petrografiche che presentano un particolare pregio dal punto di vista scientifico e naturalistico. Si tratta di situazioni già ben note

che si è ritenuto opportuno mantenere all'attenzione di chi si occupa della pianificazione del territorio riportandole nella carta di sintesi.

Le aree individuate sono legate alla situazione litologica del territorio di Niardo che comprende un settore della zona di contatto tra le rocce magmatiche del plutone dell'Adamello e le rocce sedimentarie entro cui il plutone si è intruso. In questo settore si rileva pertanto una notevole ricchezza petrografica di interesse scientifico, dovuta alla presenza di rocce magmatiche da acide a basiche (granodioriti, tonaliti e dioriti, filoni aplitici e porfiritici), di rocce sedimentarie (calcari, marne, siltiti) e di rocce derivanti dal loro metamorfismo di contatto (marmi, calcefiri e cornubianiti). Al metamorfismo di contatto si accompagna inoltre una notevole varietà di specie mineralogiche pregevoli anche dal punto di vista collezionistico (grossularia, xantofillite, epidoto, fassaite, vesuviana). Queste situazioni si ritrovano alla testata della valle del torrente Re e della Val di Stabio e, in parte, anche alla testata della valle del torrente Cobello. In particolare sono note in letteratura le formazioni a vesuviana e grossularia della zona del Dosso degli Areti, alla testata della valle del Cobello, in corrispondenza dello spartiacque con la valle del torrente Palobbia.

Oltre che per le rilevanze petrografiche e mineralogiche la testata della valle del torrente Re e della Val di Stabio rivestono un notevole interesse anche dal punto di vista morfologico-paesaggistico in ragione delle testimonianze relative alla morfologia glaciale ed alla loro evoluzione nelle condizioni climatiche attuali.

◆ *Vincoli.* In carta sono stati rappresentati il limite delle zone soggette a vincolo idrogeologico ai sensi del r.d.l. 30/12/1923 n. 3267 ed il limite delle zone comprese nel Parco naturale dell'Adamello. Entrambi questi elementi comprendono sostanzialmente il settore di territorio tutte le aree situate sul versante sinistro della Val Camonica a monte dell'abitato di Niardo, a partire da una quota media di circa 500 m. Per quanto riguarda il Parco dell'Adamello si ricorda che la testata della Valle di Stabio è considerata come Riserva Naturale Orientata.

## **FASE PROPOSITIVA**

---

### *FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO*

## **7. CARTA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO**

La Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano (Allegato 6) è stata definita sulla base dell'esame degli elaborati precedenti, con particolare attenzione alla Carta di Sintesi ed alla Carta della Dinamica Geomorfologica. La Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano è finalizzata a fornire indicazioni generali in ordine alla destinazione d'uso delle aree, alle cautele da adottare per gli interventi, agli studi ed alle indagini da effettuare per gli eventuali approfondimenti, alle opere di riduzione del rischio ed alla necessità di controllo dei fenomeni in atto. In accordo con le indicazioni della normativa di riferimento le aree di interesse urbanistico sono state assegnate a quattro differenti classi di fattibilità.

Nel primo paragrafo si riportano sinteticamente le definizioni di ciascuna classe di fattibilità in riferimento ai "Criteri ed indirizzi relativi alla componente geologica nella pianificazione comunale".

Nel secondo paragrafo sono riportate le indicazioni di carattere generale per le indagini necessarie per valutare la fattibilità dei singoli interventi.

Nel terzo paragrafo sono descritti i fattori limitanti presenti nelle singole aree e sono riportate le indicazioni relative agli approfondimenti necessari.

### **7a - CLASSI DI FATTIBILITÀ**

La normativa di riferimento prevede la distinzione di quattro classi con limitazioni crescenti dalla classe 1 alla classe 4. Nell'ambito del territorio considerato sono state assegnate aree a tutte le classi di fattibilità.

- **Classe 4 - Fattibilità con gravi limitazioni.**

*La classe comprende quelle aree per le quali sono state individuate elevate condizioni di rischio, con gravi limitazioni per la modifica delle destinazioni d'uso delle particelle. Dovrà essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Eventuali opere pubbliche e di interesse pubblico che non prevedano la presenza continuativa e temporanea*

*di persone, dovranno essere valutate puntualmente. A tal fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale, dovrà essere allegata apposita relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave rischio idrogeologico.*

Nell'ambito del tratto di territorio compreso nella carta di fattibilità sono state assegnate alla classe 4 le aree corrispondenti all'alveo attuale dei corsi d'acqua. In accordo con la definizione della classe in queste aree dovrà essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Eventuali interventi dovranno necessariamente essere definiti sulla base di studi idrologici ed idraulici. Alla classe 4 vanno assegnate anche le zone di tutela assoluta delle sorgenti captate per uso potabile e le aree comprese nella Fascia Fluviale A individuata dal Piano stralcio di Assetto Idrogeologico.

Per quanto riguarda le zone di tutela assoluta delle sorgenti, che non sono rappresentate direttamente nella carta della fattibilità in quanto ricadono in un'area non coperta dalla cartografia alla scala 1:2.000, si rimanda alla descrizione riportata nel paragrafo sull'idrogeologia e alle norme contenute nel testo dell'Art. 5 del DPR 24 maggio 1988, n.236.

A questa classe è stato assegnato anche un'area situata nel settore intermedio del conoide alluvionale del torrente Fa, subito a monte del canale idroelettrico, dove l'alveo non è stato oggetto di interventi di sistemazione e dove sono maggiori le possibilità di esondazione con portate e trasporto solido significativi. L'assegnazione a questa classe potrà essere modificata qualora venissero realizzate opere di difesa adeguate.

Per le aree comprese nelle Fasce Fluviali si rimanda ai paragrafi successivi dove sono riportate le indicazioni per gli approfondimenti di indagine.

• **Classe 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni.**

*La classe comprende zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni per l'entità e la natura dei rischi individuati nell'area di studio o nell'immediato intorno. L'utilizzo di queste zone sarà pertanto subordinato alla realizzazione di supplementi di indagine per acquisire una maggior conoscenza geologico-tecnica dell'area e del suo intorno, mediante campagne geognostiche, prove in sito e di laboratorio, nonché mediante studi tematici specifici di varia natura (idrogeologici, idraulici, ambientali, pedologici etc.). ciò dovrà consentire di precisare le idonee destinazioni d'uso, le volumetrie ammissibili, le tipologie costruttive più opportune nonché le opere di sistemazione e bonifica.*

Le aree assegnate alla classe 3 di fattibilità comprendono il settore della base del versante sinistro della Val Camonica, le zone adiacenti all'alveo dei corsi d'acqua Fa, Re e Cobello e le zone potenzialmente alluvionabili con piene ordinarie, stimate per eventi con tempo di ritorno di 100 e 200 anni, comprendendo pertanto buona parte della piana di fondovalle del fiume Oglio e del conoide alluvionale del torrente Fa ed una parte dei conoidi dei torrenti Re e Cobello. La destinazione d'uso delle aree assegnate alla classe 3 è subordinata all'esecuzione di studi ed indagini specifiche in relazione agli elementi di pericolosità geologica presenti. Alla classe 3 appartengono anche le Zone di Rispetto e di Protezione delle sorgenti captate per uso potabile.

Le indicazioni relative agli aspetti da considerare negli studi e nelle indagini sono esposti nei paragrafi riguardanti le singole sottoclassi in cui sono stati distinti gli elementi di pericolosità.

Per le Zone di Rispetto delle sorgenti si rimanda alle indicazioni normative dell'Art. 6 del DPR 24 maggio 1988, n.236.

• **Classe 2 - Fattibilità con modeste limitazioni.**

*In questa classe ricadono le aree nelle quali sono state rilevate puntuali o ridotte condizioni limitative alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni, per superare le quali si rende necessario realizzare approfondimenti di carattere geologico-tecnico o idrogeologico finalizzati alla realizzazione di eventuali opere di sistemazione e bonifica, le quali non dovranno incidere negativamente sulle aree limitrofe.*

Le aree assegnate alla classe 2 di fattibilità sono localizzate principalmente in una fascia posta al raccordo tra la piana di fondovalle del fiume Oglio ed il settore distale dei conoidi alluvionali dei torrenti Fa, Re e Cobello. Questa classe comprende pertanto aree caratterizzate dalla presenza di terreni a caratteristiche geotecniche mediocri ed aree potenzialmente alluvionabili in occasione di eventi di piena a carattere eccezionale da parte del fiume Oglio e del torrente Fa.

La destinazione d'uso delle aree assegnate alla classe 2 è subordinata all'esecuzione di studi ed indagini specifiche in relazione agli elementi di pericolosità geologica presenti.

Le indicazioni relative agli aspetti da considerare negli studi e nelle indagini sono esposti nei paragrafi riguardanti le singole sottoclassi in cui sono stati distinti gli elementi di pericolosità.

• **Classe 1 - Fattibilità senza particolari limitazioni.**

*In questa classe ricadono le aree nelle quali gli studi non hanno individuato specifiche controindicazioni di carattere geologico all'urbanizzazione o alla modifica di destinazione d'uso delle particelle.*

La classe 1 di fattibilità comprende buona parte del settore medio e superiore dei conoidi alluvionali dei torrenti Fa, Re e Cobello che, in ragione delle condizioni morfologiche e delle opere di regimazione idraulica, sono al riparo da eventuali fenomeni di carattere alluvionale e non presentano particolari problematiche di carattere morfologico, idrogeologico o geotecnico. Gli interventi da realizzare in queste aree dovranno comunque essere condotti nel rispetto delle norme esistenti, con particolare riferimento al D.M. LL.PP. N°127, 11/03/1988 "Nuove norme tecniche per terreni, opere di sostegno e fondazioni" ed alla Circolare Min. LL.PP. n. 30483 del 24/09/1988 "Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e le rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno e delle opere di fondazione".

Si ricorda che la normativa citata riguarda tutti gli interventi relativi ai seguenti punti: C- opere di fondazione, D- opere di sostegno, E- manufatti di materiali sciolti, F- gallerie e manufatti sotterranei, G- stabilità dei pendii naturali e dei fronti di scavo, H- fattibilità geotecnica di opere su grandi aree, I- discariche e colmate, L- emungimenti da falde idriche, M- consolidamento dei terreni, N- drenaggi e filtri, O- ancoraggi; e che la normativa

prescrive la redazione della relazione geotecnica per tutte le opere relative ai punti precedenti e la relazione geologica per le opere relative ai punti E, F, G, H, I, L, M e O. Si ricorda infine che la prescrizione della relazione geologica per la valutazione della stabilità dei pendii naturali e dei fronti di scavo riguarda tutti gli interventi che comportano la realizzazione di scavi non armati che, per le loro dimensioni e per le caratteristiche meccaniche dei terreni, rappresentino pericolo per la sicurezza.

## **7b - INDICAZIONI DI CARATTERE GENERALE**

Ogni indagine dovrà essere condotta seguendo le indicazioni delle normative esistenti, con particolare riferimento al D.M. LL.PP. N°127, 11/03/1988 *“Nuove norme tecniche per terreni, opere di sostegno e fondazioni”* ed alla Circolare Min. LL.PP. n. 30483 del 24/09/1988 *“Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e le rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno e delle opere di fondazione”*.

Le indagini dovranno considerare l'inserimento degli interventi nel quadro geologico, geomorfologico ed idrogeologico, estendendo l'area da investigare ad un intorno ritenuto, dal professionista incaricato, significativo per la valutazione delle condizioni di pericolosità e di rischio. L'approfondimento e le modalità d'indagine dovranno essere commisurate all'importanza dell'opera da realizzare.

Le indagini sono parte integrante del progetto che dovrà essere redatto in conformità alle eventuali indicazioni contenute nell'indagine stessa. Eventuali opere di mitigazione del rischio dovranno essere riportate negli elaborati di progetto sia come posizione sia come particolari costruttivi.

## **7c - DESCRIZIONE DEI FATTORI LIMITANTI ED INDICAZIONI SUGLI APPROFONDIMENTI**

In riferimento alle indicazioni riportate nei *“criteri ed indirizzi relativi alla componente geologica nella pianificazione comunale”* le aree assegnate alle diverse classi di fattibilità sono state distinte tra loro in sottoclassi, distinte da una lettera che indica la tipologia dei fenomeni che costituiscono i fattori limitanti presenti nell'area e che hanno portato ad inserire l'area in una classe specifica.

Nei paragrafi successivi sono descritte le singole sottoclassi e per ciascuna di esse sono individuati gli elementi di rischio, sono descritte le situazioni e le condizioni di pericolosità e sono espresse le indicazioni relative agli approfondimenti d'indagine che si rendono necessari per valutare gli interventi da realizzare all'interno delle aree.

- **Sottoclasse: a** *Elementi di pericolosità: fiume Oglio*

#### *Descrizione*

Il fiume Oglio scorre in corrispondenza di una piana alluvionale relativamente incisa rispetto ai conoidi alluvionali dei corsi d'acqua laterali, soprattutto rispetto ai conoidi dei torrenti Fa e Re ed un po' meno rispetto al torrente Cobello. La situazione morfologica della piana di fondovalle la rende ancora potenzialmente alluvionabile in occasione delle piene maggiori. Morfologicamente la piana si estende dalla sponda dell'alveo attuale fino al piede della scarpata di erosione che il fiume ha inciso nella zona distale dei conoidi, a monte della quale si trova l'attuale tracciato della SS42.

Questa situazione morfologica è stata confermata sostanzialmente nella valutazione delle aree potenzialmente esondabili fatta in due differenti studi:

- "Mappe delle aree a rischio idraulico della Valle Camonica" (ISMES, 1989) che riporta le aree inondabili con un rischio di superamento del 10% in 100 anni;
- cartografia delle aree a rischio idraulico redatta nell'ambito del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) da parte dell'Autorità di Bacino del fiume Po definite sulla base di una stima della massima portata con tempo di ritorno di 200 anni.

In ragione della pericolosità legata alla possibilità di esondazione da parte del fiume Oglio è stato assegnato alla classe 4 il settore di piana fondovalle del fiume Oglio compreso nella Fascia Fluviale A individuata dal Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico ed alla classe 3 i restanti settori della piana.

Le mappe del rischio idraulico del PAI hanno individuato anche un'area d'inondazione catastrofica definita in riferimento a criteri di carattere morfologico e ad eventi con tempi di ritorno di 500 anni: questa fascia si estende nella zona distale dei conoidi alluvionali fino all'altezza della linea ferroviaria ed è stata assegnata alla classe 2.

#### *Situazioni di rischio attuale*

Le aree della sottoclasse **a** assegnate alla classe 4 e 3 non comprendono attualmente costruzioni mentre nelle aree assegnate alla classe 2 rientra tutta l'area urbanizzata della località Crist, situata lungo la sede dell'attuale tracciato della SS42.

#### *Normativa delle Fasce Fluviali del PAI ed approfondimenti d'indagine richiesti*

I vincoli e le prescrizioni per le aree comprese entro le Fasce Fluviali sono contenuti nelle Norme di Attuazione del PAI ed in particolare agli articoli:

- 29 - fascia di deflusso della piena-Fascia A,
- 30 - fascia di esondazione della piena-Fascia B,
- 31 - area di inondazione per piena catastrofica-Fascia C,
- 32 - demanio fluviale e pertinenze idrauliche e demaniali,
- 38bis - impianti di trattamento delle acque reflue, di gestione dei rifiuti e di approvvigionamento idropotabile,
- 39 - interventi urbanistici ed indirizzi alla pianificazione urbanistica,
- 41 - compatibilità delle attività estrattive.

Per una trattazione completa si rimanda al testo delle Norme del PAI mentre in questa sede sono stati riportati solo alcuni commi relativi all'articolo 39, riguardanti gli interventi urbanistici e gli indirizzi alla pianificazione urbanistica.

### Fascia Fluviale A

Per le aree comprese nella Fascia nella fascia A, sono esclusivamente consentite (Art. 39, Comma 3):

- le opere relative a interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo degli edifici, così come definiti alle lettere a), b) e c) dell'art. 31 della L. 5 agosto 1978, n. 457, senza aumento di superficie o volume, senza cambiamenti di destinazione d'uso che comportino aumento del carico insediativo e con interventi volti a mitigare la vulnerabilità dell'edificio.

### Fascia Fluviale B

Nei territori della Fascia B, oltre agli interventi consentiti per la Fascia A, sono inoltre esclusivamente consentiti (Art. 39, Comma 4):

- opere di nuova edificazione, di ampliamento e di ristrutturazione edilizia, comportanti anche aumento di superficie o di volume, interessanti edifici per attività agricole e residenze rurali connesse alla conduzione aziendale, purchè le superfici abitabili siano realizzate a quote compatibili con la piena di riferimento, previa rinuncia da parte del soggetto interessato al risarcimento in caso di danno o in presenza di copertura assicurativa;
- interventi di ristrutturazione edilizia, comportanti anche sopraelevazione degli edifici con aumento di superficie o di volume, non superiore a quelli potenzialmente allagabili, con contestuale dismissione d'uso di queste ultime a condizione che gli stesi non comportino significativo ostacolo o riduzione apprezzabile della capacità di invaso delle aree stesse, previa rinuncia da parte del soggetto interessato al risarcimento in caso di danno o in presenza di copertura assicurativa;
- interventi di adeguamento igienico-funzionale degli edifici esistenti, ove necessario, per il rispetto della legislazione in vigore anche in materia di sicurezza del lavoro connessi ad esigenze delle attività e degli usi in atto.

### Fascia Fluviale C

Per quanto riguarda l'applicazione dei vincoli si ricorda che le aree comprese nella fascia C delimitata però da un limite rappresentato con il simbolo grafico indicato come "limite di progetto tra la fascia B e la fascia C" sono a tutti gli effetti da considerare come appartenenti alla fascia B in quanto la loro attribuzione alla fascia C è legata alla realizzazione futura di opere di difesa in corrispondenza del "limite di progetto".

Nel territorio comunale di Niardo si trova un tratto di limite di progetto posto a valle della strada per Losine che delimita un'area nella quale sono pertanto da applicare le norme relative alla Fascia B. Quest'area corrisponde alla zona inserita in classe 3 e delimitata a nord da via Crist (strada per Losine) e ad est da via Nazionale (attuale SS42).

Per tutte le altre aree appartenenti alla Fascia Fluviale C si ritiene opportuno far precedere ad ogni intervento da realizzare una fase d'indagine mirata alla valutazione di dettaglio delle condizioni di rischio. Le indagini dovranno essere condotte mediante rilievi topografici e verifiche relativamente alle quote ed alla portata della piena individuata dall'Autorità di Bacino e sono finalizzate a definire le indicazioni in merito alle opere di mitigazione del rischio.

In particolare per queste aree le superfici abitabili, le zone sede dei processi industriali e degli impianti tecnologici e degli eventuali depositi di materiale, dovranno essere realizzate ad una quota superiore al piano campagna

*Relazione illustrativa.*

locale in modo da non potere essere raggiunte dalle acque di esondazione. Le altezze dovranno essere definite in dettaglio sulla base di considerazioni relative alle condizioni morfologiche e topografiche locali, tenendo conto della presenza di eventuali depressioni che possono determinare l'accumulo delle acque di esondazione o di situazioni che possono costituire un ostacolo al deflusso delle acque.

Eventuali locali interrati o seminterrati da destinare a cantine od autorimesse dovranno essere realizzati adottando accorgimenti costruttivi, relativi alla disposizione dei locali e delle aperture, alle reti tecnologiche, ai materiali ed alle tecniche da utilizzare, in grado di limitare le conseguenze di potenziali allagamenti sia in termini di danno materiale sia di pericolo per l'incolumità delle persone.

• **Sottoclasse: b**

*Elementi di pericolosità: conoidi dei torrenti Re e Cobello*

*Descrizione*

Le aree appartenenti a questa sottoclasse si trovano nei settori medio ed inferiore dei conoidi dei torrenti Re e Cobello e sono caratterizzate da condizioni di pericolosità per potenziali fenomeni di esondazione che si possono verificare per eventi di entità superiore a quella stimata per la massima piena con tempo di ritorno di 100 anni.

Se mantenute in efficienza, le opere di regimazione realizzate lungo i corsi d'acqua consentono di trattenere a monte dei conoidi la maggior parte del trasporto solido. I fenomeni di esondazione che possono interessare queste aree sono quindi caratterizzati da fuoriuscita di acqua torbida, un trasporto di fondo minimo o assente, un eventuale trasporto per fluitazione e portate relativamente contenute. In ragione della situazione morfologica locale, in particolare della pendenza dell'alveo, l'entità dei fenomeni di esondazione è maggiore per i settori mediani dei conoidi rispetto ai settori distali per cui sono state assegnate alla classe 3 di fattibilità le aree potenzialmente alluvionabili situate nel settore mediano dei conoidi mentre sono state assegnate alla classe 2 le aree situate nei settori distali, a valle della linea ferroviaria.

*Situazioni di rischio attuale*

Attualmente nel settore posto a monte del tracciato della linea ferroviaria non sono comprese aree urbanizzate ad eccezione di un'abitazione isolata posta sul conoide del torrente Cobello. A valle della linea ferroviaria rientra in questa sottoclasse una parte della zona urbanizzata della località Crist. In quest'ultimo settore le situazioni di pericolo per le singole costruzioni sono inferiori rispetto al settore precedente perchè l'area è più ampia e pianeggiante, e quindi le acque di esondazione possono distribuirsi su una superficie maggiore, ed inoltre le linee di deflusso preferenziali coincidono con i tracciati stradali.

*Approfondimenti d'indagine richiesti*

Si ritiene opportuno far precedere ogni intervento di nuova edificazione in queste aree da una fase d'indagine geologica mirata alla valutazione di dettaglio delle condizioni di rischio ed all'individuazione di eventuali misure di protezione od accorgimenti da realizzare anche per il singolo intervento. Queste valutazioni dovranno essere condotte mediante verifiche idrauliche ed eventuali rilievi topografici, la cui esecuzione potrebbe essere necessaria per modellare la situazione idraulica conseguente ai fenomeni di esondazione qualora la cartografia disponibile non consenta di apprezzare con sufficiente dettaglio la conformazione dei siti; la scala e l'estensione dei rilievi saranno definiti di volta in volta in riferimento alle condizioni delle singole aree in esame. Le verifiche

*Relazione illustrativa.*

idrauliche dovranno tener conto della portata liquida e dell'eventuale trasporto solido. La portata liquida dovrà essere stimata preferibilmente per un tempo di ritorno di 200 anni, salvo diverse indicazioni di norma, utilizzando i metodi indiretti ritenuti più opportuni. Il trasporto solido dovrà essere stimato con l'applicazione delle metodologie ritenute più opportune ed in riferimento alla situazione morfologica e delle sistemazioni idrauliche dei bacini idrografici.

Per quanto riguarda le aree situate a monte della linea ferroviaria, non ancora urbanizzate, si consiglia di privilegiare destinazioni d'uso che non prevedano nuove edificazioni e, in caso contrario si raccomanda che l'urbanizzazione sia preceduta da una fase d'indagine complessiva per le aree relative a ciascun torrente, mirata alla valutazione delle condizioni di rischio ed all'individuazione di eventuali misure di protezione.

Anche per quanto riguarda le aree già urbanizzate poste a valle della linea ferroviaria si consiglia di intraprendere quanto prima un'indagine complessiva finalizzata ad una valutazione specifica della pericolosità di queste aree ed alla definizione di eventuali interventi di protezione dell'esistente.

• *Sottoclassi: c, g*

*Elementi di pericolosità: conoide del torrente Fa*

*Descrizione*

Per le aree appartenenti a queste sottoclassi sono state riscontrate condizioni di pericolosità per potenziali fenomeni di esondazione da parte del torrente Fa.

In particolare la sottoclasse **g** rappresenta un canale abbandonato ripreso nel 1960 e successivamente diventato l'alveo attivo fino ai recenti lavori di sistemazione che hanno ripristinato l'alveo attivo precedente.

Se mantenute in efficienza, le opere di regimazione esistenti lungo il torrente consentono di trattenere, a monte e nella zona apicale del conoide, la maggior parte del trasporto solido, ma nel settore medio ed inferiore del conoide, a valle della quota di circa 420 m, le sezioni di deflusso non sono sufficienti a garantire il deflusso di portate dell'ordine della massima piena stimata per un tempo di ritorno di 100 anni e, localmente, anche di piene di minore entità. In ragione della situazione morfologica locale sono stati distinti tre settori assegnati rispettivamente alle classi 4, 3 e 2.

La zona assegnata alla classe 4 si trova nel settore intermedio del conoide, subito a monte dell'attraversamento del canale idroelettrico dove sono maggiori le possibilità di esondazione con portate e trasporto solido significativi.

La zona assegnata alla classe 3 comprende buona parte del settore medio-inferiore del conoide e rappresenta le aree che possono essere esondate con relativa facilità, ma con portate e trasporto solido contenuti mentre la fascia assegnata alla classe 2, presente solo in destra idrografica, comprende un settore potenzialmente esondabile solo in occasione di eventi di piena a carattere eccezionale. Alla classe 2 è stato assegnato anche un settore di conoide posto in destra idrografica nella zona apicale, potenzialmente alluvionabile in occasione di eventi a carattere eccezionale, allorquando la forte deposizione di materiale in alveo, nonostante le opere esistenti, rendesse possibile la fuoriuscita della piena.

*Situazioni di rischio attuale*

Nella sottoclasse **c** rientrano aree urbanizzate comprendenti abitazioni ed insediamenti artigianali. Gli interventi di sistemazione dell'alveo realizzati recentemente nell'ambito della Legge n.102 del 2 maggio 1990 ("legge

*Relazione illustrativa.*

Valtellina”), hanno migliorato le condizioni di deflusso nel tratto medio-inferiore del conoide, ma hanno lasciato aperta la possibilità di esondazione nel tratto posto a monte della derivazione del canale idroelettrico e nel tratto comprendente gli attraversamenti della ferrovia e dell'attuale tracciato della SS42. I lavori eseguiti non hanno inoltre modificato la morfologia del canale abbandonato assegnato alla sottoclasse **g** per cui questo settore ha una forte probabilità di essere riattivato in caso di nuova esondazione.

*Approfondimenti d'indagine richiesti*

Per quanto riguarda l'area situata in classe 4 valgono le prescrizioni relative a questa classe.

Per quanto riguarda le aree situate in classe 3 e 2 nei settori intermedio ed inferiore del conoide e nel settore apicale del conoide si consiglia di privilegiare destinazioni d'uso che non prevedano nuove edificazioni e questo vale in particolare per il settore assegnato alla sottoclasse **g**, che può essere raggiunto da una piena con maggior facilità. In ogni caso è necessario far precedere ogni intervento di nuova edificazione in queste aree da una fase d'indagine geologica mirata alla valutazione di dettaglio delle condizioni di rischio ed all'individuazione di eventuali misure di protezione od accorgimenti da realizzare anche per il singolo intervento. Le indagini dovranno essere condotte mediante verifiche idrauliche dell'alveo e rilievi topografici, la cui esecuzione si rende necessaria per modellare la situazione idraulica conseguente ai fenomeni di esondazione; la scala e l'estensione dei rilievi saranno definiti di volta in volta in riferimento alle condizioni delle singole aree in esame. Le verifiche idrauliche dovranno tener conto della portata liquida e dell'eventuale trasporto solido. La portata liquida dovrà essere stimata preferibilmente per un tempo di ritorno di 200 anni, salvo diverse indicazioni di norma, utilizzando i metodi indiretti ritenuti più opportuni. Il trasporto solido dovrà essere stimato con l'applicazione delle metodologie ritenute più opportune ed in riferimento alla situazione morfologica e delle sistemazioni idrauliche del bacino idrografico.

Per quanto riguarda il settore del canale abbandonato assegnato alla sottoclasse **g**, che rappresenta un'area facilmente riattivabile in occasione di fenomeni di esondazione e di colata, la sua destinazione d'uso deve essere valutata sulla base di uno studio complessivo che valuti anche le eventuali conseguenze negative sulle condizioni di pericolosità delle aree adiacenti.

• **Sottoclasse: d** *Elementi di pericolosità: aspetti geotecnici*

*Descrizione*

Nelle aree contrassegnate con tale sigla è stata individuata la possibile presenza di terreni a comportamento geotecnico mediocre o scadente.

*Approfondimenti d'indagine richiesti*

Ogni intervento dovrà essere preceduto da una fase d'indagine geologica mirata alla definizione del comportamento geotecnico dei terreni, siano essi interessati dai carichi trasmessi dalle fondazioni o da lavori di scavo. Nel primo caso l'analisi dovrà essere mirata alla definizione della capacità portante ed alla stima degli eventuali cedimenti in seguito all'applicazione dei carichi; nel secondo caso l'indagine dovrà essere comprensiva di opportune analisi di stabilità a breve e lungo termine (durante e dopo le fasi di scavo). Le opere da realizzare dovranno essere verificate in accordo alle condizioni desunte dall'indagine stessa tenendo conto delle condizioni idrogeologiche al contorno.

- **Sottoclasse: e** *Elementi di pericolosità: assetto idrogeologico e pendenza elevata*

#### *Descrizione*

Le aree indicate con questo simbolo si trovano in corrispondenza del piede del versante della Val Camonica e sono caratterizzate da acclività relativamente elevata che, in ragione della situazione idrogeologica al contorno e delle caratteristiche geotecniche dei terreni, determina in molti casi la presenza di fenomeni di reptazione, di forme di erosione per ruscellamento, di fenomeni franosi per scivolamento e colata della coltre superficiale e di piccoli fenomeni di crollo da pareti rocciose. Queste aree sono state assegnate alla classe 3 di fattibilità.

#### *Situazioni di rischio attuale*

L'espandimento di questi fenomeni, sia degli scivolamenti sia dei crolli, può interessare alcune abitazioni poste nella parte alta dell'abitato ed alcuni tratti di strada.

E' necessario che queste zone siano tenute sotto controllo con una gestione che consenta di seguire l'evoluzione delle forme e di intervenire a livello preventivo per evitare l'insorgere di nuovi fenomeni. A seconda delle situazioni gli interventi preventivi possono consistere in:

- manutenzione dei muri a secco esistenti,
- ripristino o mantenimento di una copertura vegetale in grado di proteggere il terreno dall'erosione senza creare problemi di sovraccarico,
- organizzazione delle acque di scorrimento superficiale (in particolare quelle che si concentrano lungo le strade) in modo da evitare fenomeni di concentrazione locale con erosione o saturazione dei terreni,
- bonifica o protezione dei tratti di parete dove il substrato roccioso si presenta maggiormente alterato o sconnesso.

#### *Approfondimenti d'indagine richiesti*

Ogni intervento in queste aree dovrà essere preceduto da una fase d'indagine geologica mirata alla definizione delle condizioni di stabilità dei tratti di versante interessati, estendendo l'indagine ad un intorno ritenuto significativo in ragione delle condizioni locali. Dovranno essere realizzate delle cartografie di dettaglio con riportati gli elementi morfologici significativi. In riferimento alla valutazione del comportamento geotecnico dei terreni e delle rocce presenti, le indagini dovranno essere comprensive della valutazione delle condizioni di stabilità prima ed a seguito della realizzazione dell'intervento proposto.

- **Sottoclasse: f** *Elementi di pericolosità: alveo dei corsi d'acqua*

#### *Descrizione*

A questa sottoclasse sono state assegnate delle fasce poste lateralmente agli alvei dei torrenti Fa, Re e Cobello, aventi una larghezza non inferiore a 10 metri e con ampiezze maggiori in relazione alle situazioni morfologiche locali. Queste fasce comprendono sostanzialmente le aree adiacenti alle sponde degli alvei e che pertanto possono essere interessate con maggiore facilità ed intensità da eventuali fenomeni di esondazione o di erosione

*Relazione illustrativa.*

di sponda. Per questo motivo si ritiene necessario che queste aree siano destinate ad usi che non interferiscano negativamente con la dinamica dei corsi d'acqua e che, anche al di là della distanza di 10 m dall'alveo di piena dei corsi d'acqua (art. 96 r.d. n.523/1904 e parere Consiglio di Stato n. 55 01/06/1988) sia esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere di consolidamento o di sistemazione idrogeologica od opere pubbliche o di interesse pubblico che non interferiscano negativamente con la dinamica dei corsi d'acqua.

*Situazioni di rischio attuale*

In questa sottoclasse rientrano alcune costruzioni che sono però, rispetto alla dinamica dei corsi d'acqua, attualmente protette da arginature o da opere di difesa spondale. E' necessario che le opere di difesa siano mantenute in condizioni di efficienza per garantire la sicurezza delle situazioni esistenti.

*Approfondimenti d'indagine richiesti*

Si ritiene opportuno far precedere ad ogni intervento da realizzare in queste aree una fase d'indagine mirata alla valutazione di dettaglio delle condizioni di rischio da condurre mediante rilievi topografici e verifiche idrauliche. L'esecuzione di rilievi topografici si rende necessaria per modellare la situazione idraulica conseguente ai fenomeni di esondazione qualora la cartografia disponibile non consenta di apprezzare con sufficiente dettaglio la conformazione dei siti; la scala e l'estensione dei rilievi saranno definiti di volta in volta in riferimento alle condizioni delle singole aree in esame. Le verifiche idrauliche dovranno tener conto della portata liquida e dell'eventuale trasporto solido. La portata liquida dovrà essere stimata per un tempo di ritorno di 100 anni, preferibilmente di 200 anni, salvo diverse indicazioni di norma, utilizzando i metodi indiretti ritenuti più opportuni. Il trasporto solido dovrà essere stimato con l'applicazione delle metodologie ritenute più opportune ed in riferimento alla situazione morfologica e delle sistemazioni idrauliche del bacino idrografico.

Particolare attenzione deve essere posta alle condizioni di stabilità delle sponde e delle opere di difesa spondale.

Dr. geol. Fabio Alberti

Darfo Boario Terme, gennaio 2003.

## 8 - BIBLIOGRAFIA

1. Amministrazione Provinciale di Brescia - Piano generale di bonifica montana dell'alto bacino del Fiume Oglio - Suppl. Comment. Ateneo di Brescia, Brescia 1967.
2. ASTM - Classification of soils for engineering purposes - 1975.
3. Aulitzky. - H. Hazard Mapping and Zoning in Austria Methods and legal implications - 1994.
4. Autorità di Bacino del fiume Po - Parma - Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Interventi sulla rete idrografica e sui versanti (Legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6-ter). - Tavole Di Delimitazione Delle Fasce Fluviali, Norme di Attuazione - 2001
5. Barton N., Choubey V. - The shear-strength of rock joints in theory practice - Rock Mechanics 101, Springer-Verlag 1977.
6. Benini - Sistemazioni idraulico forestali - ed. CLEUP, Padova 1988.
7. Berruti G. - Levandosi i fiumi sopra le rive- ed. Grafo, 1999.
8. Castany G. - Idrogeologia, principi e metodi - Flaccovio editrice, 1987.
9. Castiglioni G.B. - Geomorfologia.- ed. UTET, Torino 1979.
10. Celico P. - Prospezioni idrogeologiche - Liguori editore, 1986.
11. Ceriani M., Fossati D., Quattrini S - Valutazione della pericolosità idrogeologica sulle conoidi alpine: esempio della metodologia di Aulitzki applicata alla conoide del Torrente Re di Gianico, ValCamonica (BS), Alpi Centrali - ed. CUEM - 1998.
12. Circolare Min. LL.PP. 24/09/1988 n. 30483 Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e le rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno e delle opere di fondazione- 1998.
13. Civita M. - Idrogeologia (in AA.VV. - Geologia Tecnica) - ISEDI editore, 1987
14. D. L. 11 maggio 1999, n. 152 - Disposizione sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva CEE 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva CEE 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole - Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 124 del 29 maggio 1999.
15. D.G.R. 27/06/1996 n. 6/1537 in riferimento all'art. 9, punto 1, lett. f, del D.P.R. 24/05/1988 n. 236 - Direttive per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle captazioni di acque sotterranee, pozzi e pozzi e sorgenti, destinate al consumo umano.
16. D.M. LL.PP. 11/03/1988 Nuove norme tecniche per terreni, opere di sostegno e fondazioni - Suppl. ord. alla G.U. 01/06/1988 n. 127) - 1988.
17. Da Deppo, Datei, Salandin - Sistemazione dei corsi d'acqua. - Ed. Libreria Cortina Padova, 1997.
18. Deliberazione Giunta Regionale 15 Gennaio 1999 - n. 6/40996 - Approvazione delle "Legende di riferimento per la predisposizione della carta geologica, geomorfologica ed idrogeologica e dei colori proposti per la redazione delle 4 classi della carta della fattibilità" e dell'ulteriore documentazione da

- allegare allo studio geologico previsto dalla legge regionale 24 Novembre 1997, n. 41 - Boll. Uff. della Reg. Lomb. – anno XXIX, n. 215, 1996.
19. Deliberazione Giunta Regionale 20 Dicembre 2001- n. 7/7365 - Attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del fiume Po (PAI) in campo urbanistico. Art. 17, comma 5, della legge 18 maggio 1989 n. 183. - Boll. Uff. della Reg. Lomb. - anno XXXI, n. 314, 2001.
  20. Deliberazione Giunta Regionale 27/06/1996 n. 6/15137 - Direttive per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle captazioni di acque sotterranee destinate al consumo umano - Boll. Uff. della Reg. Lomb., 2° Suppl. Straord. al n. 31, 01/08/1996.
  21. Deliberazione Giunta Regionale 29 Ottobre 2001- n. 7/6645 - Approvazione direttive per la redazione dello studio geologico ai sensi dell'art. 3 della l.r. 41/97 - Boll. Uff. della Reg. Lomb. - anno XXXI, n. 294, 2001.
  22. Deliberazione Giunta Regionale 6 Agosto 1999 - n. 6/37918 - Approvazione del documento "Criteri ed indirizzi relativi alla componente geologica della pianificazione comunale, secondo quanto disposto dall'art. 3 della legge regionale 24 Novembre 1997, n. 41 - 1997.
  23. Gruppo Edison - Elaborazione dei dati idrologici del bacino dell'Oglio - 1953
  24. Highway and Railway Bureau - Landslides, analysis and control - ed. Schuster and Krizek, 1978.
  25. Hoek E., Bray T. - Rock Slope engineering - The Institution of Mining and Metallurgy, London 1977.
  26. Ippolito F., Nicotera P., Lucini P., Civita M., D Riso R.- Geologia Tecnica - ed. ISEDI, 1985.
  27. ISMES - Mappe delle aree a rischio idraulico della Valle Camonica (Fiume Oglio Da Temù al Lago d'Iseo) - 1989.
  28. Lambe T.W., Whitman R.V. - Soil Mechanics - 1969.
  29. Maione U., Brath A. - Moderni criteri di sistemazione degli alvei fluviali. Atti del corso di aggiornamento 10-14 Ottobre 1994. Editoriale BIOS, 1994.
  30. Maione U., Veronese G. - Relazione Idrologica - Piano per la difesa del suolo ed il riassetto idrogeologico della Valtellina e delle zone adiacenti delle province di Bergamo, Brescia e Como - Interventi della 1 fase ai sensi della L.R. 1/8/1992 n. 23 e D.G.R. 23/3/1993 n. V/34383 - 1995.
  31. Ministero Lavori Pubblici - Criteri, metodologie e norme tecniche generali di cui all'art. 2, lettere b), d) ed e), della legge 10 maggio 1976, n. 319, recante norme per la tutela delle acque dall'inquinamento - supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 48 del 21 febbraio 1977
  32. Panizza M.- Geomorfologia applicata.- ed. La Nuova Italia Scientifica, Roma 1988.
  33. Pozzi R., Clerici A. - Una proposta per la descrizione degli ammassi rocciosi - Le Strade 1219, 1985.
  34. Presbitero M., Ottenziali L., Belloni A., Ceriani M., Fossati D., Padovan N. - Criteri ed indirizzi relativi alla componente geologica nella pianificazione comunale (Deliberazione della giunta regionale del 18 maggio 1993 - n. 5/36147) - Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia, 16 luglio 1993.
  35. Provincia di Brescia - Studio delle precipitazioni intense in Provincia di Brescia e verifica funzionale della rete pluviometrica esistente - Brescia, 1985.
  36. Salomon W. - Il gruppo dell'Adamello - Ed. Quaderni Camuni, 1989.

*Relazione illustrativa.*

37. Servizio Geologico d'Italia - Carta Geologica d'Italia. Scala 1:100.000. Foglio n. 34, Breno. - Roma 1970.
38. Servizio Geologico d'Italia - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia. Foglio n. 34, Breno. - Roma 1971.