



Comune di Niardo

Provincia di Brescia

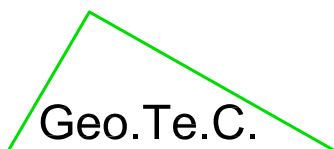
Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio

ai sensi della D.g.r. 28 Maggio 2008 - n.8/7374

Relazione illustrativa

Dicembre 2011

Elaborato A



Geologia Tecnica Camuna

Studio associato - tel/fax 0364 533637

Via Albera 3 - Darfo Boario Terme (BS)

e-mail: info@geotec-studio.it

Dr. geol. Fabio Alberti

Collaboratori:

Dr. geol. Elena Staffoni

Dr. geol. Francesco Bosio

INDICE

1. PREMESSA	3
2. STUDI ESISTENTI.....	4
3. RICERCA STORICA.....	4
4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
5. INQUADRAMENTO METEO-CLIMATICO	5
6. ASPETTI IDROLOGICI, IDRAULICI E CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ DEI CORSI D'ACQUA	6
6.1. <i>Aspetti idrologici</i>	6
6.2. <i>Assetto morfologico e pericolosità morfologica dei corsi d'acqua</i>	9
6.2.a. Inquadramento generale.....	9
6.2.b - Torrente Fa.....	9
6.2.c - Torrente Re.....	12
6.2.d. Torrente Cobello	15
6.2.e. Fiume Oglio	19
6.2.f. Val di Stabio – torrente Prestello.....	20
7. ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE	21
7.1. <i>Aspetti geologici</i>	21
7.2. <i>Inquadramento geologico-strutturale</i>	22
7.3. <i>Substrato roccioso</i>	22
7.4. <i>Depositi superficiali</i>	26
8. ASPETTI GEOMORFOLOGICI.....	31
8.1. <i>Quadro geomorfologico generale</i>	32
8.2. <i>Forme, processi e depositi gravitativi di versante</i>	33
8.3. <i>Forme e depositi glaciali e nivali</i>	37
8.4. <i>Forme, processi e depositi per acque correnti superficiali</i>	39
8.5. <i>Forme e depositi carsici</i>	44
8.6. <i>Forme, processi e depositi di natura antropica</i>	44
9. ASPETTI IDROGEOLOGICI	46
9.1. <i>Permeabilità del substrato roccioso e dei depositi superficiali</i>	46
9.1.a. Permeabilità del substrato roccioso	46
9.1.b. Permeabilità dei depositi superficiali	47
9.2. <i>Assetto idrogeologico generale</i>	47
9.2.a. Settore di fondovalle.	47
9.2.b. Settore del versante sinistro della Val Camonica.....	48
9.2.c. Settore della Val di Stabio.	49
9.3. <i>Sorgenti utilizzate a scopo potabile</i>	49
10. AMBITI DI PERICOLOSITÀ OMOGENEA	50
10.1. <i>Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti</i>	50
10.1.a. Aree interessate da deformazioni gravitative di versante relativamente profonde.	50
10.1.b. Aree interessate da fenomeni franosi quiescenti.	51
10.1.c. Aree soggette a caduta di blocchi e aree a pericolosità potenziale per la presenza di pareti in roccia fratturata.	51
10.1.d. Aree potenzialmente interessate da distacco e rotolamento di massi provenienti da depositi superficiali: aree sorgente e di accumulo.....	52

10.1.e. Aree a pendenza da media ad elevata interessate da fenomeni di degradazione diffusi.....	52
10.1.f. Aree a pendenza da media ad elevata soggette a fenomeni di reptazione.....	52
10.1.g. Aree di percorsi potenziali di colate in detrito o in terra.....	53
10.1.h. Aree a pericolosità potenziale a valle di aree interessate da fenomeni di degradazione diffusi.....	53
10.1.i. Aree a pericolosità potenziale perché a valle di aree interessate da fenomeni di reptazione.....	53
10.1.l. Aree a pendenza da media ad elevata.....	53
10.1.m. Aree a pendenza da bassa a media.....	53
10.1.n. Aree soggette a fenomeni di valanga.....	53
10.1.o. Aree potenzialmente soggette a fenomeni di valanga.....	54
10.2. Aree vulnerabili dal punto di vista geotecnico ed idrogeologico.....	54
10.2.a. Aree con fenomeni di ristagno d'acqua, torbose o paludose.....	54
10.2.b. Aree a bassa soggiacenza della falda.....	54
10.2.c. Aree con terreni sabbioso-limosi a caratteristiche geotecniche scadenti.....	54
10.2.d. Aree con riporti di materiale.....	55
10.2.e. Aree interessate da fenomeni carsici profondi.....	55
10.2.f. Aree con probabile presenza di fenomeni carsici profondi.....	55
10.2.g. Aree di salvaguardia delle captazioni d'acqua ad uso potabile.....	55
10.3. Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico.....	55
10.3.a. Alveo di corso d'acqua. – Alveo interessato da fenomeni di erosione di fondo e laterale. - Alveo interessato da intensi fenomeni di erosione. – Solchi di erosione per ruscellamento concentrato.....	55
10.3.b. Aree interessabili da fenomeni di erosione fluviale/torrentizia.....	56
10.3.c. Aree potenzialmente alluvionabili individuate con criteri morfologici.....	56
10.3.d. Aree poste in prossimità di sponde di corsi d'acqua.....	56
10.3.e. Aree ricadenti nelle fasce fluviali relative al Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.).....	56
10.3.f. Aree potenzialmente interessabili da esondazione e trasporto in massa su conoide.....	57
11. ANALISI DEL RISCHIO SISMICO.....	58
11.1. Normativa di riferimento.....	58
11.2. Risposta sismica locale.....	59
11.2.a. Metodologia per l'analisi della risposta sismica.....	60
11.3. Analisi di primo livello - carta della pericolosità sismica locale.....	61
12. CARTA DEI VINCOLI.....	64
12.1. Zone di Rispetto delle opere di captazione per uso potabile.....	64
12.2. Delimitazione delle Fasce Fluviali relative al PAI.....	64
12.3. Vincoli derivanti dalla "Carta del dissesto con legenda uniformata a quella del PAI: delimitazione delle aree in dissesto".....	64
12.4. Vincoli di polizia idraulica.....	64
13. CARTA DEI RISCHI IDRAULICI ED IDROGEOLOGICI.....	66
14. CARTA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO - NORME GEOLOGICHE DI PIANO.....	67
15. BIBLIOGRAFIA.....	68

1. PREMESSA

La presente relazione illustrativa riguarda lo studio relativo alla componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio del comune di Niardo, redatto in riferimento alle indicazioni contenute nella d.g.r. 28 maggio 2008 n. 8/7374 - Aggiornamento dei "criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005 n. 12", approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 -.

Lo studio è stato redatto come aggiornamento del precedente studio geologico di supporto alla pianificazione urbanistica, redatto dallo scrivente nel gennaio 2003 in riferimento alla d.g.r. 11 dicembre 2001 n. 7/7365, rispetto alla componente sismica, all'estensione della valutazione della fattibilità geologica a tutto il territorio comunale e rivedendone complessivamente la cartografia anche in relazione alla disponibilità, per il territorio di fondovalle, di una nuova base topografica alla scala 1:2.000,

Nell'ambito dello studio sono state redatte le seguenti tavole cartografiche:

- *Tavola 1* *Carta di geologica* (intero territorio comunale) - scala 1:10.000
- *Tavola 2* *Carta geomorfologica* (intero territorio comunale) - scala 1:10.000
- *Tavole 3.a, 3.b* *Carta litologico morfologica di dettaglio con elementi idrogeologici* (aree urbanizzate e loro intorno) - scala 1:2.000
- *Tavola 4* *Carta di sintesi* (intero territorio comunale) - scala 1:10.000
- *Tavola 5.a, 5.b* *Carta di sintesi* (aree urbanizzate e loro intorno) - scala 1:2.000
- *Tavola 6* *Carta della pericolosità sismica locale* (intero territorio comunale) - scala 1:10.000
- *Tavola 7* *Carta dei rischi idraulici ed idrogeologici: delimitazione delle aree in dissesto* (intero territorio comunale) - scala 1:10.000
- *Tavola 8* *Carta di fattibilità delle azioni di piano* (intero territorio comunale) - scala 1:10.000
- *Tavole 9.a, 9.b* *Carta di fattibilità delle azioni di piano* (aree urbanizzate e loro intorno) - scala 1:2.000
- *Tavola 10* *Carta idrogeologica* (intero territorio comunale) - scala 1:10.000
- *Tavola 11* *Carta dei vincoli* (intero territorio comunale) - scala 1:10.000

La descrizione degli aspetti geologici generali e di dettaglio ed i relativi allegati sono contenuti nella presente Relazione Illustrativa mentre la normativa conseguente è contenuta nelle Norme Geologiche di Piano.

FASE D'ANALISI (INQUADRAMENTO DEL TERRITORIO)

2. STUDI ESISTENTI

Nella redazione del presente studio si è tenuto conto dei dati, studi e indagini esistenti sulle aree in esame, sia quelli di carattere generale sia quelli di dettaglio.

In particolare si è tenuto conto dello studio geologico di supporto alla pianificazione urbanistica redatto dallo scrivente nel gennaio 2003 in riferimento alla d.g.r. 11 dicembre 2001 n. 7/7365.

Il comune di Niardo è stato inoltre interessato dagli interventi previsti nell'ambito della Legge 102/90 ("Legge Valtellina") relativamente al torrente Re di Niardo, al torrente Fa ed al torrente Cobello, e si è fatto pertanto riferimento agli studi relativi agli interventi di sistemazione.

Per quanto riguarda gli studi di carattere generale sono stati consultati l'Inventario delle frane e dei dissesti idrogeologici della Regione Lombardia – 2002 - Regione Lombardia - Direzione Generale Territorio ed Urbanistica, Struttura Rischi Idrogeologici e il Sistema Informativo Regionale Valanghe della Regione Lombardia.

3. RICERCA STORICA

Le informazioni riguardanti eventi storici di carattere geologico relativi al territorio del comune di Niardo sono state reperite essenzialmente da fonti bibliografiche e sono sintetizzate nei seguenti punti.

- 1475 – Piogge ininterrotte provocano alluvioni a Niardo.
- 1536 – 27, 28, 29 ottobre – Piogge intense con danni a Niardo (probabilmente a causa di Re, Fa e Cobello).
- 1615 – 15 agosto – Alluvione che interessa anche Niardo.
- 1634 – 7 luglio – Alluvione del Palobbia con danni anche alle terre di Niardo.
- 1636 – luglio – Inondazione a Niardo da parte dei torrenti laterali (Re, Fa e Cobello).
- 1710 – I torrenti Re e Fa inondano l'abitato.
- 1738 – ottobre-novembre- Inondazioni a Niardo.
- 1739 – 3, 6 dicembre – Inondazioni (probabilmente Re, Fa e Cobello).
- 1810 – Il torrente Re investe l'abitato di Niardo con danni ad edifici.
- 1815 – Inondazione (probabilmente Re, Fa e Cobello).
- 1882 – Esondazione dei torrenti Fa, Re e Cobello con danni a ponti, mulini, fucine e coltivi.
- 1960 – settembre – Esondazione del torrente Fa con occupazione di un alveo abbandonato (che si manterrà attivo fino alle opere realizzate successivamente agli eventi del 1987).
- 1987 – 24-25 agosto – Trasporto in massa ed esondazione dei torrenti Re, Cobello e Fa. Due vittime da un'abitazione situata nei pressi dell'alveo del Cobello, danni ad edifici, ponti, strade, interruzione della ferrovia, della SS42 e del canale idroelettrico.

La serie degli eventi riportati mette in evidenza la pericolosità morfologica relativa ai conoidi alluvionali dei torrenti Re, Fa e Cobello e il conseguente rischio, aumentato notevolmente con il procedere dell'urbanizzazione del territorio.

4. 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 km². 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 line 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.

5. INQUADRAMENTO METEO-CLIMATICO

Nel territorio comunale di Niardo non sono presenti stazioni di rilevamento dei dati meteorologici; stazioni prossime al territorio comunale sono state attive a Breno, dal 1907 al 1983, a Ceto, dal 1967 al 1974, al Lago della Vacca dal 1971 al 1981 e nei pressi del Colle dell'Oca, dal 1967 al 1971.

La stazione meteorologica più vicina e più rappresentativa per il settore di fondovalle è quella di Breno, per la quale sono disponibili elaborazioni relativi alle piogge intense; le altre si possono considerare indicativamente come rappresentative dei settori del versante della Val Camonica (Colle dell'Oca) e della Val di Stabio (Lago della Vacca).

Dalla Carta delle Precipitazioni Medie, Minime e Massime del Territorio Alpino Lombardo (Regione Lombardia, dicembre 1999) relativa al periodo 1891-1990 il territorio del comune di Niardo si trova compreso tra le isoiete di 1100 e 1300 mm per le piogge medie, tra le isoiete di 550 e 750 mm per la media delle piogge minime e tra 2500 e 2800 mm per la media delle massime.

Nella seguente tabella sono riportati i valori relativi alle stazioni vicine all'area.

<i>Stazione</i>	<i>quota (m)</i>	<i>periodo</i>	<i>Media (mm)</i>	<i>minima (mm)</i>	<i>massima (mm)</i>
Breno	312	1907-1983	1012,1	449,0	2377,0
Ceto	458	1967-1974	1023,6	817,0	1225,0
Vasca Colle Oca	1050	1967-1971	1191,3	854,0	1383,0
Lago della Vacca	2357	1971-1981	1181,8	944,6	1695,4

I dati pluviometrici della stazione di Breno, relativi al periodo 1951-1959, riportati nella tabella seguente, mostrano un periodo di massimo tardo-primaverile ed estivo che può estendersi, con un massimo relativo, anche al periodo autunnale ed un periodo di minimo in inverno. Il massimo mensile si registra di norma in maggio.

stazione	quota m slm	periodo	precipitazioni in mm												
			Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Tot Anno
Breno	312	51-59	47	43	62	81	115	127	101	107	92	102	84	58	1019

Per quanto riguarda la valutazione delle piogge di forte intensità si può fare riferimento ai dati elaborati dalla provincia di Brescia per la stazione di Breno.

Per quanto riguarda le precipitazioni nevose e la persistenza del manto nevoso esiste invece una stazione legata agli impianti sciistici di Montecampione, posta un poco più a sud ed attiva solo nel periodo invernale.

Non si dispone di dati diretti relativi alle temperature. A titolo indicativo nella tabella successiva sono riportati i dati relativi alla vicina stazione di Breno per il periodo 1961-1990.

Temperatura media	Mese												Stagione				Anno
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Inv	Pri	Est	Aut	
Massima	3,8	7,1	10,4	14,8	19,1	23,0	26,4	25,3	21,9	15,8	10,3	5,6	5,5	14,8	24,9	16	15,3
Minima	-5,8	-3,4	0,0	3,9	8,1	12,1	14,5	14,1	10,6	5,7	0,9	-3,5	-4,2	4	13,6	5,7	4,8

Nella carta delle isoterme medie contenuta nello studio relativi a Climi e suoli lombardi (ERSAL) il territorio del comune di Niardo si trova compreso tra le isoterme di 10-12°C per il settore di fondovalle e tra le isoterme di 0-2°C per le zone poste a quote più elevate e su valori intermedi tra questi per il settore del versante sinistro della Val Camonica.

6. ASPETTI IDROLOGICI, IDRAULICI E CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ DEI CORSI D'ACQUA

Il territorio del comune di Niardo si sviluppa dal fondo della Val Camonica, comprendendo il settore di sinistra della piana di fondovalle, su tutto il versante sinistro, comprendendo interamente i bacini idrografici dei torrenti Fa, Re e Cobello, fino oltre la sommità, dove comprende la Val di Stabio, corrispondente al tratto superiore del bacino del torrente Prestello.

6.1. Aspetti idrologici

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.

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

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

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

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 tabella della pagina seguente tratta direttamente dallo studio citato.

Bacino	Sezione	Quota (m)	Area sottesa (Km ²)	a (mm/ora)	Tempo di corrivazione (h)	Coefficiente udometrico (m ³ /s/Km ²)	Portata critica TR=100 anni (m ³ /s)
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

Anche in questa sede è stata fatta una valutazione della portata di massima piena per i torrenti Re, Fa e Cobello considerando diversi tempi di ritorno.

La stima delle portate è stata fatta sulla base di alcuni metodi proposti in letteratura, che permettono di determinare la portata di piena a partire dai dati morfometrici del bacino e dai dati idrologici relativi alle precipitazioni. In particolare sono stati utilizzati il metodo di Giandotti, il metodo di Giandotti perfezionato da Visentini e i metodi della portata indice e della formula razionale secondo i parametri proposti da Bacchi, Armanelli e Rossini;

La portata è stata calcolata in riferimento ad un tempo di ritorno di 50, 100 e 200 anni, utilizzando i dati pluviometrici disponibili per le stazioni più vicine all'area in esame. In particolare si è fatto riferimento alla stazione di Breno, per la quale è disponibile uno studio delle precipitazioni intense condotto dalla provincia di Brescia. Sulla base dei valori stimati è stata fatta anche una valutazione della portata solida dei corsi d'acqua basata sulla capacità di trasporto teorica della portata liquida.

In allegato a fine testo sono riportati lo sviluppo dei calcoli e una breve descrizione dei metodi utilizzati. Nella tabella della pagina successiva sono invece riportati i valori di portata ottenuti con l'applicazione dei diversi metodi in riferimento alla stazione considerata. I valori di portata determinati con le diverse espressioni sono piuttosto dispersi e risultano in genere inferiori ai valori determinati nello studio idraulico utilizzato per il dimensionamento degli interventi di sistemazione realizzati con i finanziamenti della Legge n. 102 che si consiglia di mantenere prudenzialmente come valori di riferimento.

Per gli stessi corsi d'acqua è stata fatta anche una valutazione della capacità di trasporto solido in occasione dei fenomeni di piena facendo una stima della Magnitudo, ovvero della quantità di materiale solido potenzialmente mobilizzabile nel corso di un singolo evento di piena con trasporto in massa. La Magnitudo è stata stimata con diverse espressioni disponibili in letteratura ed i calcoli relativi sono riportati in allegato a fine testo. I valori ottenuti con i diversi metodi sono piuttosto dispersi e si sono assunti come rappresentativi i valori ottenuti dalla media delle espressioni che tendono conto delle condizioni litologico/morfologiche dei bacini oltre che della sola superficie.

La valutazioni relative alla portata ed al trasporto solido dei corsi d'acqua sono servite, unitamente alle considerazioni di carattere morfologico a ricostruire gli scenari ed a valutare le condizioni di pericolosità

morfologica per i conoidi di fondovalle in riferimento alle definizioni contenute nell'Allegato 2 alla d.g.r. 28 maggio 2008 n. 8/7374.

6.2. Assetto morfologico e pericolosità morfologica dei corsi d'acqua

6.2.a. Inquadramento generale

La valutazione della situazione morfologica complessiva dei bacini idrografici e della relativa pericolosità morfologica è stata condotta in modo relativamente completo solo per i bacini dei torrenti Re, Fa e Cobello, che sono interamente compresi del territorio del comune di Niardo, mentre per quanto riguarda il fiume Oglio ci si è limitati ad una valutazione della situazione locale sulla base dell'assetto morfologico e delle valutazioni contenute nello studio relativo al Piano di Assetto Idrogeologico (PAI). Anche per il torrente Prestello, poiché nel territorio comunale rientra solo il tratto superiore, relativo alla val di Stabio, è stata fatta una valutazione morfologica a carattere strettamente locale.

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'esonazione 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.

6.2.b - Torrente Fa

Aspetti litologici.

Il bacino idrografico del torrente Fa presenta un'estensione di circa 4,5 km² 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 fatta secondo l'espressione proposta da Gavrilovic, per calcolare la quantità di materiale prodotto annualmente per erosione, porta a valori dell'ordine di $22.000\pm 36.000 \text{ m}^3/\text{anno}$, che risultano decisamente inferiori rispetto paragonabili alla media dei valori di Magnitudo, che variano in media da 63.000 a 83.000 m^3 .

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. Nel settore medio-superiore del conoide, da

quota 500 fino a circa 420 m il corso d'acqua è 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 per cui la probabilità di esondazione in questo tratto è relativamente contenuta e legata più che altro alla possibilità di un'ostruzione del canale.

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 del tracciato della ex-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, buona parte del materiale che il corso d'acqua potrebbe trasportare a valle in occasione degli eventi di piena. Nella parte medio-superiore del conoide, dove l'aveo è relativamente inciso, la probabilità di esondazione in questo tratto è relativamente contenuta e legata più che altro alla possibilità di un ostruzione del canale o di eventi di colata piuttosto consistenti. Nel settore medio ed inferiore del conoide, nel tratto compreso tra la quota di circa 420 m ed il canale idroelettrico e in tutto il 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 conoide è pertanto da considerare come quiescente e potenzialmente soggetto a fenomeni di esondazione in occasione di eventi di piena o di colata. Le aree potenzialmente raggiungibili in caso di esondazione sono state individuate, a partire dai punti di possibile fuoriuscita, sulla base dell'assetto morfologico dei luoghi e rappresentate nella carta di sintesi (Tavole 4, 5a, 5b). 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 H1 secondo la classificazione proposta dalla Regione Lombardia.

6.2.c - 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. Alla base del versante sinistro, nel tratto compreso tra le incisioni del ramo di Campadelli ed il ramo di Ferone, il substrato roccioso è interessato da un fenomeno di deformazione gravitativa profonda che determina localmente una forte sconnessione degli ammassi e favorisce forme di scorrimento o 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. Nel settore medio-superiore del conoide, da quota 500 fino a circa 400 m, il corso d'acqua anche in ragione dell'elevata pendenza, tende all'erosione di fondo e l'alveo si trova relativamente 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. Alla quota di circa 327 m il torrente passa al di sotto dell'ampio attraversamento della SS42. La pendenza del fondo diminuisce ancora nella parte distale del conoide, a valle di quota 320 m: in questo tratto il torrente manifesta piuttosto la tendenza a depositare materiale in alveo soprattutto a valle dei due attraversamenti poste alle quote di circa 317 e 311 m dove il torrente passa rispettivamente sotto la linea ferroviaria ed il vecchio tracciato della

SS42 a valle del quale, in corrispondenza della piana di fondovalle, compie una brusca ansa che lo porta ad immettersi nell'Oglio con direzione quasi parallela ad esso.

Trasporto solido.

Il torrente Re di Niardo è contraddistinto da un elevato trasporto solido alimentato prevalentemente da fenomeni di erosione laterale e di fondo che interessano i depositi glaciali e detritici presenti lungo il tratto medio-superiore del bacino e dal materiale derivante dalla degradazione e dai fenomeni di erosione che interessano molti impluvi laterali. I valori di Magnitudo stimati per il torrente variano in media da 110.000 a 140.000 m³.

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.

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 dovrebbe transitare essenzialmente la portata di piena con un trasporto di fondo relativamente contenuto. 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 m³/s. Nella relazione tecnica allegata al progetto di massima si nota che le sezioni degli attraversamenti della ferrovia e del tracciato della ex-SS42 presentano una sezione adeguata al deflusso della piena di riferimento mentre si rileva 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 potrebbe fuoriuscire durante gli eventi di piena.

Per eventi di piena con un trasporto solido apprezzabile, in particolare con materiale fluitato che potrebbe essere preso in carico anche a valle delle briglie selettive, in caso di mancata manutenzione dell'alveo e delle sponde, e a maggior ragione in occasione di eventi di piena con tempo di ritorno superiore a 100 anni, le probabilità di fenomeni di esondazione in corrispondenza delle sponde esterne delle anse e degli attraversamenti della ferrovia e della ex-SS42 sono ovviamente maggiori. Si tratterebbe comunque di fenomeni di intensità relativamente contenuta, in ragione della capacità di ritenuta delle briglie e dell'efficienza idraulica delle sezioni d'alveo, per cui, anche in occasione di eventi di piena con tempi di ritorno superiori a 100 anni, l'eventuale esondazione comporterebbe la fuoriuscita di acqua con un trasporto solido contenuto 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 a partire dai punti critici individuati sulla base dell'analisi morfologica e situati rispettivamente all'apice del conoide, limitatamente a due strette fasce poste lungo entrambe le sponde, all'attraversamento del canale idroelettrico di quota 385 m, lungo le sponde esterne delle anse nel tratto tra il canale idroelettrico e l'attraversamento della ferrovia ed in corrispondenza degli attraversamenti della ferrovia e della ex-SS42. Le aree sono state rappresentate sulla carta sintesi (Tavole 4, 5a, 5b).

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.

Le fasce poste nella parte superiore del conoide, dove la portata e soprattutto l'energia della corrente possono essere elevate, sono state assegnate alla classe di pericolosità alta (H4). In ragione dell'entità del fenomeno, poichè possono essere raggiunte da acqua con un trasporto solido contenuto e con portate relativamente ridotte, le altre aree di potenziale esondazione sono invece da considerare come zone a pericolosità da media a molto bassa in funzione della distanza dall'alveo e della morfologia locale che può favorire la concentrazione delle acque, di grado variabile da H3 ad H1 in riferimento alle classi di pericolosità individuate dalla Regione Lombardia per la zonazione della pericolosità dei conoidi.

6.2.d. 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 calcefiri 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. Una stima del trasporto solido del torrente fatta secondo l'espressione proposta da Gavrilovic per calcolare la quantità di materiale prodotto annualmente per erosione porta a valori dell'ordine di 13.000- 20.000 m³/anno che sono piuttosto inferiori alla media dei valori di Magnitudo, che risulta dell'ordine di 45.000-61.000 m³.

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 conii 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, però poco 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 ha quindi una probabilità molto bassa di essere interessato da fenomeni di esondazione o di colata. Lungo 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. Alla quota di circa 340 m il torrente passa al di sotto dell'ampio attraversamento della SS42 e più valle, alle quote di 320 e 316 m è attraversato rispettivamente dalla linea ferroviaria e dal tracciato della ex-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 sono state realizzate una briglia selettiva a finestra, alla quota di circa 825 m, ed una 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 di quota.

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 m³/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 del tracciato della ex-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.

La presenza di un trasporto solido apprezzabile, soprattutto nel caso di materiale fluitato, che in caso di mancata manutenzione dell'alveo e delle sponde potrebbe essere preso in carico anche a valle delle briglie selettive, potrebbe determinare localmente fenomeni di esondazione anche per eventi di piena con tempo di ritorno di 100 anni. Poichè le briglie realizzate di recente sono in grado di trattenere la maggior parte del trasporto solido si ritiene comunque che, anche in occasione di eventi di piena con tempi di ritorno superiori a 100 anni, l'eventuale esondazione possa comportare principalmente la fuoriuscita di acqua con portate non eccessive ed un trasporto solido relativamente contenuto. In relazione alla situazione morfologica del conoide, delle anse e degli attraversamenti, sono state definite le aree potenzialmente raggiungibili dalle acque di esondazione a partire dai punti critici individuati che si trovano rispettivamente in corrispondenza dell'apice del conoide, all'attraversamento del canale idroelettrico di quota 385 m, ed agli attraversamenti della ferrovia e della ex-SS42. Le aree sono state rappresentate sulla carta di sintesi (Tavole 4, 5a, 5b). 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 principalmente da acqua con un trasporto solido relativamente contenuto le aree potenzialmente raggiungibili in caso di esondazione sono state assegnate alle classi di pericolosità da esondazione da media a molto bassa in funzione della distanza dall'alveo e della morfologia locale che può favorire la concentrazione delle acque, ovvero da H3 ad H1 in riferimento alle classi di pericolosità individuate dalla Regione Lombardia per la zonazione della pericolosità dei conoidi.

6.2.e. 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 meandrici 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 da una pendenza molto bassa, dove il fiume mostra un comportamento da canale meandrico. 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 confluenze 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 deviazioni 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 sinistra 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 ex-SS42.

La valutazione delle aree potenzialmente esondabili è stata fatta da parte dell'Autorità di Bacino del fiume Po nell'ambito del Piano 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;
- 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 attualmente, e fino a quando non verranno realizzate le opere di difesa, potenzialmente alluvionabili da parte del fiume Oglio.

Le Fasce Fluviali sono state nelle carte Idrogeologica, di Sintesi e di Fattibilità.

6.2.f. Val di Stabio – torrente Prestello.

Aspetti morfologici

Nel territorio comunale di Niardo rientra solo il tratto superiore del torrente Prestello, corrispondente alla Val di Stabio, ovvero al tratto superiore di una valle glaciale sospesa.

L'assetto morfologico di questo tratto del corso d'acqua è caratterizzato da una dinamica piuttosto spiccata conseguente ad una situazione morfologica complessiva in forte evoluzione dovuta al rimodellamento delle originarie forme glaciali. Il corso d'acqua prende sostanzialmente origine dalla zona del Lago della Sorba, che occupa il settore principale della testata della valle, e comincia a ricevere il contributo delle linee di impluvio laterali a partire dalla piana che occupa il gradino longitudinale di Malga Stabio di sopra. L'assetto morfologico del

corso d'acqua è caratterizzato da un comportamento tendenzialmente meandriforme, ma condizionato dai conoidi delle linee laterali, in corrispondenza dei tratti di piana che occupano i gradini morfologici longitudinali di origine glaciale, principalmente a Malga Stabio di Sopra e Mlaga Stabio di Sotto: queste piccole piane di fondovalle sono forme attuali, in piena formazione e soggette a fenomeni di esondazione e deposizione in ragione del forte trasporto solido alimentato dall'erosione dei depositi glaciali e dei depositi detritici che caratterizza le linee di impluvio laterali. Nei tratti di valle delle zone di piana si risente già dell'erosione di fondo che interessa i gradini rocciosi sottostanti e intacca regressivamente i depositi alluvionali delle piane. L'erosione di fondo in corrispondenza dei gradini rocciosi è piuttosto intensa, localmente favorita dalla disposizione e dalla natura del substrato roccioso, ed già portato alla formazione di tratti di forra, come si rileva poco a monte di Malga di Stabio di sotto. Il regime del corso d'acqua lungo tutta la Val di Stabio è perenne, con una portata piuttosto variabile che risente direttamente dello scioglimento del manto nevoso verso la stagione calda, delle piogge e delle condizioni di gelo della stagione fredda.

Opere di regimazione idraulica

Non esistono opere idrauliche lungo il corso d'acqua in tutta la Val di Stabio, principalmente in ragione della bassa vulnerabilità connessa alla scarsa antropizzazione dell'area.

Pericolosità morfologica

In ragione della situazione morfologica descritta i tratti di piana alluvionale presenti al fondo della Val di Stabio sono tutti potenzialmente alluvionabili in occasione degli eventi di piena. Nel settore di monte delle piane di fondovalle il corso d'acqua può dar luogo anche a fenomeni di esondazione piuttosto intensi, con trasporto in solido significativo, perché il brusco cambio di pendenza tra la piana ed il gradino roccioso posto a monte favorisce la deposizione del materiale in carico nel tratto superiore della piana e la possibilità di divagazioni. I

7. ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

7.1. Aspetti geologici

Gli aspetti geologici del territorio sono stati rappresentati nella Carta geologica alla scala 1:10.000 (Tavola 1), estesa a tutto il territorio comunale, e nella *Carta litologico-morfologica di dettaglio* (Tavole 3a,b) alla scala 1:2.000, relativa al settore del fondovalle ed alla base del versante della Val Camonica. Nelle carte 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.

7.2. Inquadramento geologico-strutturale

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 Calcare 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.

7.3. 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.

Calcare 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 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.

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.

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.

Formazione di Wengen. Questa formazione affiora 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.

Calcarea di Pratotondo. Questa formazione affiora in località Bisone, in corrispondenza tra lo spartiacque tra la valle del Fa e la valle del Re. L'unità è rappresentata da calcari di colore grigio o nero, disposti in strati da medi a sottili o in banchi rinsaldati, con sottili intercalazioni di argilliti nere.

Nella zona di metamorfismo di contatto i litotipi appartenenti a questa unità sono rappresentati da marmi o calcefiri con livelli di cornubianiti. 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.

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.

Calcarea di Esino. Alla formazione del Calcarea 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 Calcarea 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.

Formazione di Breno. Diversi autori concordano nell'attribuire alla formazione di Breno 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 calcarea-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 Dolomia Principale. Queste rocce risalgono al Carnico medio-inferiore e testimoniano un ambiente di sedimentazione di piattaforma carbonatica principalmente in zona intertidale.

Formazione di San Giovanni Bianco. L'unità è costituita da marne e dolomie marnose di colore grigio, in strati di spessore medio o sottile, e da siltiti ed argilliti sottilmente laminate di colore verde, verde-azzurro o rosso. Localmente sono presenti anche strati medi di calcari marnosi grigi o, verso l'alto, argilliti nere. Questi litotipi risultano spesso tettonizzati, fortemente fratturati o brecciati e a volte trasformati in carniole e brecce tettoniche giallastre. La formazione affiora lungo il tratto di cresta posto ad est del Monte Alta Guardia e sui relativi fianchi rivolti verso la valle del Re e la Val di Stabio dove è costituita dai termini metamorfosati per contatto. Principalmente si tratta di marmi calcitici e dolomitici con calcefiri, cornubianiti e marmi e calcefiri vacuolari, derivanti dalle carniole e dalle dolomie cariate. L'unità è attribuita al Carnico superiore e rappresenta un

ambiente di laguna con apporti terrigeni e condizioni di forte evaporazione che hanno portato anche alla deposizione di evaporiti.

Dolomia Principale. Vari autori hanno attribuito alla formazione della Dolomia Principale i termini metamorfosati che costituiscono una parte del tratto di cresta posta ad est del Monte Alta Guardia, rappresentati da marmi saccaroidi di composizione calcarea e calcareo-dolomitica accompagnati a subordinati calcefiri a diopside ed epidoto. Alcuni autori hanno attribuito alla Dolomia Principale anche parte dei termini metamorfici presenti lungo la cresta compresa tra il monte Stabio ed il monte Frerone, che in questa sede sono stati invece assegnati alla Formazione di Breno. L'età di queste rocce è Norica e in ogni caso testimoniano un ambiente di sedimentazione di piattaforma carbonatica.

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-piroseniche 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.

Tonalite, granodiorite, e diorite del plutone 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 Ferone 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.

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 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.

7.4. 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.

Depositi glaciali. Questa unità è rappresentata esclusivamente da depositi antichi o relativamente 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.

In riferimento alla classificazione USC i depositi propriamente glaciali possono essere classificati principalmente come GM, ovvero ghiaie prevalenti con sabbia e matrice limosa apprezzabile. Il comportamento geotecnico e la permeabilità di questi materiali variano fortemente in funzione della granulometria, della tessitura e dello stato di addensamento. Da un punto di vista generale, i depositi glaciali sono caratterizzati da permeabilità scarsa e discrete caratteristiche geotecniche.

Depositi fluvioglaciali. I depositi fluvioglaciali rappresentano i sedimenti connessi al rimaneggiamento dei materiali di origine glaciale causato dall'azione di erosione, trasporto e deposizione operata dalle acque di fusione dei ghiacci, probabilmente in posizione laterale al ghiacciai, ed hanno caratteri granulometrici e tessiturali del tutto simili a quelli dei sedimenti alluvionali e sono rappresentati in genere da orizzonti di ghiaia, ghiaia e sabbia o sabbia (GW, GP, GM, SW, SP) intercalati ai quali si possono trovare anche dei livelli fini, con sabbia e sabbia limosa, e locali livelli di limi sabbiosi e limi debolmente argillosi (SM, ML). 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 (GW), generalmente ben cementati, che sono stati rappresentati in carta. Molto probabilmente altri sedimenti di origine fluvioglaciale sono presenti in corrispondenza dei terrazzi morfologici posti alla base del versante della Val Camonica o lungo i fianchi delle valli laterali, ma sono in genere coperti da altri depositi, glaciali di ablazione o di versante, per cui non direttamente visibili e riconoscibili in affioramento.

I livelli di depositi fluvioglaciali cementati presentano caratteristiche geotecniche da discrete a buone ed in genere si tratta di sedimenti presenti contraddistinti da una permeabilità alta e da parametri geotecnici da buoni a discreti.

Depositi alluvionali antichi, recenti ed attuali. 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, recenti ed antiche. 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.

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.

Le alluvioni recenti sono costituite dai depositi che formano la piana alluvionale dei corsi d'acqua, in posizione esterna all'alveo attuale, ma potenzialmente raggiungibile in caso di esondazione. 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.

Depositi alluvionali antichi, ma forse di conoide alluvionale antico o fluvioglaciali, rappresentati da livelli di ghiaia e ciottoli e ghiaia con ciottoli e sabbia e ghiaia e sabbia mediamente addensati, sono stati rilevati alla base del versante posto a monte dell'abitato di Niardo, in posizione esterna e più alta rispetto al margine destro del conoide del torrente Re. In ragione della situazione descritta i depositi alluvionali attuali sono rappresentati principalmente da sedimenti di canale con massi, ciottoli e ghiaia (GP secondo la classificazione USC) e solo localmente si ritrovano delle sabbie (SP), una situazione analoga si riscontra per i depositi antichi. Le alluvioni recenti presentano invece in superficie un orizzonte da esondazione costituito principalmente da sabbia (SP) con sabbia limosa (SM) mentre in profondità sono costituiti in prevalenza da orizzonti grossolani (GP) con in intercalazioni di sabbie (SP). Nel complesso, vista la granulometria prevalentemente grossolana, i depositi alluvionali sono contraddistinti da una permeabilità alta e da buone caratteristiche geotecniche salvo i livelli fini da esondazione che presentano permeabilità scarsa e parametri geotecnici mediocri.

Depositi di conoide alluvionale e depositi di conoide detritico-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 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 caratterizzati dalla presenza di una certa frazione fine. 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.

I sedimenti presenti nel settore superiore e medio dei conoidi, costituiti da livelli grossolani a volte con frazione apprezzabile (GW, GM) sono caratterizzati da una permeabilità da media ad alta e da parametri geotecnici da buoni a discreti. I sedimenti presenti nel settore distale, dove si trovano livelli fini con sabbia e limo (GM, SM, ML) presentano invece una permeabilità da media a scarsa e parametri geotecnici da mediocri a scadenti.

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, detritico-alluvionali 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 (GP) ed hanno permeabilità alta e parametri geotecnici buoni.

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 cono 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, cono 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.

I depositi detritici poco o non colonizzati dalla vegetazione presenti nei settori di territorio posti alle quote più elevati presentano una granulometria grossolana, con scarsa frazione fine (GW) che diventa invece generalmente apprezzabile per i depositi colonizzati dalla vegetazione (GW, GM), localmente significativa in ragione della natura delle rocce di partenza.

Nel complesso i depositi detritici hanno una permeabilità alta o al limite media e presentano caratteristiche geotecniche da buone a discrete.

Depositi eluvio-colluviali. depositi eluviali sono costituiti dai materiali derivanti dall'alterazione in posto del substrato roccioso operata dall'attività dei vari agenti esogeni. La granulometria di questi sedimenti è strettamente legata alla composizione ed alle caratteristiche strutturali dei litotipi di partenza. Si tratta in genere di sedimenti fini a prevalente supporto di matrice e di aspetto massivo, costituiti principalmente da pochi frammenti, ghiaia e ciottoli, immersi in un'abbondante matrice sabbiosa, limosa e argillosa.

I depositi colluviali derivano invece dal trasporto e dall'accumulo lungo i versanti ad opera della gravità, per reptazione lenta e solifluzione o per il dilavamento delle acque meteoriche, dei materiali di origine eluviale. Nell'area in esame questi sedimenti hanno un aspetto molto simile a quello dei materiali di origine eluviale in quanto derivano principalmente dalla loro mobilitazione a partire dai settori più acclivi del versante; si differenziano, oltre che per la posizione morfologica, anche per la presenza di una frazione fine nel complesso più abbondante e per una minima organizzazione in livelli a composizione granulometrica differente.

Nel territorio in esame i depositi eluviali sono presenti in modo relativamente diffuso soprattutto nelle parti superiori dei, al di sopra della quota raggiunta dai depositi glaciali, dove costituiscono delle coltri in genere poco potenti e spesso discontinue che non è stato possibile rappresentare separatamente alla scala della carta, ma che costituiscono principalmente le aree dove il substrato roccioso è stato indicato come subaffiorante. Le caratteristiche granulometriche e tessiture di tutti questi depositi sono strettamente legate alla composizione dei litotipi originari. Si tratta in genere di sedimenti fini, a prevalente supporto di matrice, rappresentati da ghiaia e ciottoli immersi in abbondante matrice di sabbia, limo e argilla (GM, SM, ML). I clasti sono in genere a spigoli vivi. In ragione delle caratteristiche granulometriche, sono caratterizzati da una permeabilità scarsa e da parametri geotecnici da mediocri a scadenti.

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 stata realizzata un'area per attrezzature sportive. Questi accumuli sono costituiti da materiale derivante da scavi effettuati in zone limitrofe, e soprattutto dai lavori di svasso e di scavo relativi agli interventi di sistemazione idraulica fatta lungo i tratti inferiori dei torrenti Re e Cobello. Questi accumuli sono pertanto costituiti soprattutto da materiale di conoide alluvionale essere classificati nel complesso come GW o GM, a seconda della percentuale della frazione fine, mentre nel dettaglio, in ragione delle modalità di messa in posto, possono presentare una forte disomogeneità di composizione. Sono caratterizzati quindi da una permeabilità indicativamente di grado medio e da parametri geotecnici da mediocri a scadenti in ragione della disomogeneità.

8. ASPETTI GEOMORFOLOGICI

Nella *Carta Geomorfologica* (Tavola 2) redatta alla scala 1:10.000 per tutto il territorio comunale, e nella *Carta litologico-morfologica di dettaglio* (Tavole 3a,b) alla scala 1:2.000 per il settore di fondovalle e per la base del versante della Val Camonica, 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 adottato un criterio 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.

8.1. Quadro geomorfologico generale

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

Settore delle testate delle valli secondarie (valli di Fa, Valle del Re e Val di Stabio).

Questo settore è caratterizzato da una forte impronta glaciale relativa anche all'attività olocenica, successiva alla glaciazione würmiana e fino all'epoca storica. Si tratta infatti di zone delle zone di circo che alimentavano le lingue glaciali che si raccordavano alla lingua principale del solco dell'Oglio, successivamente occupate da piccole lingue di ghiaccio, ghiacciai di roccia e nevai e ancora adesso, nella parte superiore della Via di Stabio, sede di piccoli nevai in via di rapida scomparsa. Le zone sono caratterizzate da una serie di ripiani morfologici, sedi di conche di sovraescavazione ora occupate da piccoli laghi e piane alluvionali, sostenute da soglie rocciose e separate da gradini di erosione glaciale. Oltre ai fenomeni valanghivi 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 in corrispondenza delle scarpate dei gradini longitudinali e delle soglie e locale deposizione in corrispondenza delle piane che occupano i ripiani.

Settore dei tratti medi ed inferiori delle valli secondarie (valli di Fa, del Re e del Cobello).

L'assetto morfologico di questo settore deriva principalmente dal riequilibrio della curva di fondo dei corsi d'acqua rispetto 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. L'intensità dell'erosione avvenuta successivamente al ritiro dei ghiacciai è evidente nelle forre rocciose che caratterizzano i tratti inferiori dei torrenti, Re, Fa e Cobello, incise in modo lineare e regressivo entro quello che era l'antico fondovalle glaciale. I fianchi delle valli sono pertanto molto ripidi, sia nel tratto superiore, in ragione della tipica conformazione data dall'erosione glaciale, sia nella parte inferiore, dove ha operato l'erosione lineare dei corsi d'acqua, e questo favorisce la degradazione dei versanti rocciosi, l'erosione lungo le linee di impluvio e l'erosione e la degradazione delle coltri dei depositi superficiali. L'approfondimento dovuto all'erosione, prima glaciale e poi torrentizia, ha dato luogo localmente anche a fenomeni franosi che interessano il substrato roccioso in modo relativamente profondo. Gli alvei dei corsi d'acqua sono impostati in parte in roccia, dove i fenomeni erosivi procedono in modo relativamente lento, e in parte in depositi superficiali, soprattutto glaciali lasciati principalmente dalle lingue locali e in minor misura in detritici di

versante, dove l'erosione di fondo e laterale si esplica in modo intenso sia lungo i corsi d'acqua principali sia lungo le linee di impluvio minori dando luogo ad un trasporto solido consistente al quale contribuiscono localmente i fenomeni di degradazione che interessano le pareti rocciose o le coltri dei depositi superficiali. La disponibilità di materiale e l'elevata pendenza delle curve di fondo dei corsi d'acqua favoriscono la possibilità di eventi di piena con elevato trasporto solido che si espandono fino ai conoidi di fondovalle.

Settore dei conoidi di fondovalle (conoidi del Fa, del Re e del Cobello).

L'assetto morfologico di questo settore 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. Per la descrizione di dettaglio della situazione morfologica e delle relative condizioni di pericolosità si rimanda ai paragrafi relativi (paragrafi 6.2.b, 6.2.c, 6.2.d).

Settore della piana di fondovalle (piana del fiume Oglio). L'assetto morfologico di questo settore è legato alla dinamica recente del fiume Oglio, tuttora attiva soprattutto con forme di erosione. Per la descrizione di dettaglio della situazione morfologica e delle relative condizioni di pericolosità si rimanda al paragrafo relativo (paragrafo 6.2.e).

8.2. Forme, processi e depositi gravitativi di versante

Orlo di scarpata 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. Poichè il deposito glaciale è caratterizzato dalla presenza di grossi massi, con volumi dell'ordine da 0.2 a 1 m³, 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 delle strada.

Una frana per scivolamento planare in depositi detritici di versante, anch'essa innescata dall'erosione al piede lungo una linea di impluvio secondaria, si trova sul fianco sinistro della linea di impluvio posta a sud del Dosso Cochet. Per il resto i fenomeni franosi sono in genere di piccole dimensioni e superficiali, rappresentati da forme di scorrimento planare dell'orizzonte superficiale di alterazione o della coltre dei depositi eluviali.

Area interessata da deformazioni gravitative profonde di versante. – Roccia fratturata – Fessure di trazione.

La rimozione di sostegno al piede dei versanti conseguente all'erosione da parte dei corsi d'acqua ha innescato, in corrispondenza della del versante sinistro della valle del Re, nel tratto compreso tra Malga Ferone di Sotto e la confluenza con il ramo di Malga Campedelli, un fenomeno gravitativo profondo. Il fenomeno è ben evidenziato dalla presenza di fratture di trazione a monte e dallo stato di sconnessione degli ammassi rocciosi coinvolti, costituiti da tonaliti. Le deformazioni gravitative profonde sono fenomeni di colata (o flusso o creep) in roccia e sono legati ad un comportamento degli ammassi rocciosi di tipo viscoso con deformazione che comporta un movimento distribuito su più superfici di scorrimento in genere coincidenti con le linee di debolezza di tipo litologico, scistosità o variazioni di composizione, o soprattutto di tipo tettonico, fasce cataclasate o milonizzate.

La deformazione della compagine rocciosa è relativamente limitata dove l'ammasso roccioso è contenuto lateralmente e le condizioni di tensione si mantengono sostanzialmente in un campo di creep primario o secondario, mentre è maggiore dove manca il contenimento e si ha rilascio tensionale, come avviene al piede degli ammassi in frana. La presenza di zone di rilascio tensionale alla base ed ai fianchi dei corpi di frana maggiori, spesso anche in corrispondenza della scarpata principale o delle scarpate secondarie e dei fianchi che delimitano i vari settori, favoriscono inoltre l'innescare di una serie di fenomeni minori di degradazione o di frana. La velocità di deformazione di questi fenomeni è, nel complesso, generalmente lenta, con movimenti continui caratterizzati da variazioni di velocità oppure con alternanza di periodi di stasi e periodi di attività. I periodi di attività o comunque le variazioni della velocità di deformazione sono in relazione alle modificazioni dello stato tensionale che si succedono nel tempo per l'evoluzione del fenomeno e sul quale possono influire lo stato di saturazione e le pressioni dell'acqua. Data la relativa evidenza morfologica si ritiene che il fenomeno in esame sia quantomeno quiescente e caratterizzato da un'evoluzione molto lenta.

In altre situazioni è stata rilevata la presenza di ammassi rocciosi caratterizzati da un grado di fratturazione e di sconnessione che potrebbe essere legati a forme di rilascio tensionale quantomeno a livello locale, dato che non si è riusciti ad individuare la presenza di altri elementi che potessero testimoniare in modo diretto l'esistenza di fenomeni franosi e la loro estensione. In altre situazioni la possibilità di deformazioni in atto è stata evidenziata dalla presenza di fessure di trazione rappresentate da trincee relativamente evidenti., come ad esempio in

corrispondenza di un tratto della cresta rocciosa posta ad est del monte Alta Guardia, dove peraltro sono presenti anche delle doline e le fessure potrebbero essere connesse a sprofondamenti dovuti alle cavità sotterranee.

Massi pericolanti. Massi parzialmente imballati nel terreno, anche di grosse dimensioni, situati in alcune aree acclivi impostate principalmente in depositi glaciali, che possono essere mobilizzati in seguito a fenomeni di degradazione quali forme di erosione da ruscellamento, di reptazione più o meno intensa o piccole frane superficiali. Spesso queste aree coincidono con vecchie scarpate di degradazione, erosione o di frana. Il tratto di pendio posto a monte dell'abitato di Niardo e compreso tra le incisioni del Re e del Cobello, è costellato di massi ben visibili, alcuni immersi parzialmente nel terreno, altri semplicemente appoggiati; alcuni 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

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 20 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 reptazione o soliflusso. 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 decortizzazioni 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 raggiungono molte volte 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

8.3. Forme e depositi glaciali e nivali

Orlo di circo glaciale. 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. Attualmente sono attivi solo piccoli nevai nei settori di circo più riparati alla testata della Val di Stabio.

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 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 ed i ghiacciai di roccia relativi alle fasi finali della glaciazione würmiana oltre a 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 longitudinale 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.

Cuscinetti erbosi. Piccoli rilievi, alti pochi decimetri e con pianta poligonale con area dell'ordine di 0,5-1 m², caratterizzati da vegetazione erbacea più densa rispetto alle strette fasce depresse che li separano. Sono tipici di zone con terreno saturo o comunque umido e sono il risultato delle fessurazioni e dei rigonfiamenti prodotte dal gelo.

Valanghe / Valanghe potenziali. Scivolamenti di masse nevose a partire da zona di cresta o da settori di versante relativamente ripidi e privi di una vegetazione arborea o arbustiva possono interessare diffusamente i versanti nei settori posti alla quote più elevate del territorio comunale, alla testata della valli di Fa, del Re, localmente del Cobello e, soprattutto della Val di Stabio. In relazione principalmente alla quota ed alla esposizione le zone sono state distinte in aree interessate stagionalmente da fenomeni di valanga, dove questi fenomeni si manifestano stagionalmente in relazione alle condizioni medie di innevamento, principalmente i canali del versante della valle del Re e della Val di Stabio, e in zone potenzialmente interessate dai fenomeni di valanga, dove le condizioni favorevoli al loro innesco si manifestano solo in anni particolarmente nevosi. Le condizioni di pericolosità sono in genere maggiori per le aree soggette stagionalmente ai fenomeni, ma possono essere relativamente consistenti anche per le altre zone, in ragione principalmente delle situazioni topografiche locali.

8.4. Forme, processi e depositi per acque correnti superficiali

Cono alluvionale. I conoidi alluvionali 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 tratti 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 per i tratti apicali di questi conoidi hanno minori probabilità di essere interessati da fenomeni di esondazione ed alcuni settori si possono considerare ormai inattivi. 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 e per limitarne la pericolosità sono state realizzate recentemente delle opere di sistemazione idraulica. 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 dettagli relativi alle opere presenti e alle condizioni di pericolosità dei conoidi si rimanda ai paragrafi relativi (paragrafi 6.2.a, 6.2.b, 6.2.c).

Cono detritico-alluvionale. Con questa voce sono stati indicati alcune forme presenti alla testata della valle del torrente Re e della Val di Stabio 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.

Argine naturale. Gli argini naturali sono accumuli di materiale alluvionale di forma allungata e disposti in posizione esterna all'alveo, in modo più o meno parallelo alle sponde, che i fiumi e torrenti lasciano in caso di transito e di esondazione di piene con elevato trasporto solido o di colate. Argini naturali piuttosto consistenti sono stati depositi dal torrente Re nel tratto di piana posto a valle del malga Ferone di Sotto in occasione della piena dell'estate del 1987. .

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 di ristagno d'acqua, 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.

8.5. Forme e depositi carsici

Dolina / Campo di doline. 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 di 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, può essere soggetto a fenomeni di dissoluzione carsica, sia pure non in modo particolarmente accentuato visto il contenuto marnoso e l'organizzazione in strati sottili di parte della formazione. In Val Camonica evidenze di fenomeni carsici nel Calcere di Angolo si hanno nel tratto inferiore della forra del torrente Palobbia e 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.

Un campo di doline, rappresentato da alcune depressioni ravvicinate, con diametri e profondità di pochi metri, si trova in corrispondenza dei termini metamorfici della Formazione di S. Giovanni Bianco, marmi e calcefiri, anche vacuolari, alla sommità di un tratto della linea di cresta posta ad est del Monte Alta Guardia. In questo caso i fenomeni di dissoluzione sono favoriti dalla composizione delle rocce, con presenza anche di minerali di gesso nella compagine complessiva e dalle temperature relativamente basse. Nella stessa zona sono presenti anche delle trincee, che potrebbero essere connesse a sprofondamenti dovuti alle cavità sotterranee piuttosto che fenomeni di rilascio tensionale puramente gravitativo.

8.6. Forme, processi e depositi di natura antropica

Area degradata da pascolamento. 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. 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. Lo stato di manutenzione di queste opere è in genere buono, anche in ragione della loro realizzazione recente. Nei tratti più ripidi, dove è maggiore la tendenza all'erosione di fondo si registra però un principio di danneggiamento per erosione alla base di alcune soglie, sia nel tratto apicale del conoide del Cobello sia, soprattutto, nel tratto apicale del torrente Re, e un principio di erosione della pavimentazione del fondo in alcuni tratti lungo la parte intermedia di entrambi i conoidi. Lungo entrambi i corsi d'acqua rimangono ancora delle situazioni di relativa criticità, soprattutto nella parte distale dei conoidi, a partire dai quali, in caso di piena, si potrebbero verificare nuovi fenomeni di esondazione.

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 così pure per tutto il tratto inferiore, a valle della piazza di deposito. Lo stato di manutenzione delle opere è buono.

Per le condizioni di pericolosità si rimanda ai paragrafi relativi (paragrafi 6.2.a, 6.2.b, 6.2.c)

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 stata realizzata un'area con strutture sportive e ricreative.

9. ASPETTI IDROGEOLOGICI

Gli elementi di carattere idrogeologico ed idrografico sono stati rappresentati sulla Carta idrogeologica (Tavola 10) redatta alla scala 1:10.000 per tutto il territorio comunale.

Nell'ambito di questa carta le unità del substrato roccioso e le unità dei depositi superficiali sono state classificate in base alla permeabilità adottando la classificazione proposta da Civita (Civita, 2005).

9.1. Permeabilità del substrato roccioso e dei depositi superficiali

9.1.a. Permeabilità del substrato roccioso

Nella valutazione della permeabilità degli ammassi rocciosi si è tenuto conto sia delle caratteristiche litologiche sia del relativo grado di fratturazione, almeno per quanto risulta dalle condizioni riscontrate in superficie.

Rocce con permeabilità alta. A questa classe di permeabilità, indicativamente con un coefficiente di permeabilità maggiore di 10^{-2} m/s, sono stati assegnati gli ammassi rocciosi appartenenti alle formazioni del Calcere di Esino, della Formazione di Breno e della formazione della Dolomia Principale, affioranti in Val di Satabio, in un settore dove le unità hanno subito una trasformazione in marmi per effetto del contatto con l'intrusione del plutone dell'Adamello. Queste rocce rappresentano delle zone di infiltrazione preferenziale per le acque superficiali e sono connesse ad acquiferi carsici che però, in ragione della collocazione piuttosto marginale alla sommità del versante ed a ridosso del margine del plutone, fanno capo principalmente ad altre unità.

Rocce con permeabilità media. A questa classe di permeabilità, indicativamente con un coefficiente di permeabilità compreso tra 10^{-2} e 10^{-5} m/s, sono stati assegnati gli ammassi rocciosi del Calcere di Angolo ai quali, la presenza di fenomeni di dissoluzione carsica, consente di rivestire un ruolo acquifero significativo. Sono state assegnate a questa classe anche le litologie termometamorfosate, calcefiri principalmente, delle formazioni del Calcere di Buchenstein, di Prezzo e della Formazione di S. Giovanni Bianco. Quest'ultima unità è interessata da evidenti fenomeni di dissoluzione carsica lungo il tratto di cresta ad est del Monte Alta Guardia.

Rocce con permeabilità scarsa. A questa classe di permeabilità, indicativamente con un coefficiente di permeabilità compreso tra 10^{-5} e 10^{-9} m/s, sono stati assegnati gli ammassi rocciosi appartenenti alle unità sedimentarie del Calcarea di Buchenstein, del Calcarea di Pratotondo e della Formazione di Wengen ed i termini intrusivi del plutone dell'Adamello, principalmente tonaliti. Queste unità sono costituite da litologie che presentano una permeabilità di relativamente diversa e possono assumere un ruolo di acquifero o di acquitardo in relazione alla permeabilità delle rocce adiacenti.

Rocce praticamente impermeabili. Alla classe delle rocce impermeabili, indicativamente con un coefficiente di permeabilità minore di 10^{-9} m/s, sono stati assegnati gli ammassi rocciosi costituiti dalla formazione delle Argilliti di Lozio e dai termini non metamorfosati del Calcarea di Prezzo.

9.1.b. Permeabilità dei depositi superficiali

Nella valutazione della permeabilità dei depositi superficiali si è tenuto conto di un valore medio relativo al complesso dei sedimenti che costituiscono le singole unità.

Depositi ad alta permeabilità. Con questa classe di permeabilità, indicativamente con un valore del coefficiente di permeabilità superiore a 10^{-2} m/s, sono state assegnati i depositi alluvionali attuali e recenti, i depositi dei conoidi alluvionali anche se localmente possono presentare livelli superficiali a granulometria relativamente fine ed i depositi detritici di versante.

Depositi a permeabilità media. A questa classe di permeabilità, indicativamente con un valore del coefficiente di permeabilità compreso tra 10^{-2} e 10^{-5} m/s, sono stati assegnati i depositi glaciali presenti alla testata della valli laterali, legati a piccole lingue e nevai, che sono caratterizzati da una granulometria relativamente grossolana e privi di una matrice fine abbondante.

Depositi a permeabilità scarsa. A questa classe di permeabilità, indicativamente con un valore del coefficiente di permeabilità compreso tra 10^{-5} e 10^{-9} m/s, sono stati assegnati i depositi di origine eluviale e colluviale, i depositi glaciali presenti sul versante della Val Camonica e le morene presente nei tratti intermedi delle valli laterali, che, al di là di variazioni granulometrie significative, sono caratterizzati nel complesso da una matrice fine relativamente abbondante.

9.2. Assetto idrogeologico generale

Le considerazioni espresse in questo paragrafo sono basate esclusivamente su osservazioni e dati di carattere strettamente litologico e strutturale in quanto non sono disponibili in modo sufficiente dei dati idrogeologici diretti, intesi come livelli piezometrici, portate e caratteristiche chimico-fisiche delle acque.

9.2.a. Settore di fondovalle.

La situazione idrogeologica del settore di fondovalle è caratterizzata dalla presenza di una falda a pelo libero contenuta nell'acquifero costituito dai depositi alluvionali della piana del fiume Oglio e dei conoidi alluvionali delle valli laterali. Non si dispone di dati relativi alla profondità dell'acquifero che è sicuramente dell'ordine di qualche decina di metri. L'acquifero è sostenuto alla base da depositi a granulometria relativamente più fine, probabilmente di origine glaciale, o direttamente dal substrato roccioso. Nella zona della piana di fondovalle il livello piezometrico della falda si trova ad una profondità dell'ordine di 2,5-3 m dal piano campagna, come si

osserva in corrispondenza di una piccola cava di inerti inattiva situata nella piana in prossimità della sponda sinistra del fiume Oglio, in territorio del comune di Losine, paragonabile alla quota del fondo alveo dell'Oglio che in questo tratto svolge principalmente un ruolo drenante rispetto alla falda. La falda riceve alimentazione sia dall'infiltrazione diretta dalla superficie della piana di fondovalle e dei conoidi alluvionali delle valli laterali sia, molto probabilmente da apporti sotterranei dal substrato roccioso e quindi il livello piezometrico dovrebbe essere relativamente più alto in prossimità della base dei versanti. In mancanza di dati non è stato possibile ricostruire l'andamento della superficie piezometrica lungo il fondovalle: a livello indicativo, per il tratto posto a valle della confluenza in Oglio del torrente Re di Niardo, in riferimento alle quote della falda che affiora in corrispondenza di due specchi d'acqua corrispondenti a cave di inerti inattive, una in territorio di Losine, subito a monte della confluenza del Re nell'Oglio e l'altra in località Calameto in comune di Breno, si ottiene una pendenza della falda dell'ordine del 7,88 ‰, del tutto paragonabile al gradiente topografico della piana. La direzione di deflusso della falda è verosimilmente parallela all'asse della valle.

Non disponendo di dati relativi a pozzi non si hanno informazioni dirette relative alla caratteristiche di trasmissività e di produttività della falda di fondovalle. In ragione delle caratteristiche granulometriche dei depositi presenti almeno nella parte superficiale e delle potenzialità di alimentazione si ritiene che la falda abbia una consistenza elevata.

In corrispondenza della piana di fondovalle la falda presenta una vulnerabilità elevata in ragione della scarsa profondità e della granulometria dei terreni. Le condizioni di vulnerabilità diminuiscono a valori medi nella fascia distale dei conoidi alluvionali in ragione della maggiore profondità e della granulometria relativamente più fine dei terreni. Nei tratti medi e superiori dei conoidi la vulnerabilità si mantiene su valori medi grazie alla profondità elevata alla quale si trova via via rispetto al piano campagna.

9.2.b. Settore del versante sinistro della Val Camonica.

Il settore del versante destro della Val Camonica è caratterizzato dalla presenza, in affioramento nel suo tratto superiore, delle rocce intrusive del plutone dell'Adamello, caratterizzate nel complesso da una permeabilità scarsa che non sono in grado di costituire acquiferi significativi e, unitamente alla acclività in media elevata, non favorisce l'infiltrazione delle acque. Nel settore medio e superiore del versante gli acquiferi sono legati principalmente ai depositi superficiali, depositi detritici di versante, che occupano il fondo ed il piede dei versanti delle valli laterali. Questi acquiferi sono in genere sostenuti dal sottostante substrato roccioso, ed hanno dimensioni relativamente contenute in ragione della morfologia dell'interfaccia depositi/roccia, caratterizzata dalla presenza di soglie di origine glaciale che costituiscono soglie di permeabilità alle quali sono legate alcune sorgenti; localmente si ha anche una certa continuità con la parte superficiale, alterata e fratturata, del substrato roccioso, come nel tratto inferiore della Valle di Campedelli, dove si trovano le sorgenti più consistenti. Nel complesso si tratta di acquiferi piuttosto vulnerabili in ragione della permeabilità mediamente alta dei depositi.

Nel settore inferiore del versante della Val Camonica il substrato roccioso è invece costituito dalle unità sedimentarie con termini a permeabilità variabile da scarsa a media e rappresentate principalmente dal Calcere di Angolo, a permeabilità media, che è sede di acquiferi per fatturazione e carsismo di una certa importanza, ai quali sono legate le sorgenti utilizzate dall'acquedotto comunale di Niardo. La disposizione delle unità, all'incirca

parallela alla direzione del versante con inclinazione mediamente maggiore, favorisce l'infiltrazione in profondità delle acque con una componente di deflusso parallela al versante, secondo la disposizione della stratificazione, con verso probabilmente condizionato dal contatto profondo con le rocce intrusive del plutone e dalla presenza di filoni intrusivi spesso generalmente disposti parallelamente al contatto ed alla stratificazione. Il condizionamento dato dalla presenza delle rocce intrusive, che vengono a costituire dei setti meno permeabili entro le rocce carbonatiche, è evidente nella situazione delle sorgenti utilizzate dall'acquedotto, posizionate a ridosso di piccoli filoni di tonalite o granodiorite a grana minuta. Nel complesso, anche gli acquiferi relativi al substrato roccioso, presentano una certa vulnerabilità in ragione della situazione litologica e morfologica complessiva perchè legati a rocce carsificate in buona parte direttamente affioranti.

9.2.c. Settore della Val di Stabio.

La presenza delle rocce intrusive del plutone dell'Adamello, che costituiscono buona parte della sommità del versante sinistro della Val Camonica separa anche da un punto idrogeologico, oltre che idrografico, il settore della Val di Stabio dal resto del territorio comunale. La situazione idrogeologica della Val di Stabio è caratterizzata dalla presenza di un substrato roccioso rappresentato principalmente da litologie intrusive poco permeabili accompagnate da una fascia, disposta in asse al fondovalle, in parte sul versante sinistro e localmente sul versante destro, di rocce sedimentarie principalmente carbonatiche, che hanno una permeabilità in genere da media a scarsa. I depositi superficiali presenti nel fondovalle ed alla base dei versanti, sedimenti alluvionali, glaciali e detritici di versante, costituiscono degli acquiferi sostenuti alla base dal substrato roccioso ed aventi una geometria condizionata dalla morfologia glaciale dell'area, caratterizzata da ripiani morfologici separati da soglie e gradini rocciosi che rompono la continuità degli acquiferi. Questi acquiferi sono sedi di falde a pelo libero che alimentano localmente piccole sorgenti o direttamente il corso d'acqua principale in corrispondenza delle soglie rocciose. Parte delle acque degli acquiferi superficiali si infiltra anche più in profondità nel substrato roccioso, entro fratture e condotti carsici impostati principalmente entro l'unità del Calcare di Angolo, e contribuisce ad alimentare una circolazione più profonda, sostenuta alla base dalle rocce della Carniola di Bovegno e del sottostante Servino, che alimenta sorgenti situate sia più a valle lungo la prosecuzione della Val di Stabio sia in zone esterne ad essa.

9.3. Sorgenti utilizzate a scopo potabile

Le sorgenti utilizzate dall'acquedotto comunale si trovano in allo sbocco della forra del torrente Cobello e nel tratto inferiore della valle del torrente Fa.

Nel primo caso si tratta di tre scaturigini, due in destra idrografica ed una in sinistra, relativamente vicine e poste al fondo della forra che il torrente ha inciso direttamente nel substrato roccioso. La portata complessiva delle sorgenti è dell'ordine di 5 l/s con una certa variabilità stagionale. Maggiore per la sorgente posta in sponda sinistra.

Nel caso del torrente Fa la sorgente si trova nel tratto medio della forra, direttamente incisa nel substrato roccioso, alla base del fianco destro. La portata della sorgente è dell'ordine di 5 l/s con una certa variabilità stagionale.

Non si dispone di analisi chimiche complete delle acque delle sorgenti, ma solo di analisi eseguite periodicamente in rete, dopo il mescolamento delle acque, per verificarne la potabilità. I pochi parametri presi in considerazione nelle analisi indicano delle acque poco mineralizzate, con una conducibilità dell'ordine di 150-200 S/cm, e relativamente poco dure, con una durezza dell'ordine di 10-12 °F, e quindi legate ad una circolazione relativamente veloce.

SINTESI DEGLI ELEMENTI

10. AMBITI DI PERICOLOSITÀ OMOGENEA

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 con le informazioni relative ai principali indirizzi ed orientamenti di pianificazione a carattere geologico, morfologico ed idrogeologico.

La *Carta di sintesi* è stata redatta alla scala 1:2.000 per il settore di fondovalle e la parte inferiore del versante della Val Camonica ed alla scala 1:10.000 per il resto del territorio comunale. Questo elaborato rappresenta le aree omogenee dal punto di vista della pericolosità mediante una serie di poligoni che delimitano porzioni di territorio caratterizzate da problematiche geologiche limitative alla fattibilità geologica per le azioni di piano. La sovrapposizione di più ambiti determina quindi dei poligoni misti per pericolosità legata a più fattori limitanti.

In relazione alle caratteristiche geologiche locali ed alle indicazioni della normativa di riferimento, per l'area in esame sono state individuate le seguenti categorie di pericolosità e vulnerabilità idrogeologica, che costituiscono la legenda della carta di sintesi.

10.1. Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti.

10.1.a. Aree interessate da deformazioni gravitative di versante relativamente profonde.

Con questa voce sono stati indicati i fenomeni franosi riferiti a movimenti relativamente profondi ed estesi che coinvolgono uno spessore di materiale piuttosto consistente, in genere dell'ordine di 50-70 m, ma anche fino a 150-200 m. Principalmente si tratta di forme di colata (o flusso o creep) in roccia e sono legate ad un comportamento degli ammassi rocciosi di tipo viscoso con deformazioni che comportano un movimento distribuito su più superfici di scorrimento in genere coincidenti con linee di debolezza. Un fenomeno di questo tipo è stato rilevato nella parte inferiore del tratto di versante compreso tra la valle di Campadelli e la valle del Re dove è evidente dall'assetto morfologico complessivo e dalle condizioni di forte sconnessione degli ammassi rocciosi. La

relativa freschezza delle forme fa ritenere che il fenomeno abbia subito riattivazioni recente e che sia da ritenere quiescente.

10.1.b. Aree interessate da fenomeni franosi quiescenti.

Aree interessate dalla presenza di fenomeni franosi, in genere forme di scorrimento traslazionale, in depositi superficiali che possono riattivarsi principalmente in seguito a periodi di piogge prolungate. Sono presenti localmente su tratti di versante molto acclive o in corrispondenza di scarpate di erosione.

10.1.c. Aree soggette a caduta di blocchi e aree a pericolosità potenziale a causa della presenza di pareti in roccia fratturata.

In questa categoria sono state distinte diverse classi di sintesi corrispondenti ai differenti gradi di pericolosità definiti nelle indicazioni contenute nella d.g.r. 28 maggio 2008 n. 8/7374. L'individuazione delle aree a diversa pericolosità è stata fatta sulla base di un criterio morfologico relativo alle condizioni delle pareti rocciose ed alle falde di detrito sottostanti.

10.1.c.1. Aree di distacco e transito. Pareti rocciose soggette stagionalmente o potenzialmente interessate da fenomeni di distacco e caduta di blocchi in seguito alla degradazione degli ammassi rocciosi che le costituiscono. Sono relativamente diffuse sui versanti delle valli principali e soprattutto nei settori posti alle quote maggiori, dove gli ammassi rocciosi risentono con intensità maggiore della degradazione favorita dalle condizioni climatiche. Rispetto alle classi di pericolosità relative alla metodologia di valutazione della pericolosità per fenomeni di crollo contenuta nella d.g.r. 28 maggio 2008 n. 8/7374 queste aree corrispondono principalmente alla classe H5 o al limite alla classe H4.

10.1.c.2. Aree di accumulo a pericolosità da elevata a media / aree di accumulo a pericolosità da bassa a molto bassa. Aree caratterizzate da un grado di pericolosità diverso, da elevato a molto basso, in funzione della posizione relativa rispetto alla zona sorgente. La valutazione della pericolosità è stata fatta sulla base di un criterio morfologico che ha preso in considerazione le caratteristiche geometriche e strutturali e lo stato di attività delle zone di distacco e le condizioni di acclività, il grado di colonizzazione da parte della vegetazione e la presenza di accumuli recenti delle zone di transito e di accumulo dei blocchi. Le aree a pericolosità da media ad elevata (corrispondenti alle classi di pericolosità H4 ed H3) comprendono in genere le zone poste subito a valle delle pareti rocciose, che hanno una probabilità relativamente alta di essere raggiunte dai blocchi in caduta, interessate direttamente dal primo impatto sia dai rimbalzi successivi, quando le energie sono maggiori. Nelle zone a maggiore attività queste aree si estendono spesso fino a comprendere l'intera estensione delle falde di detrito, ma in genere corrispondono ai settori medio-superiori delle falde

Le aree a pericolosità da bassa a molto bassa (corrispondenti alla classe di pericolosità H2 ed H1) rappresentano le zone di potenziale espansione dei blocchi in seguito a fenomeni di rotolamento dopo i rimbalzi conseguenti ai primi impatti e sono quindi legate a episodi di distacco che hanno una bassa probabilità di accadimento anche se contraddistinti da volumetrie complessive relativamente superiori alla media, ma con energie via via più contenute oppure rappresentano zone potenzialmente soggette a fenomeni di entità minima. Queste aree corrispondono principalmente ai settori distali delle falde di detrito e la loro ampiezza massima è in genere coincidente con l'estensione delle falde.

10.1.d. Aree potenzialmente interessate da distacco e rotolamento di massi provenienti da depositi superficiali: aree sorgente e di accumulo.

Aree generalmente acclivi, a volte coincidenti con vecchie scarpate di degradazione, erosione o di frana, caratterizzate dalla presenza di depositi superficiali, principalmente di origine glaciale, nei quali sono imballati massi, anche di grosse dimensioni, che possono essere mobilizzati in seguito a fenomeni di degradazione quali forme di erosione da ruscellamento, di reptazione più o meno intensa o piccole frane superficiali. Il tratto di pendio posto a monte dell'abitato di Niardo e compreso tra le incisioni del Re e del Cobello, è costellato di massi ben visibili, alcuni immersi parzialmente nel terreno, altri semplicemente appoggiati; alcuni 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. Oltre alle zone sorgente dei massi queste aree comprendono anche le zone potenzialmente raggiungibili dai massi, individuate sulla base di un criterio strettamente morfologico in riferimento all'estensione delle falde detritico-colluviali poste alla base dei settori di versante interessati dal fenomeno.

10.1.e. Aree a pendenza da media ad elevata interessate da fenomeni di degradazione diffusi.

Aree poste su pendii ad acclività piuttosto elevata principalmente con presenza di una coltre di depositi superficiali generalmente di origine detritica di versante od eluvio/colluviale, a volte glaciale, spesso con una frazione fine apprezzabile, oppure con presenza di affioramenti rocciosi, localmente di piccole pareti, spesso costituiti da ammassi rocciosi da mediamente a molto fratturati. Data la forte acclività media queste aree e le caratteristiche geotecniche da mediocri a scadenti queste aree sono diffusamente interessate da fenomeni di degradazione attivi o quiescenti quali forme di reptazione o soliflusso intenso, fenomeni di erosione da ruscellamento diffuso o incanalato, fenomeni franosi superficiali per scivolamento o colata oppure fenomeni di crollo, ribaltamento o scorrimento in corrispondenza degli affioramenti rocciosi. Si tratta in genere di fenomeni di piccola entità, ma relativamente intensi che potrebbero evolvere in forme di maggiore consistenza. Sono comprese anche le aree adiacenti a quelle direttamente interessate, ma che possono risentire in modo indiretto dell'evoluzione di questi fenomeni ed essere coinvolte dall'ampliamento in senso regressivo o laterale dei fenomeni oppure dalla loro espansione verso valle.

10.1.f. Aree a pendenza da media ad elevata soggette a fenomeni di reptazione.

Aree poste su pendii ad acclività relativamente alta, principalmente con presenza di una coltre di depositi superficiali, che sono interessate o che sono state interessate in passato da fenomeni di degradazione localizzati e di piccola entità quali forme di reptazione o soliflusso o localmente da forme di erosione da ruscellamento diffuso o incanalato, distacco di frammenti dagli affioramenti rocciosi.

Queste aree sono più facilmente soggette di altre alla comparsa di nuovi fenomeni di degradazione superficiale oppure possono risentire dell'accentuarsi dei fenomeni presenti con la comparsa di piccoli fenomeni franosi superficiali per scivolamento o colata oppure fenomeni di distacco e caduta di blocchi dagli affioramenti rocciosi.

Sono comprese anche le aree adiacenti a quelle direttamente interessate dai fenomeni, soprattutto quelle poste a valle di esse, che potrebbero risentire in modo indiretto dell'evoluzione dei fenomeni.

10.1.g. Aree di percorsi potenziali di colate in detrito o in terra.

Aree a pericolosità potenziale per l'espansione di fenomeni di colata di detrito o di terra che possono interessare i settori di pendio posti a monte. I fenomeni possono svilupparsi a partire da solchi di erosione o vecchie nicchie di frana di colata impostate principalmente in depositi eluvio-colluviali. Le aree sono state definite sulla base di un criterio morfologico in riferimento all'estensione dei lobi di colata e dei coni colluviali presenti.

10.1.h. Aree a pericolosità potenziale perché a valle di aree interessate da fenomeni di degradazione diffusi.

Aree a pericolosità potenziale perché potrebbero essere interessate direttamente dall'espansione di fenomeni franosi per colata o scorrimento superficiale o di fenomeni di degradazione e di erosione presenti sui settori di pendio posti a monte. Le aree sono state definite sulla base di un criterio morfologico in riferimento all'estensione delle falde detritico-colluviali poste alla base dei settori di versante interessati dai fenomeni di degradazione.

10.1.i. Aree a pericolosità potenziale perché a valle di aree interessate da fenomeni di reptazione.

Aree a pericolosità potenziale legata all'eventuale innesco di fenomeni di degradazione, forme di erosione e piccole frane superficiali, in corrispondenza dei settori di pendio posti a monte, come possibile evoluzione dei fenomeni di reptazione superficiale presenti. Le aree sono state definite sulla base di un criterio morfologico in riferimento all'estensione delle falde detritico-colluviali poste alla base dei versanti.

10.1.l. Aree a pendenza da media ad elevata.

Aree poste su pendii aventi inclinazione media superiore a circa 30° e spesso caratterizzate dalla presenza di una coltre di depositi superficiali, principalmente di origine eluvio/colluviale, a volte glaciale o detritica di versante, spesso con frazione fine apprezzabile e poco addensati e subordinatamente con presenza di affioramenti rocciosi, localmente di piccole pareti. Queste aree sono potenzialmente soggette a fenomeni di degradazione superficiale e localmente sono già soggette a fenomeni di reptazione superficiale o forme da erosione da ruscellamento diffuso per quanto riguarda i depositi superficiali, od a fenomeni di degradazione, con possibilità di piccoli distacchi e caduta di blocchi, in corrispondenza degli affioramenti rocciosi. E' quindi necessario che in queste aree si operi con particolare attenzione rispetto alle situazioni presenti o potenziali soprattutto nel caso di interventi che possono influenzare o essere influenzati dalle condizioni di stabilità locali dei siti.

10.1.m. Aree a pendenza da bassa a media.

Aree poste su pendii aventi inclinazione media dell'ordine di 10° - 30° e caratterizzate in genere dalla presenza di una coltre di depositi superficiali, principalmente di origine eluviale o colluviale, con frazione fine apprezzabile e poco addensati. Queste aree sono più facilmente soggette di altre a fenomeni di degradazione superficiale e richiedono pertanto una maggiore attenzione nel caso di interventi che possono influenzare le condizioni di stabilità locali dei siti.

10.1.n. Aree soggette a fenomeni di valanga.

Queste aree comprendono i settori di versante che sono stagionalmente interessati da fenomeni di valanga. Le aree comprendono le zone di distacco delle masse nevose, le zone percorse dalle masse nevose in movimento e le zone di arresto. L'entità dei fenomeni e conseguentemente l'estensione delle aree e la relativa pericolosità

dipendono dalle condizioni meteo-climatiche annuali ed è stata fatta una perimetrazione relativamente ampia ed indicativa basata sui dati cartografici disponibili, su osservazioni dirette e su considerazioni relative all'assetto morfologico dei siti.

10.1.o. Aree potenzialmente soggette a fenomeni di valanga.

Queste aree comprendono i settori di versante potenzialmente interessati, in funzione delle condizioni meteo-climatiche annuali, da fenomeni di scivolamento di masse nevose. Le aree comprendono le zone di distacco della neve, le zone percorse dalle masse in nevose e le zone di arresto, con una perimetrazione relativamente ampia ed indicativa dei fenomeni in riferimento alla situazione morfologica dei siti.

10.2. Aree vulnerabili dal punto di vista geotecnico ed idrogeologico

10.2.a. Aree con fenomeni di ristagno d'acqua, torbose o paludose.

Aree caratterizzate dalla presenza, stagionale o perenne, di ristagno d'acqua sulla superficie topografica, spesso associate alla presenza di terreni torbosi. Queste aree sono relativamente diffuse nelle zone montane del territorio, soprattutto in corrispondenza di tratti di fondovalle o di vecchie conche di escavazione glaciale ora interrite che creano condizioni favorevoli all'affioramento locale delle acque di falda oppure condizioni sfavorevoli all'infiltrazione delle acque superficiali; in queste zone le aree sono in genere associate alla presenza di terreni torbosi perché la conservazione della sostanza organica è favorita sia dalla presenza di acqua sia dalle condizioni di temperatura. Nel settore di fondovalle è presente una zona di ristagno d'acqua a ridosso del fiume Oglio, in una zona dove la falda è in prossimità del piano campagna e dove in superficie si trovano dei depositi alluvionali a granulometria relativamente fine. Oltre alle problematiche connesse alla presenza di acqua in superficie queste aree sono pertanto caratterizzate da terreni a granulometria fine e con caratteristiche geotecniche mediocri o scadenti.

10.2.b. Aree a bassa soggiacenza della falda.

Aree caratterizzate da una falda idrica posta ad una profondità relativamente prossima al piano campagna, indicativamente non superiore a circa 3 m, che può comportare delle interferenze negative con eventuali interventi da realizzare e che in presenza di terreni fini contribuisce allo scadimento delle caratteristiche geotecniche. Rientra in queste aree la zona della piana di fondovalle del fiume Oglio.

10.2.c. Aree con terreni sabbioso-limosi a caratteristiche geotecniche scadenti.

Aree caratterizzate dalla presenza di terreni a granulometria relativamente fine, principalmente limosa, limoso-sabbiosa o limoso-argillosa, non addensati e con comportamento geotecnico scadente, con una permeabilità da bassa a molto, bassa resistenza al taglio e alta compressibilità. Queste aree sono presenti nella zona della piana di fondovalle del fiume Oglio, relativamente all'orizzonte superficiale rappresentato da livelli fini di esondazione, e nella parte distale dei conoidi, nella fascia di transizione alla piana di fondovalle, dove si sono avute condizioni di sedimentazione da esondazione e da ristagno d'acqua.

10.2.d. Aree con riporti di materiale.

Aree caratterizzate dalla presenza di materiale di riporto che può comportare l'insorgere di problematiche di carattere geotecnico relativamente alla natura del materiale stesso e ad eventuali disomogeneità di composizione e di addensamento del deposito. Queste aree corrispondono principalmente a zone di discariche di inerti ed in particolare al materiale accumulato in prossimità della confluenza in Oglio del torrente Re di Niardo in seguito ai lavori di svasso e di sistemazione dopo gli eventi alluvionali del 1987.

10.2.e. Aree interessate da fenomeni carsici profondi.

Queste aree corrispondono direttamente ad alcuni fenomeni carsici di superficie, piccoli inghiottitoi e doline, presenti alla sommità di un tratto della linea di cresta Alta Guardia – Passo Sabbione, in corrispondenza di rocce carbonatiche, che sono connessi alla presenza di fenomeni carsici profondi quali condotti e grotte. Si tratta di forme tuttora interessate da circolazione d'acqua e dal procedere dei fenomeni di dissoluzione e così di conseguenza anche le forme sepolte. Queste aree potrebbero essere quindi soggette ad un ampliamento delle forme esistenti eventualmente accompagnato da fenomeni di sprofondamento sia pure localizzati.

10.2.f. Aree con probabile presenza di fenomeni carsici profondi.

Queste aree corrispondono ad alcune depressioni di forma più o meno arrotondata presenti in corrispondenza dei terrazzi morfologici posti alla base del versante destro della Val Camonica tra Niardo e Braone, su rocce carbonatiche della formazione del Calcarea di Angolo. Le depressioni potrebbero essere dovute esclusivamente ad erosione glaciale, ma non si può escludere a priori, vista anche la situazione litologica, che siano legate anche a fenomeni di dissoluzione carsica e siano quindi associate alla presenza di condotti o cavità carsiche sepolte. La presenza di cavità sepolte, qualora fossero interessate attivamente da fenomeni di dissoluzione, potrebbe comportare il pericolo di sprofondamenti del terreno.

10.2.g. Aree di salvaguardia delle captazioni d'acqua ad uso potabile.

Aree soggette a particolari limitazioni d'uso del territorio perchè ubicate in settori a probabile connessione idrogeologica con corpi idrici sotterranei sfruttati a scopo potabile. In questa categoria rientrano le "Zone di Rispetto" delle opere di presa delle sorgenti che servono l'acquedotto comunale, tutte individuate con il criterio geometrico. Le aree sono quindi definite da un arco di cerchio avente raggio di 200 m centro sull'opera di presa e limitato a valle dall'isoipsa passante per l'opera.

10.3. Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico

10.3.a. Alveo di corso d'acqua. – Alveo interessato da fenomeni di erosione di fondo e laterale. - Alveo interessato da intensi fenomeni di erosione. – Solchi di erosione per ruscellamento concentrato.

Aree corrispondenti alla sede dei corsi d'acqua superficiali, alveo e relative sponde, dove avviene il deflusso delle acque in condizioni ordinarie. In ragione della situazione morfologica dei siti buona parte del tratto montano degli alvei dei corsi d'acqua presenta una tendenza all'erosione di fondo. I fenomeni erosivi sono maggiormente evidenti lungo i tratti di alveo impostati entro depositi superficiali e nei tratti più ripidi si hanno fenomeni di erosione piuttosto intensi. Nei tratti montani dei corsi d'acqua, soprattutto lungo le aste minori, queste aree

comprendono anche delle fasce più o meno estese poste esternamente alle sponde, che possono essere interessate da fenomeni erosivi o di esondazione.

I solchi d'erosione per ruscellamento concentrato spesso non corrispondono a linee di impluvio ben definite, ma sono legati ad acque di scorrimento superficiale che si concentrano localmente in occasioni particolari e molte volte per cause antropiche.

10.3.b. Aree interessabili da fenomeni di erosione fluviale/torrentizia.

Aree prossime all'alveo di corsi d'acqua in tratti dove le sponde sono soggette a fenomeni di erosione laterale relativamente intensa con opere di difesa danneggiate o prive di opere di difesa. Queste aree sono state rappresentate solamente lungo l'alveo dei torrenti maggiori nei tratti di fondovalle, compresi nella carta alla scala 1:2.000, mentre per gli altri corsi d'acqua si trovano nel settore di territorio rappresentato solo nella carta alla scala:1:10.000 e per ragioni di leggibilità sono state comprese nella fascia relativa all'alveo.

10.3.c. Aree potenzialmente alluvionabili individuate con criteri morfologici.

Aree potenzialmente alluvionabili individuate sulla base di un criterio strettamente morfologico in ragione della situazione relativa tra alveo e zone esterne ad esso. Queste aree sono presenti localmente lungo i principali corsi d'acqua sia nella zona di fondovalle sia nella zona montana. Non sono comprese le zone potenzialmente alluvionabili da parte del fiume Oglio, che sono state definite a parte. Nel fondovalle si tratta in genere di zone golenali, fasce più o meno ampie poste a ridosso dei corsi d'acqua, spesso comprese entro scarpate di erosione inattive e poste a quote prossime al fondo dell'alveo e nettamente inferiori rispetto alle zone esterne. Nelle zone montane corrispondono a buona parte delle piane di fondovalle che occupano le antiche conche di escavazione glaciale ora interrite e non ancora intaccate dalla tendenza all'erosione.

10.3.d. Aree poste in prossimità di sponde di corsi d'acqua.

Aree prossime alle sponde dei corsi d'acqua e quindi non direttamente interessate da fenomeni di erosione, ma che per la loro relativa vicinanza all'alveo potrebbero essere più facilmente coinvolte rispetto ad altre da eventuali fenomeni di erosione o di esondazione. Queste aree sono state evidenziate solo per i tratti di corsi d'acqua principali nella zona di fondovalle, dove assumono un'ampiezza significativa, mentre sono state comprese nella fascia dell'alveo per i corsi d'acqua minori posti nella zona montana del territorio comunale.

10.3.e. Aree ricadenti nelle fasce fluviali relative al Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.).

Aree potenzialmente alluvionabili da parte del fiume Oglio individuate nella cartografia del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) redatto dall'Autorità di bacino del fiume Po. Le aree sono state definite per una piena di riferimento stimata come massima piena per un tempo di ritorno di 200 anni e per una piena catastrofica stimata per un tempo di ritorno di 500 anni.

11.3.e.1. Aree ricadenti nella Fascia Fluviale A. Rappresenta la fascia di deflusso della piena di riferimento, in grado di consentire il deflusso di una portata dell'ordine dello 80% della massima piena stimata per un tempo di ritorno di 200 anni. Per il tratto di fiume Oglio compreso nel territorio comunale di Niardo comprende, oltre all'alveo del fiume, anche una parte della piana di fondovalle posta a ridosso di entrambe le sponde del fiume.

10.3.e.2. Aree ricadenti nella Fascia Fluviale B. Rappresenta la fascia di esondazione e comprende le aree che possono essere interessate dalla fuoriuscita dell'acqua in occasione della piena di riferimento, stimata per un tempo di ritorno di 200 anni. Comprende una fascia della piana di fondovalle posta in prossimità dell'alveo del fiume nel tratto posto subito a monte ed a valle della confluenza del torrente Re. In particolare il tratto di fascia posto a valle della confluenza del torrente Re è limitato esternamente da un limite di progetto tra la fascia B e la fascia C ovvero da un limite dove, secondo il Piano di Assetto Idrogeologico, dovrebbero essere teoricamente realizzate delle opere di protezione o comunque dove dovrebbe essere contenuta la piena di riferimento per difendere le zone urbanizzate potenzialmente alluvionabili.

10.3.e.3. Aree ricadenti Fascia Fluviale C. Rappresenta la fascia di esondazione per piena catastrofica, definita indicativamente in riferimento al massimo evento di piena stimato per un tempo di ritorno di 500 anni. Questa fascia comprende i settori esterni della piana di fondovalle del fiume Oglio compresa nel territorio comunale e si estende anche al settore distale dei conoidi alluvionali dei torrente Cobello, Re di Niardo e Fa, avendo sostanzialmente come limite il tracciato della ferrovia Brescia-Edolo.

10.3.e.4. Aree della piana di fondovalle potenzialmente alluvionabili e situate in posizione esterna al limite di progetto tra la fascia B e la fascia C. Queste aree corrispondono ad un settore della piana di fondovalle del fiume Oglio situato in sinistra idrografica subito a valle della confluenza del torrente Re, in posizione esterna al limite di progetto tra la fascia B e la fascia C. Questo settore della piana si trova a quote analoghe a quelle del resto della piana adiacente, con la quale si trova in continuità morfologica diretta, ed è limitato esternamente dalle scarpate di erosione inattive che definiscono il settore distale del conoide del torrente Re e le scarpate artificiali che limitano alcuni riporti di materiale realizzati in passato. Secondo il Piano di Assetto Idrogeologico, il limite di progetto individua la posizione dove dovrebbero essere teoricamente realizzate delle opere di protezione o comunque dove dovrebbe essere contenuta la piena di riferimento per difendere le zone potenzialmente alluvionabili. In mancanza delle opere questo settore della piana è sostanzialmente soggetto ai medesimi eventi alluvionali che possono interessare i settori adiacenti della piana, compresi nella fascia fluviale B.

10.3.f. Aree potenzialmente interessabili da esondazione e trasporto in massa su conoide.

La pericolosità geomorfologica delle aree dei conoidi alluvionali presenti nel territorio comunale di Niardo è legata alla possibilità che si verifichino fenomeni di esondazione e fenomeni di deposizione di colate detritico-fangose da parte dei torrenti. La perimetrazione della pericolosità è stata fatta in riferimento alle caratteristiche geomorfologiche dei conoidi e alle opere di sistemazione presenti, individuando i percorsi preferenziali di deflusso delle acque di esondazione o delle colate ed è descritta nei paragrafi relativi.

Nella carta di sintesi sono state distinte le aree corrispondenti ai 5 gradi di pericolosità definiti secondo la classificazione individuata nelle procedure relative alla zonazione della pericolosità generata da colate di detrito e da trasporto in massa lungo i conoidi alpini.

10.3.f.1. Pericolosità molto alta (H5). Comprende le aree corrispondenti all'alveo attuale con le sue pertinenze ed eventuali paleoalvei riattivabili in caso di piena ed eccezionalmente aree corrispondenti a porzioni di conoide. In genere per i conoidi presenti nel territorio comunale corrispondono sostanzialmente all'alveo dei corsi d'acqua. Per i conoidi presenti alla base dei fianchi della Val di Stabio e nell'alta valle del torrente Re, formati da linee di

impluvio minori e rappresentati solo nella carta alla scala 1:10.000, le aree a pericolosità elevata sono state accorpate alle aree a pericolosità alta per motivi di leggibilità.

10.3.f.2. Pericolosità alta (H4). Comprende le aree con alta probabilità di essere interessate da fenomeni di erosioni di sponda e di trasporto in massa e/o di trasporto solido con deposizione di ingenti quantità di materiale solido e con danneggiamento di opere e manufatti. Per i conoidi dei corsi d'acqua principali corrisponde solo con alcuni settori intermedi del conoide del torrente Fa mentre comprende quasi interamente i conoidi presenti lungo il fondo della Val di Stabio e nell'alta valle del torrente Re dove, essendo rappresentati solo sulla carta alla scala 1:10.000, per motivi di leggibilità alla classe H4 sono state accorpate anche le aree relative agli alvei dei corsi d'acqua.

10.3.f.3. Pericolosità media (H3). Aree interessate in passato da eventi alluvionali e da erosioni di sponda documentati su basi storiche; aree con moderata probabilità di essere esposte a fenomeni alluvionali (esondazione) ed ad erosioni di sponda. In particolare si possono avere deflussi con altezze idriche ridotte (massimo 20-30 cm) e trasporto di materiale sabbioso-ghiaiosi.

Per il torrente Fa comprendono dei settori situati nel tratto superiore e, soprattutto, nel tratto intermedio del conoide; per i torrenti Re e Cobello comprendono una parte del tratto intermedio.

10.3.f.4. Pericolosità bassa (H2). Aree mai interessate nel passato da fenomeni alluvionali documentati su base storica o aree protette da opere di difesa idraulica ritenute idonee anche in caso di eventi estremi con basse probabilità di essere interessate da fenomeni di dissesto.

Per il torrente Fa queste aree corrispondono ad una fascia relativamente ampia posta nel tratto intermedio del conoide e la zona distale. Per il torrente Re comprendono principalmente la zona distale del conoide e per il torrente Cobello comprendono alcuni settori del tratto intermedio e la zona distale del conoide.

10.3.f.4. Pericolosità molto bassa (H1). Aree che per le caratteristiche morfologiche hanno basse o nulle probabilità di essere interessate dai fenomeni di dissesto.

Per i corsi d'acqua principali, Fa, Re e Cobello, queste aree comprendono principalmente ampi settori dei tratti intermedi dei rispettivi conoidi.

11. ANALISI DEL RISCHIO SISMICO

11.1. Normativa di riferimento

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" (G.U. n° 105 del 8/05/2003, suppl. ord. n. 72), sono state individuate in prima applicazione le zone sismiche sul territorio nazionale e fornite le normative tecniche da adottare per le costruzioni nelle zone sismiche stesse. Tale ordinanza è entrata in vigore, per gli aspetti inerenti la classificazione sismica, contestualmente al DM 14 settembre 2005 "*Norme Tecniche per le costruzioni*".

La Regione Lombardia, con la d.g.r. n° 14964 del 7 Novembre 2003, ha preso atto della classificazione fornita in prima applicazione dall'Ordinanza 3274/03.

Secondo tale classificazione il territorio del Comune di Niardo ricade in zona sismica 4.

Il DM 14/01/2008 "*Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni*", entrato in vigore il 5 marzo 2008 in sostituzione del precedente DM 14/09/2005, ha assunto, come riferimento per la nuova definizione della sismicità del territorio nazionale, la mappa dei valori di a_g calcolati su una griglia con passo di 0,02°, di cui all'allegato 1b all'Ordinanza PCM n° 3519 del 28 aprile 2006; questa sostituisce la precedente suddivisione in 4 zone a differente sismicità, che rimane come riferimento dal punto di vista amministrativo.

Secondo la nuova classificazione, i parametri sismici di una data area vanno definiti in base alle coordinate, interpolando i dati contenuti nelle tabelle dell'allegato B al DM 14/01/2008.

La Regione Lombardia si è adeguata al DM 14/01/2008 e alla nuova classificazione sismica con la d.g.r. n. 8/7374 del 28/05/2008 secondo le indicazioni della quale è stato redatto il presente studio.

Il DM 14/01/2008 prevedeva un periodo di monitoraggio di 18 mesi che è terminato il 30 giugno 2009 e quindi, a partire dal 1° luglio 2009, la progettazione antisismica è regolata dal DM 14/01/2008 per tutte le zone sismiche e per tutte le tipologie di edifici.

11.2. Risposta sismica locale

Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base, producendo effetti diversi che vanno a sovrapporsi e sommarsi a quelli del sisma; tali effetti devono essere considerati nella valutazione generale della pericolosità sismica di una data area e costituiscono l'oggetto della "componente sismica" del Piano di Governo del Territorio secondo la d.g.r. n. 8/7374 del 28/05/2008.

Gli effetti, in funzione delle caratteristiche del terreno presente, sono distinti in due gruppi: effetti di sito (o di amplificazione sismica locale) ed effetti di instabilità.

Gli effetti di sito o di amplificazione sismica locale interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche e sono rappresentati dall'insieme delle modifiche che un moto sismico (terremoto di riferimento) relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire presso la superficie topografica o durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock. Tali effetti si distinguono a loro volta in due sottogruppi che possono essere contemporaneamente presenti nello stesso sito.

- Gli effetti di amplificazione topografica, che si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali più o meno articolate, che favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche presso la cresta dei rilievi e i ripiani sovrastanti le scarpate, con conseguente amplificazione delle onde stesse a causa di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto.
- Gli effetti di amplificazione litologica, che si verificano quando sono presenti profili stratigrafici con determinate proprietà meccaniche sovrastanti il bedrock e che portano all'esaltazione locale delle azioni sismiche causate da fenomeni di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno e fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrazione del terreno e della sovrastruttura.

Gli effetti di instabilità interessano invece tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese e che può rivelarsi incompatibile con la stabilità delle strutture presenti. I principali effetti di instabilità sono i seguenti.

- Fenomeni di riattivazione o neoformazione di movimenti franosi (crolli, scivolamenti rotazionali e/o traslazionali, colamenti) per i quali il sisma rappresenta un fattore d'innescio del movimento a causa dell'accelerazione esercitata o a causa dell'aumento delle pressioni interstiziali.
- Movimenti relativi verticali e orizzontali tra diversi settori areali posti in corrispondenza di faglie sismogenetiche, che portano a scorrimenti e cedimenti differenziali (tali fenomeni sono possibili solo per terremoti di magnitudo molto elevata e in presenza di particolari strutture geologiche affioranti o sepolte).
- Fenomeni di rottura connessi a deformazione permanente del suolo nel caso di terreni caratterizzati da proprietà fisico-meccaniche particolarmente scadenti; per terreni granulari sopra falda sono possibili cedimenti a causa di fenomeni di addensamento del materiale, mentre per terreni granulari fini (sabbiosi) saturi sono possibili fluidimenti e colamenti a causa di fenomeni di liquefazione.
- Nel caso di siti interessati da carsismo sotterraneo o da particolari strutture vucolari presenti nel sottosuolo si possono verificare fenomeni di subsidenza più o meno accentuati, legati al crollo parziale o totale delle cavità sotterranee.

11.2.a. Metodologia per l'analisi della risposta sismica

Nel presente paragrafo è riassunta la metodologia definita dalla d.g.r. 28 maggio 2008 n. 8/7374 per l'analisi della risposta sismica in un dato territorio comunale, in adempimento a quanto previsto dal DM 14/01/2008, dalla dgr n. 14964 del 7/11/2003 e dal dduo n. 19904 del 21/11/2003.

Tale metodologia prevede tre livelli di approfondimento, in funzione della zona sismica di appartenenza, degli scenari di pericolosità sismica locale, dell'importanza degli edifici interessati e della fase di lavoro (pianificatoria o progettuale).

Analisi di primo livello. E' un approccio di tipo qualitativo che consiste nel riconoscimento delle situazioni passibili di amplificazione sismica o di effetti di instabilità sulla base di dati esistenti, cartografie di inquadramento, osservazioni geologico-geomorfologiche, topografiche e morfometriche del territorio. Tale livello, obbligatorio per tutti i comuni, prevede la redazione della "Carta della pericolosità sismica locale" (PSL) su tutto il territorio comunale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale e lineare delle diverse situazioni tipo definite nella legenda di cui all'allegato 5 alla d.g.r. n. 8/7374, in grado di determinare gli effetti sismici locali e denominate "scenari di pericolosità sismica locale" (zone PSL da Z1 a Z5).

Analisi di secondo livello. E' un approccio di tipo semi-quantitativo che si applica nelle sole aree passibili di amplificazione perimetrata nella carta della pericolosità sismica locale (zone PSL Z3 e Z4); permette di determinare un valore numerico (fattore di amplificazione sismica locale - Fa) che fornisce una stima dell'effettiva risposta sismica delle situazioni individuate con il primo livello. Per applicare tale procedura (per i dettagli sulla quale si rimanda all'allegato 5 alla dgr n. 8/7374) sono necessari, relativamente alle situazioni individuate, dati più approfonditi di tipo morfometrico, litologico-stratigrafico e geofisico, questi ultimi in particolare relativi alla velocità di propagazione nel terreno delle onde sismiche di taglio).

L'analisi di secondo livello è obbligatoria, per i comuni ricadenti in zona sismica 2 e 3, nelle zone interferenti con l'urbanizzato e nelle aree di espansione urbanistica; nei comuni ricadenti in zona sismica 4 tale livello deve essere applicato nelle situazioni in cui si prevede la realizzazione o l'ampliamento di costruzioni strategiche e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03). Il valore di Fa relativo agli effetti litologici determinato con l'applicazione del secondo livello deve essere confrontato con "valori soglia" definiti dalla Regione Lombardia in riferimento al DM 14/01/08 per ogni comune, al fine di determinare se la normativa nazionale risulti sufficiente a tenere in considerazione anche gli effetti di amplificazione sismica locale ($Fa < \text{soglia}$) o insufficiente ($Fa > \text{soglia}$). Il valore di Fa relativo agli effetti morfologici deve essere invece confrontato con il parametro St del DM 14/01/2008. Nella carta della fattibilità delle azioni di piano devono essere riportate con appositi retini trasparenti le aree a pericolosità sismica locale, distinguendo quelle con Fa maggiore del valore soglia comunale da quelle con Fa minore.

Analisi di terzo livello. E' un approccio di tipo quantitativo e consiste nella determinazione degli effetti di amplificazione con indagini e analisi ancor più approfondite (per la descrizione delle quali si rimanda all'allegato 5 alla d.g.r. n. 8/7374). Le analisi di terzo livello si applicano in fase progettuale nelle aree passibili di effetti di instabilità individuate con il primo livello (zone PSL Z1 e Z2) e nelle aree analizzate con il secondo livello per le quali si è ottenuto un valore di Fa superiore alla soglia; in quest'ultimo caso, in fase progettuale, in alternativa all'applicazione del terzo livello, per gli effetti litologici è possibile utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore secondo il seguente schema:

- anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C. Nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

Nei comuni ricadenti in zona sismica 4, come il comune di Niardo, tale livello deve essere applicato nei confronti di costruzioni strategiche e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03).

Non è necessaria la valutazione di terzo livello relativamente allo scenario Z5 (zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse), in quanto questo esclude la possibilità di costruzione a cavallo dei due litotipi; in fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo da ottenere un terreno di fondazione omogeneo, o adottando accorgimenti progettuali atti a garantire la sicurezza dell'edificio.

11.3. Analisi di primo livello - Carta della pericolosità sismica locale

Il territorio del Comune di Niardo ricade in zona sismica 4 ed è quindi richiesta obbligatoriamente l'applicazione dell'analisi di primo livello per tutto il territorio comunale e del secondo livello per le zone passibili di amplificazione sismica in cui è prevista la realizzazione o l'ampliamento di costruzioni strategiche e rilevanti (elenco tipologico di cui al dduo n° 19904/03).

E' stata quindi applicata l'analisi di primo livello all'intero territorio comunale con la redazione della carta di pericolosità sismica locale, mentre non è stata applicata l'analisi di secondo livello in quanto l'Amministrazione Comunale non ha al momento in previsione interventi di tipo strategico o rilevante.

Per quanto riguarda l'analisi di primo livello, conformemente a quanto richiesto dalla normativa, sono state individuate le aree passibili di amplificazione sismica o di effetti di instabilità, con la redazione della Carta di pericolosità sismica locale alla scala 1:10.000 (Tavola 6), realizzata a partire dai dati contenuti nella cartografia di inquadramento, di dettaglio e di sintesi realizzate nell'ambito del presente studio e in base all'analisi delle carte topografiche disponibili.

La legenda della carta PSL è stata derivata da quella di riferimento definita nell'ambito dell'allegato 5 alla dgr n. 8/7374, riportata nella tabella seguente.

SIGLA	SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	<i>Instabilità (attivazione-riattivazione accelerazione movimenti)</i>
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	<i>Instabilità (cedimenti-liquefazioni)</i>
Z3a	Zona di ciglio H>10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	<i>Amplificazioni topografiche</i>
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite – arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi	<i>Amplificazioni litologiche</i>
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche)	
Z4d	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	<i>Instabilità (comportamenti differenziali)</i>

Nello scenario Z1 b sono state inserite le zone caratterizzate da movimenti franosi quiescenti, ricavate dall'analisi della carta di sintesi alla scala 1:10.000.

Lo scenario Z1 c è stato suddiviso in due categorie fra loro differenti, ma riconducibili a zone potenzialmente franose ed esposte a rischio frana: nella prima (Z1 c') sono state inserite le pareti rocciose interessate da fenomeni di crollo e crollo in massa e le aree potenzialmente raggiungibili dai blocchi in caduta, nella seconda (Z1c'') sono state inserite le aree interessate o probabilmente interessate dalla presenza di fenomeni carsici

profondi in quanto potenzialmente soggette a fenomeni di subsidenza. La zonazione di tali categorie è stata ricavata dalla cartografia di sintesi.

Per quanto riguarda lo scenario Z3a sono state indicate le linee corrispondenti al ciglio di scarpate aventi altezza superiore a 10 m (margine di terrazzi morfologici, cigli di scarpate di erosione torrentizia e di pareti rocciose), ricavate dallo studio del territorio e dalla cartografia di base del PGT, dall'analisi della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000 e della base topografica comunale alla scala 1:2.000.

Per quanto riguarda lo scenario Z3b sono state indicate le linee di cresta individuate in base all'analisi della Carta Tecnica Regionale e della base topografica comunale alla scala 1:2.000.

Nello scenario Z4 sono state inserite le aree caratterizzate dalla presenza di depositi superficiali con spessore indicativamente superiore a 3 m, che rappresenta lo spessore massimo di copertura superficiale che una formazione a comportamento rigido - categoria di suolo di fondazione di tipo A - può presentare secondo il dm 14/01/2008. La zonazione di tali aree è stata ricavata a partire dalla carta geologica individuando, in base alla conoscenza del territorio, le zone con spessore di deposito indicativamente superiore ai 3 metri. Nella categoria Z4a sono stati inseriti i depositi alluvionali della piana di fondovalle del fiume Oglio e dei tratti di piana alluvionale presenti lungo la Val di Stabio. Nella categoria Z4b sono stati inclusi i depositi di conoide alluvionale e le falde di detrito, presenti rispettivamente in modo ampio al raccordo tra il fondovalle e la base del versante della Val Camonica e diffusamente nelle zone di raccordo fra il fondovalle e la base dei versanti soprattutto nei tratti superiori delle maggiori valli laterali. Nella categoria Z4c sono state inserite le aree con presenza di depositi aventi origine glaciale, presenti diffusamente sia nella parte inferiore del versante della Val Camonica sia nella zona di testata delle maggiori valli laterali.

Nel resto del territorio comunale il substrato roccioso è affiorante, subaffiorante o posto a profondità limitate e quindi le zone con presenza di depositi in superficie aventi spessore superiore a 3 m sono poche ed isolate.

Per quanto riguarda lo scenario Z5, sono stati indicati come "linee di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse", tutti i limiti esterni delle zone Z4 a contatto con substrato roccioso affiorante, subaffiorante o con depositi superficiali aventi spessore indicativamente inferiore a 3 m.

Si sottolinea che la carta di pericolosità sismica realizzata ha valore di inquadramento ed è da considerarsi come riferimento e punto di partenza per l'applicazione di eventuali successivi livelli di approfondimento. Per i futuri interventi edilizi, nel caso in cui si debba (cioè per edifici strategici e rilevanti), o si voglia determinare il reale effetto di sito sarà necessario valutare nel dettaglio, in sede di relazione geologica associata al progetto dell'intervento, l'effettiva presenza o meno di situazioni passibili di amplificazione sismica o di effetti di instabilità (fenomeni di instabilità di versante o di carsismo sotterraneo, presenza di terreni particolarmente scadenti, presenza di cigli di scarpate o creste, presenza di depositi superficiali con spessore superiore a 3 m, presenza di contatti fra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse).

FASE DI VALUTAZIONE

12. CARTA DEI VINCOLI

Nella Carta dei Vincoli (Tavola 11) redatta alla scala 1:10.000 per tutto il territorio comunale, sono state rappresentate le principali limitazioni all'uso del territorio legate a motivazioni di carattere idraulico ed idrogeologico.

12.1. Zone di Rispetto delle opere di captazione per uso potabile.

Aree di salvaguardia delle risorse idriche (d.lgs. 3 aprile 2006 n. 152 e disposizioni regionali in materia: d.g.r. 27 giugno 1996 n. 6/15137 e d.g.r. 10 aprile 2003 n. 7/12693). Nel territorio comunale di Niardo si trovano alcune sorgenti captate per uso potabile dall'acquedotto comunale, situate subito a monte del conoide alluvionale del torrente Cobello e nel tratto inferiore della forra del torrente Fa. Le Zone di Rispetto rappresentate in carta sono state individuate secondo il criterio geometrico e definite pertanto da un segmento di cerchio avente centro sull'opera di presa, raggio di 200 m e limitato a valle dall'isoipsa della quota dell'opera di presa.

12.2. Delimitazione delle Fasce Fluviali relative al PAI.

Sono stati rappresentati in carta i limiti delle fasce di potenziale esondazione del fiume Oglio individuate dall'Autorità di Bacino del fiume Po nell'ambito del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI). Le aree di esondazione sono state definite in riferimento alla massima piena stimata per un tempo di ritorno di 200 anni ed alla piena a carattere catastrofico - indicativamente per un tempo di ritorno di 500 anni. Per la descrizione delle fasce si rimanda al paragrafo relativo contenuto nella descrizione della pericolosità morfologica legata al fiume Oglio (paragrafo 6.2.e), per i vincoli riguardanti le fasce si rimanda al paragrafo relativo nella descrizione della Carta della Fattibilità e della Carta dei rischi idraulici ed idrogeologici (paragrafi 14 e 13).

12.3. Vincoli derivanti dalla "Carta del dissesto con legenda uniformata a quella del PAI: delimitazione delle aree in dissesto".

Si tratta delle aree individuate in questa sede in riferimento alle indicazioni contenute nella d.g.r. 28 maggio 2008 n. 8/7374 in aggiornamento al quadro del dissesto relativo agli Allegati 4.1 e 4.2 all'Elaborato 2 del PAI. Per la descrizione delle aree e della relativa normativa di riferimento si rimanda rispettivamente al capitolo relativo alla Carta dei rischi idraulici ed idrogeologici (paragrafo 13) ed all'Elaborato B – Norme Geologiche di Piano.

12.4. Vincoli di polizia idraulica.

I vincoli di polizia idraulica riguardanti corsi d'acqua presenti nell'ambito del territorio comunale non sono stati rappresentati in quanto il comune di Niardo non dispone ancora di uno studio relativo alla loro individuazione. Una prima indicazione può essere ricavata dalla Carta Idrogeologica, dove sono stati rappresentati i corsi d'acqua in relazione al loro regime idraulico ai quali applicare i vincoli disposti dall'art. 96, lettera f) del regio decreto 25 luglio 1904, n. 523.

I geositi beni di carattere geologico o morfologico intesi come elementi di pregio scientifico ed ambientale del patrimonio paesaggistico e come tali da conservare e valorizzare. Nel territorio comunale di Niardo non sono presenti geositi ufficialmente riconosciuti tuttavia la fase di rilievo ha permesso di riconoscere nell'ambito del territorio comunale 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 non sono state rappresentate in carta, ma che si ritiene comunque opportuno ricordare all'attenzione di chi si occupa della pianificazione del territorio.

Le situazioni sono legate alla particolarità 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 alle testate 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 le testate 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.

13. CARTA DEI RISCHI IDRAULICI ED IDROGEOLOGICI

La Carta dei rischi idraulici e idrogeologici (Tavola 7) con legenda uniformata a quella della cartografia delle aree in dissesto del PAI (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico redatto dell'Autorità di Bacino del fiume Po) rappresenta il quadro del dissesto risultante su tutto il territorio comunale in relazione alle categorie individuate dall'Autorità di Bacino ed è finalizzata all'aggiornamento del quadro del dissesto del PAI. La Carta dei rischi idraulici ed idrogeologici è stata redatta alla scala 1:10.000 sulla base della C.T.R. ed è estesa a tutto il territorio comunale. La redazione è stata fatta in riferimento ai risultati complessivi dell'indagine geologica condotta in questa sede, che ha consentito di individuare le aree soggette ad instabilità dei versanti, ai fenomeni connessi all'attività dei corsi d'acqua ed ai fenomeni di valanga. Le categorie sono piuttosto generali e consentono una prima lettura semplificata, necessariamente non completa e poco dettagliata rispetto alla carta morfologica ed alla carta di sintesi, delle situazioni di pericolosità geomorfologica presenti nel territorio.

La tipologia dei fenomeni considerati e le categorie che costituiscono la legenda della carta sono le seguenti.

- Frane:
 - Fa, aree interessate da frane attive (pericolosità molto elevata);
 - Fq, aree interessate da frane quiescenti (pericolosità elevata);
 - Fs, aree interessate da frane stabilizzate (pericolosità media o moderata).
- Esondazioni e dissesti morfologici di carattere torrentizio lungo le aste dei corsi d'acqua:
 - Ee, aree coinvolgibili dai fenomeni con pericolosità molto elevata;
 - Eb, aree coinvolgibili dai fenomeni con pericolosità elevata;
 - Em, aree coinvolgibili dai fenomeni con pericolosità media o moderata.
- Trasporto di massa sui conoidi:
 - Ca, aree di conoidi attivi o potenzialmente attivi non protette da opere di difesa e di sistemazione a monte (pericolosità molto elevata);
 - Cp, aree di conoidi attivi o potenzialmente attivi parzialmente protette da opere di difesa e di sistemazione a monte (pericolosità elevata);
 - Cn, aree di conoidi non recentemente riattivatisi o completamente protette da opere di difesa (pericolosità media o moderata).
- Valanghe:
 - Ve, aree di pericolosità elevata o molto elevata;
 - Vm, aree di pericolosità media o moderata.

Per le zone comprese entro le zone delimitate come aree in dissesto in riferimento alla legenda nell'Atlante dei rischi idraulici ed idrogeologici del Piano Stralcio per Assetto Idrogeologico (PAI) valgono le relative disposizioni contenute nelle Norme di Attuazione del PAI per le quali si rimanda alle **Norme Geologiche di Piano**.

FASE PROPOSITIVA

FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO - NORME GEOLOGICHE DI PIANO

14. CARTA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO - NORME GEOLOGICHE DI PIANO

Le Norme Geologiche di Piano sono state definite in riferimento alla Carta della Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano che è stata redatta sulla base dell'esame degli aspetti geologici complessivi rappresentati nella cartografia, con particolare attenzione alla Carta di Sintesi, ed è finalizzata a fornire indicazioni generali in merito 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 presenti. La Carta della Fattibilità geologica è stata redatta alla scala 1:2.000 (Tavole 9a, 9b) per il settore di fondovalle e della base del versante della Val Camonica ed alla scala 1:10.000 (Tavola 8) per l'intero territorio comunale.

Le definizioni di ciascuna classe di fattibilità, le indicazioni di carattere generale per lo svolgimento delle indagini necessarie alla valutazione della fattibilità dei singoli interventi e la descrizione dei fattori limitanti rispetto alla destinazione d'uso delle singole aree sono riportati nelle **Norme Geologiche di Piano**.

L'individuazione delle aree in dissesto fatta in questa sede non è definitiva, ma potrà essere modificata, con le modalità e procedure definite dalla Regione Lombardia, in seguito ad eventuali interventi di sistemazione o di difesa o al verificarsi di nuovi fenomeni di dissesto che comportino una variazione delle condizioni di pericolosità.

Dr. geol. Fabio Alberti

Hanno collaborato:

dr. geol. Francesco Bosio

dr. geol. Elena Staffoni

Darfo Boario Terme, dicembre 2011.

15. 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) Bacchi, Armanelli, Rossini - Valutazione delle portate di piena della Provincia di Brescia. Università degli Studi di Brescia, 1999.
- 6) Bacchi, Mariani, Rossini, Armanelli, Ranzi - Analisi e sintesi delle piogge intense del territorio bresciano - Università degli Studi di Brescia 1999.
- 7) Berruti G. - Levandosi i fiumi sopra le rive- ed. Grafo, 1999.
- 8) Boni A., Cassinis G. - Carta geologica delle Prealpi Bresciane a sud dell'Adamello. Note illustrative della legenda stratigrafica. - Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, n. 23, Pavia 1973.
- 9) C. N. R. - Carta tettonica delle Alpi Meridionali.- Pubbl. n. 441 Progetto Final. Geodin., Roma 1981.
- 10) C.N.R. – Carta geologica del gruppo Adamello-Presanella – Ed. SELCA, 1998.
- 11) Callegari E., Brack P. – Geological Map of the tertiary Adamello batholith – Explanatory notes and legend. – estratto da Mem. Sc. Geol. Vol. 54 – Padova, 2002.
- 12) Castany G. - Idrogeologia, principi e metodi - Flaccovio editrice, 1987.
- 13) Castiglioni G.B. - Geomorfologia.- ed. UTET, Torino 1979.
- 14) Celico P. - Prospezioni idrogeologiche - Liguori editore, 1986.
- 15) Ceriani M., Carelli M. – Carta delle precipitazioni medie, minime e massime annue del territorio alpino Lombardo. – Regione Lombardia, dicembre 1999.
- 16) Ceriani M., Mazzoccola D., Agostoni S., Quattrini S., Sciesa E. - Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da frana nei “ siti a rischio “ in adempimento alla legge 267/98.
- 17) Civita M. - Idrogeologia (in AA.VV. - Geologia Tecnica) - ISEDI editore, 1987
- 18) D.lgs. 3 aprile 2006 n. 152 - G.U. n. 88 del 14/04/06, Suppl. Ord. n. 96.
- 19) D.M. 14 gennaio 2008 - Approvazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni.- Gazz. Uff., n. 29 del 04/02/2008.
- 20) D.P.R. 24 maggio 1988, n. 236: attuazione della direttiva CEE n. 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, ai sensi della legge 16 aprile 1987, n. 183 – Suppl. ord. Gazz. Uff., n. 152, 30/06/1988.
- 21) Decreto del Capo del Dipartimento della protezione civile del 21 ottobre 2003 “Disposizioni attuative dell'art. 2, commi 2, 3 e 4, dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003” – G.U. n. 252 del 29 ottobre 2003

- 22) Forcella F., Bigoni C., Bini A., Ferliga C., Ronchi A., Rossi S.; Foglio CARG Breno 1:50.000 – Note illustrative- 2010.
- 23) Franzoni O. - "Per castigo di Dio". Note per una mappa delle calamità in Valle Camonica (secoli XIII-XIX) –
- 24) Geo.Te.C. Studio Associato – Studio geologico di supporto alla pianificazione urbanistica - Comune di Niardo. – gennaio 2003.
- 25) Gruppo Edison - Elaborazione dei dati idrologici del bacino dell'Oglio - 1953
- 26) Highway and Railway Bureau - Landslides, analysis and control - ed. Schuster and Krizek, 1978.
- 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., 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.
- 30) 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
- 31) Ordinanza PCM n. 3274 del 20 marzo 2003 - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica - G.U. n. 105, 8 maggio 2003, Suppl. Ord. n. 72.
- 32) Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006 - Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone - Gazz.Uff., anno 147, n. 108 del 11-05-2006
- 33) Pedersoli G.S. - La lunga alluvione (1960) - ed. Toroselle; Esine 1992.
- 34) Provincia di Brescia - Studio delle precipitazioni intense in Provincia di Brescia e verifica funzionale della rete pluviometrica esistente - Brescia, 1985.
- 35) Provincia di Brescia (Comitato d'intesa Brescia-Bergamo) - Piano generale di bonifica montana dell'alto bacino del fiume Oglio.- Suppl. Comment. Ateneo di Brescia, Brescia 1967.
- 36) Regione Lombardia - D.g.r. 10 Aprile 2003 - n. 7/12693 - Decreto legislativo 11 Maggio 1999, n. 152 e successive modifiche, art. 21, comma 5 - Disciplina delle aree di salvaguardia delle acque sotterranee destinate al consumo umano. - BURL s.o. n. 17 del 22 aprile 2003.
- 37) Regione Lombardia - D.g.r. 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.
- 38) Regione Lombardia - 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.
- 39) Regione Lombardia - D.g.r. 28 Maggio 2008 n. 8/7374 – Aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57,

- comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n.12” approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 - BURL - anno XXXVIII, n. 120, 12 giugno 2008, 2° Suppl. Straordinario al n°24.
- 40) Regione Lombardia - D.g.r. 29 marzo 2006 n. 8/2244 approvazione del Programma di tutela e uso delle acque, ai sensi dell'art. 44 del d.lgs. 152/99 e dell'art. 55, comma 19 della l.r. 26/2003 – BURL anno XXXVI, n. 80, 2° suppl. straord. - 23 aprile 2006.
- 41) Regione Lombardia - D.g.r. n 7/14964 del 7 Novembre 2003 - Disposizioni preliminari per l'attuazione dell'OPCM n°3274/2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”- Boll. Uff. della Reg. Lomb. - anno XXXIII, n. 275, 2003.
- 42) Regione Lombardia - Decreto dirigente dell'unità organizzativa n. 19904/03 21/11/2003 - Approvazione elenco tipologie degli edifici e opere infrastrutturali e programma temporale delle verifiche di cui all'art. 2, commi 3 e 4 dell'ordinanza p.c.m. n 3274 del 20 marzo 2003, in attuazione della d.g.r. n° 14964 del 7 Novembre 2003 - Boll. Uff. della Reg. Lomb. – serie ordinaria, n. 49 del 1/12/2003.
- 43) Regione Lombardia - L.r. 11 marzo 2005 n. 12 - Legge per il governo del territorio - BURL. - anno XXXV, n. 69, 16 marzo 2005, 1° Suppl. Ordinario.
- 44) Regione Lombardia - L.r. 14 luglio 2006 n. 12 - Modifiche ed integrazioni alla legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 “legge per il governo del territorio”. - BURL 18 luglio 2006, n. 29, 1° suppl. ord.
- 45) Regione Lombardia, Direzione Generale Territorio ed Urbanistica, Struttura Rischi Idrogeologici - Inventario delle frane e dei dissesti idrogeologici della Regione Lombardia - 2002.
- 46) Salomon W. - Il gruppo dell'Adamello - Ed. Quaderni Camuni, 1989.
- 47) Servizio Geologico d'Italia - Carta Geologica d'Italia. Scala 1:100.000. Foglio n. 34, Breno. - Roma 1970.
- 48) Servizio Geologico d'Italia - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia. Foglio n. 34, Breno. - Roma 1971.
- 49) Società Geologica Italiana - Alpi e Prealpi lombarde.- Guide Geol. Reg., Be-Ma ed.; Roma 1990.

STIMA DELLE PORTATE AL COLMO DI PIENA PER EVENTI CON TEMPI DI RITORNO DI 50 ANNI

PARAMETRI MORFOMETRICI DEI BACINI

	Bacini	Re	Fa	Cobello		
Sb =	8,45	4,01	2,36	2,36	km ²	Area del bacino sotteso
L =	5,61	3,24	3,85	3,85	km	Lunghezza dell'asta
Hmin =	510,0	470,0	500,0	500,0	m	Altezza minima
Hmax =	2471,0	2225,0	2292,0	2292,0	m	Altezza massima
Hmed =	1669,0	1354,0	1202,0	1202,0	m	Altezza media assoluta
Hmed =	840,9	884,0	702,0	702,0	m	Altezza media relativa

METODO DI GIANDOTTI

$Q_c = 0,278 \cdot \frac{\gamma \times \psi}{\lambda \times t_c} \cdot h_{cr} \cdot S_b \cdot C_d =$	88,3	58,3	33,4	m ³ /s	portata al colmo	coeff deflusso Cd=1.0
	53,0	35,0	20,0	m³/s	portata al colmo	coeff deflusso Cd=0.6
$y = 0,0667 + 0,0543 \cdot \ln Tr =$	0,279	0,279	0,279			
g =	8,5	8,5	8,5			
l =	3	3	3			
Tr =	50	50	50	anni	tempo di ritorno	
$h_{cr} = a \cdot t_c^n =$	41,1	35,8	36,2	mm	altezza di pioggia critica	
Stazione di Breno	a =	42,891	42,891	42,891		
	n =	0,294	0,294	0,294		
$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S_b} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_m}} =$	0,86	0,54	0,56	ore	tempo di corrivazione	

METODO di GIANDOTTI E VISENTINI (1938)

$Q_c = \frac{\lambda \cdot S_b \cdot h_c}{0,8 \cdot t_c} \cdot C_d =$	83,4	55,0	31,5	m ³ /s	portata al colmo	coeff deflusso Cd=1.0
	50,0	33,0	18,9	m³/s	portata al colmo	coeff deflusso Cd=0.6
l =	166	166	166			

METODO DELLA PORTATA INDICE

Dip. Ing. Civile Univ. Studi di Brescia (Bacchi, Armanelli, Rossini)

$Q_{c,T} = \mu(Q_c) X_T =$	37,2	21,6	14,7	m ³ /s	portata al colmo	
$X_T = \frac{Q_c}{\mu(Q_c)} = 1 + 0,53 \frac{(\exp 0,0521 \cdot Y_G) - 1033}{0,072} =$	2,416	2,416	2,416		coefficiente di crescita	
	50	50	50	anni	T (tempo di ritorno)	
$Y_G = -\ln \left(-\ln \left(\frac{T-1}{T} \right) \right) =$	3,902	3,902	3,902			
$\mu(Q_c) = 22,68 \cdot A^{0,404} =$	53,71	39,75	32,08		media distribuzione	per 300<A<2000 km ²
$\mu(Q_c) = 3,24 \cdot A^{0,73} =$	15,39	8,93	6,06		media distribuzione	per 1<A<40 km ²
$\mu(Q_c) = \beta \cdot 3,24 \cdot A^{0,73} + (1-\beta) \cdot 22,68 \cdot A^{0,404} =$	10,74	4,66	2,30		media distribuzione	per 40<A<300 km ²
$\beta = \frac{300-A}{260} =$	1,121	1,138	1,145			

METODO DELLA FORMULA RAZIONALE

Dip. Ing. Civile Univ. Studi di Brescia (Bacchi, Armanelli, Rossini)

$Q_{c,T} = \frac{1}{3,6} \cdot \Phi \cdot r(A, d) \cdot A \cdot a_T \cdot T_c^{n_1-1} =$	33,2	19,9	10,8	m ³ /s	portata al colmo	
$h(t, T) = a_T \cdot d^{n_1} =$	34,73	31,14	32,53	mm	altezza di pioggia media puntuale sul bacino	
$a_T = m_1 \left\{ 1 - \frac{CV\sqrt{6}}{\pi} \left[0,5772 + \ln \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} =$	37,11	37,11	37,11	mm/h		
Stazione di Breno	CV =	0,288	0,288	0,288		coeff. Var. areale precipitazioni max ann. da 1 a 24 ore
	m ₁ =	21,25	21,25	21,25	mm	media areale precipitazioni massime annuali di 1 ora
	n ₁ =	0,313	0,313	0,313		media areale esponente altezze med max ann. pioggia
$r(A, d) = 1 - \exp \left[-2472 A^{-0,242206} d^{-0,6433} \exp(0,6433 \cdot 0,235) \right] =$	0,75	0,80	0,85			
con	d =	0,81	0,57	0,66	ore	durata della pioggia
d = Tc	$T_c = \frac{3,3\sqrt{A} + 3,2}{\sqrt{H_{med} - H_{idr}}} =$	0,81	0,57	0,66	ore	
per 10<T<200 anni						
per 20<A<300 km ²	$\Phi = 0,298 \cdot T^{-0,052} \cdot A^{0,085} =$	0,438	0,411	0,393		indice di Moisello (1998) % pioggia tradotta in deflusso

STIMA DELLA PORTATA CON TRASPORTO SOLIDO

Portata liquida definita secondo il metodo della Portata Indice						
$Q_{liq/sol} = 1,13 - 1,24 \cdot Q_{liq} =$	<i>minima</i>	42,0	24,4	16,6	m ³ /s	portata al colmo
	<i>massima</i>	46,1	26,8	18,2	m³/s	portata al colmo
Portata liquida definita con il Modello Razionale						
$Q_{liq/sol} = 1,13 - 1,24 \cdot Q_{liq} =$	<i>minima</i>	37,5	22,5	12,2	m ³ /s	portata al colmo
	<i>massima</i>	41,2	24,6	13,4	m³/s	portata al colmo

STIMA DELLE PORTATE AL COLMO DI PIENA PER EVENTI CON TEMPI DI RITORNO DI 100 ANNI

PARAMETRI MORFOMETRICI DEI BACINI

Bacini	Re	Fa	Cobello		
Sb =	8,45	4,01	2,36	km ²	Area del bacino sotteso
L =	5,61	3,24	3,85	km	Lunghezza dell'asta
Hmin =	510,0	470,0	500,0	m	Altezza minima
Hmax =	2471,0	2225,0	2292,0	m	Altezza massima
Hmed =	1669,0	1354,0	1202,0	m	Altezza media assoluta
Hmed =	840,9	884,0	702,0	m	Altezza media relativa

METODO DI GIANDOTTI

$Q_c = 0,278 \cdot \frac{\gamma \times \Psi}{\lambda \times t_c} \cdot h_{cr} \cdot S_b \cdot C_d =$	110,6	73,1	41,9	m ³ /s	portata al colmo	coeff deflusso Cd=1.0
	66,3	43,9	25,1	m³/s	portata al colmo	coeff deflusso Cd=0.6
$y = 0,0667 + 0,0543 \cdot \ln Tr =$	0,317	0,317	0,317			
$g =$	8,5	8,5	8,5			
$l =$	3	3	3			
$Tr =$	100	100	100	anni	tempo di ritorno	
$h_{cr} = a \cdot t_c^n =$	45,3	39,5	40,0	mm	altezza di pioggia critica	
Stazione di Breno	$a =$	47,286	47,286	47,286		
	$n =$	0,292	0,292	0,292		
$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S_b} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_m}} =$	0,86	0,54	0,56	ore	tempo di corrivazione	

METODO di GIANDOTTI E VISENTINI (1938)

$Q_c = \frac{\lambda \cdot S_b \cdot h_c}{0,8 \cdot t_c} \cdot C_d =$	92,0	60,8	34,8	m ³ /s	portata al colmo	coeff deflusso Cd=1.0
	55,2	36,5	20,9	m³/s	portata al colmo	coeff deflusso Cd=0.6
$l =$	166	166	166			

METODO DELLA PORTATA INDICE

Dip. Ing. Civile Univ. Studi di Brescia (Bacchi, Armanelli, Rossini)

$Q_{c,T} = \mu(Q_c) X_T =$	42,3	24,6	16,7	m ³ /s	portata al colmo	
$X_T = \frac{Q_c}{\mu(Q_c)} = 1 + 0,53 \frac{(\exp(0,0521 \cdot Y_G) - 1033)}{0,072} =$	2,751	2,751	2,751		coefficiente di crescita	
	100	100	100	anni	T (tempo di ritorno)	
$Y_G = -\ln\left(-\ln\left(\frac{T-1}{T}\right)\right) =$	4,600	4,600	4,600			
$\mu(Q_c) = 22,68 \cdot A^{0,404} =$	53,71	39,75	32,08		media distribuzione	per 300<A<2000 km ²
$\mu(Q_c) = 3,24 \cdot A^{0,73} =$	15,39	8,93	6,06		media distribuzione	per 1<A<40 km ²
$\mu(Q_c) = \beta \cdot 3,24 \cdot A^{0,73} + (1-\beta) \cdot 22,68 \cdot A^{0,404} =$	10,74	4,66	2,30		media distribuzione	per 40<A<300 km ²
$\beta = \frac{300 - A}{260} =$	1,121	1,138	1,145			

METODO DELLA FORMULA RAZIONALE

Dip. Ing. Civile Univ. Studi di Brescia (Bacchi, Armanelli, Rossini)

$Q_{c,T} = \frac{1}{3,6} \cdot \Phi \cdot r(A, d) \cdot A \cdot a_T \cdot T_c^{n_1-1} =$	37,5	22,4	12,2	m ³ /s	portata al colmo	
$h(t, T) = a_T \cdot d^{n_1} =$	37,85	33,94	35,45	mm	altezza di pioggia media puntuale sul bacino	
$a_T = m_1 \left\{ 1 - \frac{CV\sqrt{6}}{\pi} \left[0,5772 + \ln \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} =$	40,45	40,45	40,45	mm/h		
Stazione di Breno	$CV =$	0,288	0,288	0,288		coeff. Var. areale precipitazioni max ann. da 1 a 24 ore
	$m_1 =$	21,25	21,25	21,25	mm	media areale precipitazioni massime annuali di 1 ora
	$n_1 =$	0,313	0,313	0,313		media areale esponente altezze med max ann. pioggia
$r(A, d) = 1 - \exp\left[-2,47 A^{-0,242} d^{0,6} \exp(0,643 A^{0,239})\right] =$	0,75	0,80	0,85			
con	$d =$	0,81	0,57	0,66	ore	durata della pioggia
$d = T_c$	$T_c = \frac{3,3\sqrt{A} + 3,2}{\sqrt{H_{med} - H_{idr}}} =$	0,81	0,57	0,66	ore	
per 10<T<200 anni						
per 20<A<300 km ²	$\Phi = 0,298 \cdot T^{0,052} \cdot A^{0,085} =$	0,454	0,426	0,407		indice di Moisello (1998) % pioggia tradotta in deflusso

STIMA DELLA PORTATA CON TRASPORTO SOLIDO

Portata liquida definita secondo il metodo della Portata Indice

$Q_{liq/sol} = 1,13 - 1,24 \cdot Q_{liq} =$	<i>minima</i>	47,8	27,8	18,8	m ³ /s	portata al colmo
	<i>massima</i>	52,5	30,5	20,7	m³/s	portata al colmo

Portata liquida definita con il Modello Razionale

$Q_{liq/sol} = 1,13 - 1,24 \cdot Q_{liq} =$	<i>minima</i>	42,4	25,4	13,8	m ³ /s	portata al colmo
	<i>massima</i>	46,5	27,8	15,2	m³/s	portata al colmo

STIMA DELLE PORTATE AL COLMO DI PIENA PER EVENTI CON TEMPI DI RITORNO DI 200 ANNI

PARAMETRI MORFOMETRICI DEI BACINI

Bacini	Re	Fa	Cobello		
Sb =	8,45	4,01	2,36	km ²	Area del bacino sotteso
L =	5,61	3,24	3,85	km	Lunghezza dell'asta
Hmin =	510,0	470,0	500,0	m	Altezza minima
Hmax =	2471,0	2225,0	2292,0	m	Altezza massima
Hmed =	1669,0	1354,0	1202,0	m	Altezza media assoluta
Hmed =	840,9	884,0	702,0	m	Altezza media relativa

METODO DI GIANDOTTI

$Q_c = 0,278 \cdot \frac{\gamma \times \Psi}{\lambda \times t_c} \cdot h_{cr} \cdot S_b \cdot C_d =$	135,2	89,5	51,2	m ³ /s	portata al colmo	coeff deflusso Cd=1.0
	81,1	53,7	30,7	m³/s	portata al colmo	coeff deflusso Cd=0.6
$y = 0,0667 + 0,0543 \cdot \ln Tr =$	0,354	0,354	0,354			
g =	8,5	8,5	8,5			
l =	3	3	3			
Tr =	200	200	200	anni	tempo di ritorno	
$h_{cr} = a \cdot t_c^n =$	49,5	43,3	43,7	mm	altezza di pioggia critica	
Stazione di Breno	a =	51,665	51,665	51,665		
	n =	0,289	0,289	0,289		
$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S_b} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_m}} =$	0,86	0,54	0,56	ore	tempo di corrivazione	

METODO di GIANDOTTI E VISENTINI (1938)

$Q_c = \frac{\lambda \cdot S_b \cdot h_c}{0,8 \cdot t_c} \cdot C_d =$	100,5	66,5	38,1	m ³ /s	portata al colmo	coeff deflusso Cd=1.0
	60,3	39,9	22,9	m³/s	portata al colmo	coeff deflusso Cd=0.6
l =	166	166	166			

METODO DELLA PORTATA INDICE

Dip. Ing. Civile Univ. Studi di Brescia (Bacchi, Armanelli, Rossini)

$Q_{c,T} = \mu(Q_c) X_T =$	47,6	27,6	18,8	m ³ /s	portata al colmo	
$X_T = \frac{Q_c}{\mu(Q_c)} = 1 + 0,53 \frac{(\exp 0,0521 \cdot Y_G) - 1033}{0,072} =$	3,096	3,096	3,096		coefficiente di crescita	
	200	200	200	anni	T (tempo di ritorno)	
$Y_G = -\ln \left(-\ln \left(\frac{T-1}{T} \right) \right) =$	5,296	5,296	5,296			
$\mu(Q_c) = 22,68 \cdot A^{0,404} =$	53,71	39,75	32,08		media distribuzione	per 300<A<2000 km ²
$\mu(Q_c) = 3,24 \cdot A^{0,73} =$	15,39	8,93	6,06		media distribuzione	per 1<A<40 km ²
$\mu(Q_c) = \beta \cdot 3,24 \cdot A^{0,73} + (1-\beta) \cdot 22,68 \cdot A^{0,404} =$	10,74	4,66	2,30		media distribuzione	per 40<A<300 km ²
$\beta = \frac{300-A}{260} =$	1,121	1,138	1,145			

METODO DELLA FORMULA RAZIONALE

Dip. Ing. Civile Univ. Studi di Brescia (Bacchi, Armanelli, Rossini)

$Q_{c,T} = \frac{1}{3,6} \cdot \Phi \cdot r(A, d) \cdot A \cdot a_T \cdot T_c^{n_1-1} =$	42,1	25,2	13,7	m ³ /s	portata al colmo		
$h(t, T) = a_T \cdot d^{n_1} =$	40,96	36,72	38,36	mm	altezza di pioggia media puntuale sul bacino		
$a_T = m_1 \left\{ 1 - \frac{CV\sqrt{6}}{\pi} \left[0,5772 + \ln \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} =$	43,77	43,77	43,77	mm/h			
Stazione di Breno	CV =	0,288	0,288	0,288		coeff. Var. areale precipitazioni max ann. da 1 a 24 ore	
	m ₁ =	21,25	21,25	21,25	mm	media areale precipitazioni massime annuali di 1 ora	
	n ₁ =	0,313	0,313	0,313		media areale esponente altezze med max ann. pioggia	
$r(A, d) = 1 - \exp \left[-2472 A^{-0,242206} d^{-\exp(0,643 A^{0,239})} \right] =$	0,75	0,80	0,85				
con	d =	0,81	0,57	0,66	ore	durata della pioggia	
per 10<T<200 anni	d = Tc	$T_c = \frac{3,3\sqrt{A} + 3,2L}{\sqrt{H_{med} - H_{idr}}} =$	0,81	0,57	0,66	ore	
per 20<A<300 km ²	$\Phi = 0,298 \cdot T^{0,052} \cdot A^{0,085} =$	0,471	0,442	0,422		indice di Moisello (1998) % pioggia tradotta in deflusso	

STIMA DELLA PORTATA CON TRASPORTO SOLIDO

Portata liquida definita secondo il metodo della Portata Indice

$Q_{liq/sol} = 1,13 - 1,24 \cdot Q_{liq} =$	<i>minima</i>	53,8	31,2	21,2	m ³ /s	portata al colmo
	<i>massima</i>	59,1	34,3	23,3	m³/s	portata al colmo

Portata liquida definita con il Modello Razionale

$Q_{liq/sol} = 1,13 - 1,24 \cdot Q_{liq} =$	<i>minima</i>	47,6	28,5	15,5	m ³ /s	portata al colmo
	<i>massima</i>	52,2	31,2	17,0	m³/s	portata al colmo

STIMA DELLA MAGNITUDO

Parametri morfometrici :	Re	Fa	Cobello	
Area bacino:	8,45	4,01	2,36	km ²
Quota massima:	2471,0	2225,0	2292,0	m
Quota minima:	510,0	470,0	500,0	m
Quota media:	1669,0	1354,0	1202,0	m
Lunghezza asta	5,61	3,24	3,85	km
Lunghezza alveo su conoide attivo:	1570	1320	1710	m
Pendenza alveo su conoide attivo:	12,7	12,5	11,1	%
1 Metodo di Rickermann & Zimmerman (1997)				
$M = (110-2.5S)*L =$	122700	103950	140600	m ³
S =	12,7	12,5	11,1	% (pendenza conoide)
L =	1570	1320	1710	m (lunghezza dell'alveo sul conoide)
2 Metodo di Hampel (1977)				
$M = 150*A*(Sf-3)^{2.3} =$	237967	106660	43640	m ³
A =	8,45	4,01	2,36	km ² (area del bacino)
Sf =	12,7	12,5	11,1	% (pendenza conoide)
3 Metodo di Crosta, Ceriani, Frattini & Quattrini (2000)				
$M = K*A*M_b*S*(1/IF^2) =$	98032	59305	41294	m ³
K =	5,4	5,4	5,4	k=3 trasporto di fondo; k=5,4 trasporto in massa
A =	8,45	4,01	2,36	km ² area del bacino
$M_b = (H_{max} - H_{min})*A^{-(1/2)} =$	0,675	0,876	1,166	Indice di Melton
H _{max} =	2,471	2,225	2,292	km quota massima del bacino
H _{min} =	0,510	0,470	0,500	km quota minima del bacino
S =	12,7	12,5	11,1	% pendenza alveo su conoide
IF =	2	2	2	indice di frana: 1 per grandi frane, frane al piede; 2 per frane sui versanti; 3 per frane piccole o assenti
4 Metodo di Bottino, Crivellari & Mandrone (1996)				
Dall'interpolazione di sei valori di volumi di colata misurati su eventi verificatisi nella zona di Ivrea nel 1993				
$M = 21241*A^{0.28} =$	38610	31337	27014	m ³
Ab =	8,45	4,01	2,36	km ² (area del bacino)
5 Metodo di D'Agostino et al. (1996)				
$M1 = 39*A*S^{1.5}*(I.G.)*(I.T.)^{-0.3} =$	142384	77967	54866	m ²
$M2 = 36*A*S^{1.5}*(I.G.)*(1+C.S.)^{-1} =$	131431	71970	50645	m ³
(area del bacino) A =	8,45	4,01	2,36	km ²
(pendenza asta principale) S =	32,8	42,5	44,6	%
indice trasporto Aulitzky I.T. =	1	1	1	1 per debris flow; 2 per debris flood; 3 per trasporto di fondo
indice geologico I.G. =	2,3	1,8	2	0 per rocce porfiriche, granitiche, dioritiche; 1 per rocce calcaree
Coefficiente sistemazione C.S. =	0	0	0	2 per rocce laviche degradate, tufi basaltici, brecce; 3 per rocce terrigene 4 per rocce metamorfiche; 5 per copertura morenica, alluvionale e di falda
6 Metodo di Takei (1984)				
Sulla base di 552 dati raccolti in Giappone				
$M = 13600*A^{0.61} =$	49994	31729	22962	m ³
A =	8,45	4,01	2,36	km ² (area del bacino)
7 Metodo di Kronfellner-Kraus (1984-1985)				
$M = (K_i * e^{-KA}) * A * i =$	283176	185247	117163	m ³ max
	139884	89103	55800	m ³ min
A =	8,45	4,01	2,36	km ² (area del bacino)
$K_i * e^{-KA} =$	1022	1087	1113	max (fattore di torrenzialità)
KI =	1150	1150	1150	max
K =	0,014	0,014	0,014	max
$K_i * e^{-KA} =$	505	523	530	min
KI =	540	540	540	min
K =	0,008	0,008	0,008	min
i =	32,8	42,5	44,6	% (pendenza media dell'asta torrentizia)
8 Metodo di Bianco (1999)				
$M = 14000A^{(i,5-i)} I.G.^{(1+0,11.G.)} \pm 13000A^{0,6}$	136010	74668	54192	m ³ max
A =	8,5	4,0	2,4	km ² (area del bacino)
I.G. =	2,3	1,8	2	Indice geologico - vedi d'Agostino et alii
i =	0,3	0,4	0,4	(pendenza media dell'asta torrentizia)
Schema riassuntivo				
	Re	Fa	Cobello	
Rickermann & Zimmerman (1997)	122.700	103.950	140.600	m ³ 1
Hampel (1977)	237.967	106.660	43.640	m ³ 2
Crosta, Ceriani, Frattini & Quattrini (2000)	98.032	59.305	41.294	m ³ 3
Bottino, Crivellari & Mandrone (1996)	38.610	31.337	27.014	m ³ 4
D'Agostino et al. (1996)	142.384	77.967	54.866	m ³ 5a
D'Agostino et al. (1996)	131.431	71.970	50.645	m ³ 5b
Takei (1984)	49.994	31.729	22.962	m ³ 6
Kronfellner-Kraus (1984-1985)	283.176	185.247	117.163	m ³ 7a
Kronfellner-Kraus (1984-1985)	139.884	89.103	55.800	m ³ 7b
Bianco (1999)	136.010	74.668	54.192	m ³ 8
media	138.019	83.194	60.818	m ³
media metodi 1,4,6,7	126.873	88.273	72.708	m ³ metodi basati sull'area
media dei metodi 3, 5, 8	109.293	63.049	45.602	m ³ metodi basati anche su litologia
media dei metodi 1,2,4,6,7	182.420	97.466	58.174	m ³ metodi su area e conoide

valori assunti come rappresentativi

SCHEMA CONOIDI

Data compilazione: dicembre 2011

Località: Niardo

Comuni: Niardo

Provincia: Brescia

Torrente

Re di Niardo**Fa****Cobello**

CTR

D4c1, D4d1, D4d2

D4c1, D4d1, D4c2, D4d2

D4c1, D4d1

- Dati morfometrici del conoide

Superficie (km ²)	0,64	0,76	0,48
Volume (m ³)	21333333	20900000	16400000
Quota massima (m)	510	470	520
Quota minima (m)	310	305	315
Lunghezza massima (m)	1460	1260	1610
Larghezza massima (m)	560	1040	900
Pendenza media (%)	13,70	13,10	12,73
Pendenza media alveo (%)	12,82	11,54	12,20
Lunghezza alveo (m)	1560	1430	1680
Indice di Melton	0,25	0,19	0,30

- Dati morfometrici del bacino

Superficie (km ²)	8,45	4,01	2,36
Quota massima (m)	2471,8	2225,9	2292,5
Quota minima (m)	510	470	520
Lunghezza alveo principale (m)	5,26	2,91	3,45
Pendenza media alveo (%)	33,8	40,2	49,0
Lunghezza rete idrografica (km)	26,94	14,23	18,28
Densità di drenaggio	3,19	3,55	7,75
Indice di Melton	0,67	0,88	1,15

- Caratteristiche conoide

Sviluppo del collettore rispetto all'apice	bisettrice	sinistra	sinistra
Caratteristiche della soglia	in roccia	in materiale incoerente	in roccia
Presenza di paleoalvei	no	si	no
Dinamica dell'alveo (apice)	approfondimento	approfondimento	approfondimento
Dinamica dell'alveo (mediana)	equilibrio	equilibrio	equilibrio
Dinamica dell'alveo (distale)	innalzamento	innalzamento	innalzamento
Pendenza tratto a monte apice (%)	18,2	15,3	20,3
Pendenza tratto a valle apice (%)	17,8	13,1	15,5
Caratteristiche canale attivo (apice)	inciso, regimato con opere di difesa	inciso	inciso, regimato con opere di difesa
Caratteristiche canale attivo (mediana)	poco inciso, regimato con opere di difesa, canalizzato e/o impermeabilizzato	poco inciso, regimato con opere di difesa, canalizzato e/o impermeabilizzato	poco inciso, regimato con opere di difesa, canalizzato e/o impermeabilizzato
Caratteristiche canale attivo (distale)	poco inciso, regimato con opere di difesa, canalizzato e/o impermeabilizzato	poco inciso, regimato con opere di difesa, canalizzato e/o impermeabilizzato	poco inciso, regimato con opere di difesa, canalizzato e/o impermeabilizzato

- Opere presenti sul conoide

è indicata la quota, che identifica la posizione

briglie	8 da 477 a 445	402	7 da 500 a 470
briglie scalzate/danneggiate	2 da 450 a 440		
briglie selettive	523 (apice)	436	548 (poco a monte apice)
soglie	9 da 514 a 480	11 da 370 a 328	525 (apice)
	21 da 436 a 380		27 da 468 a 418
			6 da 405 a 388
soglie scalzate/danneggiate	3 da 508 a 500	400	
scogliere	in dx e sx da 514 a 477	in dx da 475 a 456	in sx da 516 a 490
	in dx e sx da 301 a confluenza in Oglio	in dx e sx da 444 a 436 in dx e sx da 370 a 320	in dx e sx da 490 a 470
rivestimento del fondo		da 384 a 376	
rivestimento del fondo e delle sponde	da 391 a 305	da 318 a 305	da 387 a 313
muro di sponda	in dx e sx da 477 a 472	in sx da 374 a 370	in dx da 498 a 490
	in dx e sx da 445 a 391	in dx e sx da 320 a 318	in dx e sx da 468 a 387
	in dx e sx da 305 a 301		in dx e sx da 313 a 306
vasca di espansione		da 328 a 318, capacità 7500 m ³ circa	

- Punti critici sul conoide

Ponti e attraversamenti (quota in m slm)	Canale Idroelettrico (390 m) Ferrovia (314 m) Ex SS 42 (310 m)	Ferrovia (308 m) Ex SS 42 (303 m)	Canale Idroelettrico (388 m) Ferrovia (320 m) Ex SS 42 (312 m)
Possibili superamenti di sponda		tratto in destra idrografica fra quota 418 e 400 m	
Sezione ristretta		tratto terminale vasca di espansione quota 320 m	

- Indicazioni di intervento

Ampliamento sezione tombotti presso attraversamenti	Canale Idroelettrico (390 m) Ferrovia (314 m) Ex SS 42 (310 m)	Ferrovia (308 m) Ex SS 42 (303 m)	Canale Idroelettrico (388 m) Ferrovia (320 m) Ex SS 42 (312 m)
Sovralzo sponda		tratto in destra idrografica fra quota 418 e 400 m	
Ampliamento sezioni ristrette		tratto terminale vasca di espansione quota 320 m	
Manutenzione e pulizia/svaso dell'alveo	tutto il corso	tutto il corso	tutto il corso