



Piano di Governo del Territorio

Componente Geologica
ai sensi della d.g.r. 2616/2011

Dr. Geol. Fabio Plebani O.G.L. n° 884

Dr. Geol. Andrea Gritti O.G.L. n° 1461



Sommario

Sommario.....	2
1 PREMESSA.....	5
2 IL SIGNIFICATO DEGLI STUDI GEOLOGICI NEL CAMPO DELLA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE	6
3 DOCUMENTAZIONE PRODOTTA	9
4 METODOLOGIA DELLO STUDIO	9
5 INQUADRAMENTO TERRITORIALE	12
6 CENNI DI CLIMATOLOGIA.....	13
7 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA	18
8 STRATIGRAFIA DEL SUBSTRATO ROCCIOSO	21
Argilliti di Riva di Solto	22
Calccare di Zu.....	22
Dolomia a Conchodon	23
Calcari selciferi lombardi (Calccare di Sedrina, Calccare di Moltrasio)	24
Calccare di Domaro (Medolo).....	25
9 CARATTERI LITOTECNICI DI RIFERIMENTO	25
Alluvioni recenti	26
10 TESTIMONIANZE PALEONTOLOGICHE.....	29
11 CENNI DI TETTONICA.....	30
12 IL QUATERNARIO E LE GLACIAZIONI.....	31
13 CENNI DI IDROGEOLOGIA	35
Struttura idrogeologica	35
Acquiferi presenti nei depositi superficiali.....	36
Acquiferi presenti nel substrato roccioso	37
Fonti di approvvigionamento.....	37
Le sorgenti di acqua minerale	40
14 RETE IDROGRAFICA SUPERFICIALE	41
Valle di Torrezzo.....	41
Valle Spirola.....	43
Valle del Colle.....	47

Valle di Clep	48
Valle di Corno Vadul.....	48
Valle Moj	49
Valle del Grino (o di Bosco Gromo).....	50
15 ANALISI DEI RISCHI CONNESSI AL RETICOLO IDROGRAFICO	51
PRIME VALUTAZIONI SULLA PERICOLOSITÀ DELLE CONOIDI.....	56
16 CARATTERIZZAZIONE IDRAULICA E GEOMORFOLOGICA DELLE CONOIDI	65
VALUTAZIONE DEL RISCHIO	68
17 CONSIDERAZIONI SUL GRADO DI RISCHIO ASSOCIATO AL RETICOLO IDROGRAFICO MINORE	75
18 ANALISI DEI RISCHIO CONNESSO ALLA CADUTA MASSI.....	78
19 PROCEDURE PER LA VALUTAZIONE E LA ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITA' PER FENOMENI DI CROLLO	81
DOCUMENTAZIONE STORICA	92
20 IL PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI).....	94
21 IL RISCHIO RADON	101
22 LA CARTA DEI VINCOLI	109
23 ADEGUAMENTO AI SENSI DELLA d.g.r. 2616/2011 RELATIVAMENTE ALLA COMPONENTE SISMICA DELLO STUDIO GEOLOGICO	113
Zonazione sismica del territorio comunale.....	114
Applicazione del 1° Livello.....	118
Scenario Z1	119
Scenario Z2.....	120
Scenario Z3.....	120
Scenario Z4.....	121
Scenario Z5.....	121
Applicazione del 2°Livello – Stima dei valori di Fa	122
Amplificazione litologica (Scenari Z4)	122
Classificazione sismica dei terreni nel comune di Monasterolo del Castello.....	125
Caratterizzazione geotecnica qualitativa dei terreni	127

Applicazione del secondo livello.....	129
2° livello determinazione di Fa (fattore di amplificazione).....	129
Amplificazione litologica (Scenari Z4a e Z4b)	130
Amplificazione topografica/morfologica (Scenario Z3a).....	130
24 CARTA DI SINTESI	133
25 I BENI GEOLOGICI ED AMBIENTALI	135
26 CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO	136

1 PREMESSA

Il Comune di Monasterolo del Castello (Provincia di Bergamo), ha affidato ai sottoscritti l'incarico per una completa rivisitazione dello studio geologico vigente, risalente all'anno 2002 e redatto dal Dott. Geol. Fabio Plebani, al fine di adeguarlo alle normative nel frattempo entrate in vigore, tra le quali si richiamano la l.r. 12/2005 e la recente d.g.r. 2616/2011, la quale definisce, tra l'altro una più puntuale determinazione delle aree in dissesto, con particolare riferimento al PAI (Piano di Assetto Idrogeologico), e degli aspetti sismici del territorio in funzione della nuova pianificazione comunale (Piano di Governo del Territorio – P.G.T.).

Il precedente studio geologico (anno 2002) comprendeva una relazione tecnica, ampiamente ripresa nella presente, e una serie di carte tematiche, nel rispetto di quanto previsto dall'allora vigente legge regionale 24 novembre 1997, n. 41 “*Prevenzione del rischio geologico, idrogeologico e sismico mediante strumenti urbanistici generali e loro varianti*”; mediante parere del 18 dicembre 2002, prot. Z1.2002.56680, la Regione Lombardia comunicava la conformità dello studio geologico alla d.g.r. 7/6645/2001, allora vigente, pur con alcune prescrizioni che sono state successivamente recepite nella versione definitiva dello studio consegnato al Comune di Monasterolo del Castello, nonché con indicazioni operative per la corretta entrata in vigore ed approvazione formale dello studio stesso.

L'aggiornamento e la riverifica di tale studio geologico, con il completo ridisegno delle cartografie di base, è oggetto della presente relazione, nella quale, come accennato, vengono riprese le descrizioni generali riferite al quadro conoscitivo, comprese le tavole grafiche, mentre le fasi di analisi/valutazione sono state sostituite ed aggiornate sulla base delle più recenti indicazioni normative.

Gli elaborati costitutivi del presente studio, dunque, sostituiscono integralmente lo studio geologico del 2002, ed entrano a far parte della documentazione fondamentale del Piano di Governo del Territorio.

2 IL SIGNIFICATO DEGLI STUDI GEOLOGICI NEL CAMPO DELLA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

Il ruolo e i compiti del geologo nel campo della pianificazione sono stati riconosciuti e giustamente definiti già nel Decreto della Giunta della Regione Lombardia n.5/36147 del 18.5.1993, indicante i "Criteri ed indirizzi relativi alla componente geologica nella pianificazione comunale", pubblicato sul Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia, 2° Supplemento Straordinario al N.28 del 16 Luglio 1993. Nella presente introduzione, **pur riconoscendo l'evoluzione della normativa negli anni recenti**, si vogliono riprendere alcuni passi dal documento regionale sopra citato, alcune considerazioni che bene esprimono gli obiettivi e le finalità che hanno spinto i responsabili dei competenti uffici regionali a produrre il documento successivamente approvato dalla giunta regionale e rivolto in primis "alle amministrazioni comunali, provinciali, all'ente regione ed ai professionisti incaricati della progettazione degli strumenti urbanistici, con particolare riferimento ai geologi che partecipano ai gruppi interdisciplinari di progettazione" (dalla "scheda di presentazione").

Nella "Scheda di presentazione" si dice con chiarezza che l'obiettivo del documento "è quello di individuare i contenuti essenziali degli studi geologici da eseguire ai fini della predisposizione degli strumenti urbanistici generali comunali e delle loro varianti generali nell'ottica di contribuire alla prevenzione del dissesto idrogeologico".

Sempre nelle "Premesse", sono richiamate altre considerazioni generali che pare opportuno sottolineare: "Ogni particella del territorio deve essere considerata dal pianificatore con la massima attenzione in quanto anche porzioni apparentemente marginali manifestano una importanza ambientale che deve essere sempre presa in dovuta considerazione nei processi pianificatori". A tal fine, "il contributo della geologia appare un elemento essenziale per effettuare corretti studi analitici di settore e conseguentemente proporre significative indicazioni tecniche da recepire negli strumenti urbanistici".

La conoscenza e la descrizione di un territorio, relativamente ai suoi aspetti geologici, geomorfologici e idrografici è dunque di primaria importanza anche per i successivi approfondimenti legati alla cultura e alla presenza dell'uomo su di esso, e dunque

anche per le future decisioni di pianificazione, purché rivolte anche al rispetto e alla valorizzazione delle qualità ambientali e della qualità di vita dei cittadini.

Si è infatti consapevoli come i caratteri fisici condizionino anche fortemente l'ubicazione degli insediamenti ed anzi, in molti casi siano essi stessi la ragione della presenza di una comunità di persone in un determinato luogo.

Capire innanzitutto il proprio territorio, nelle sue forme e nelle sue strutture, significa dunque capire almeno in parte la ragione stessa di un paese e valutare le possibilità per una comunità di crescere anche economicamente.

Ciò che un territorio offre è necessariamente legato ai caratteri fisici che lo condizionano, e dunque alla pendenza e all'esposizione dei versanti, alla tipologia delle rocce e alla qualità dei suoli: tutto ciò può consentire la presenza diffusa di un certo tipo di vegetazione e non altra o può permettere determinate coltivazioni e non altre; così, nelle aree collinari, solo la presenza di rocce stratificate, calcareniti o arenarie, ha permesso la costruzione dei muri a secco che a loro volta hanno sostenuto le più comuni pratiche agricole; nell'alta pianura la presenza e la facile reperibilità di materiali ciottolosi ha consentito la costruzione di muri che sono vere e proprie opere d'arte, oppure la loro mancanza ha indotto l'uomo ad elaborare tecniche per l'utilizzo dei terreni argillosi per la produzione di mattoni. Ancora, il fluire delle acque, anch'esso legato alle condizioni geologiche dei luoghi, ha consentito lo sviluppo di determinate coltivazioni o lavori. Certo, l'uomo ci ha messo del suo - la fatica e l'ingegno - ma se le comunità hanno potuto crescere e progredire nei secoli è stato anche perché esse hanno trovato condizioni ambientali almeno un poco favorevoli. Molti, dunque, sono gli elementi e gli spunti che anche la geologia e la geomorfologia possono dare per una valorizzazione complessiva del territorio, soprattutto se integrati con gli aspetti vegetazionali e storici, culturali e di uso tradizionale del territorio, di localizzazione dei centri abitati e delle attività economiche degli uomini, della toponomastica e dello sfruttamento delle risorse naturali. Anche oggi, in tempi in cui sembra essersi allentato il rapporto tra l'uomo e la natura; quando sembra che l'ambiente esterno condizioni in modo molto più limitato di una volta le decisioni dell'uomo; quando ciò che è importante non è più quello che un territorio può dare in termini di risorse per soddisfare i bisogni immediati della gente; quando ciò che conta

non è tanto la tranquillità, la preziosità o l'amenità del paesaggio, ma piuttosto la vicinanza alle aree economicamente più forti, alle industrie, alle principali vie di comunicazione; allora, proprio oggi è forse maggiormente necessario ritornare a prendere coscienza del proprio ambiente, della sua ossatura, delle sue forme, della sua cultura, della sua valenza, soprattutto per riconoscere il valore e l'importanza di quanto hanno fatto le generazioni precedenti alla nostra e per responsabilizzarci su ciò che noi lasceremo a quelle che verranno. Ed inoltre per pensare ad uno sviluppo che non trascuri le esigenze attuali, ma che sia coerente con i valori che il territorio ancora oggi esprime, prima che essi vengano completamente dimenticati. Infine, non bisogna dimenticare che un Comune, un paese, una località, non è mai sola con sé stessa, ma che ogni territorio fa parte di un contesto geografico ben più ampio, nel quale esso trova almeno in parte la giustificazione di alcuni dei propri caratteri. Avvicinarsi allo studio di un territorio deve essere dunque una sfida da raccogliere in collaborazione tra le diverse discipline, con l'obiettivo di una sempre più approfondita conoscenza del territorio e delle comunità che lo abitano e di un sempre maggiore rispetto per l'ambiente, che significa anche riconoscerne i limiti oltre che le valenze, ma soprattutto significa essere curiosi di ciò che ci circonda al fine di trovarne le ragioni e di chiarire le motivazioni che hanno spinto altri prima di noi ad abitare in un luogo e a lavorare, spesso con fatica, perché anche noi potessimo crescere ed abitare in esso: ogni corretta pianificazione dovrebbe quanto meno essere realizzata nel ricordo e nel rispetto della fatica e del lavoro di quanti ci hanno preceduto, i quali hanno saputo modellare a loro vantaggio la natura, controllandone gli eccessi e nello stesso tempo, e proprio per questo, rispettandola.

3 DOCUMENTAZIONE PRODOTTA

La finalità del lavoro svolto è stata dunque la descrizione dell'intero territorio comunale dal punto di vista della geologia, della geomorfologia, dell'idrografia superficiale e dell'idrogeologia, in modo tale che potesse essere di supporto anche alla pianificazione urbanistica.

La relazione geologica è stata integrata da una serie di cartografie che visualizzano, con opportune simbologie, i caratteri ambientali salienti del territorio comunale.

Nel dettaglio, le cartografie prodotte a corredo della presente relazione sono le seguenti:

<u>CARTA GEOLITOLOGICA</u>	<u>SCALA 1:5.000;</u>
<u>CARTA GEOMORFOLOGICA</u>	<u>SCALA 1:5.000;</u>
<u>CARTA IDROGEOLOGICA</u>	<u>SCALA 1:5.000;</u>
<u>CARTA DEI VINCOLI</u>	<u>SCALA 1:5.000;</u>
<u>CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE</u>	<u>SCALA 1:5.000;</u>
<u>CARTA DI SINTESI</u>	<u>SCALA 1:5.000;</u>
<u>CARTA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA</u>	<u>SCALA 1:5.000/1:2.000;</u>
<u>CARTA DEI DISSESTI CON LEGENDA P.A.I.</u>	<u>SCALA 1:5.000.</u>

In seguito all'approvazione dei più recenti criteri per la redazione degli studi geologici e alla nuova normativa statale in materia sismica, lo studio è stato aggiornato secondo quanto previsto in merito alla componente sismica, con l'elaborazione della Carta della Pericolosità Sismica Locale e la sovrapposizione dei relativi retini alla Carta della Fattibilità Geologica.

4 METODOLOGIA DELLO STUDIO

Lo studio è stato effettuato secondo quanto indicato nelle direttive regionali di riferimento all'atto dell'attribuzione dell'incarico: *“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 (...)”, Delibera della Giunta Regionale 30 novembre 2011, n. IX/2616.

Le direttive citate stabiliscono i criteri e i contenuti degli studi geologici di supporto agli strumenti urbanistici, delineando altresì degli standard di riferimento. Secondo tali raccomandazioni lo schema metodologico adottato si è basato su tre distinte fasi di lavoro: analisi, sintesi/valutazione e proposta.

1) La fase di analisi è consistita nella raccolta dei dati bibliografici esistenti di pertinenza geologica, basata principalmente sui dati raccolti durante il lavoro sul terreno, necessari alla produzione della **cartografia d'inquadramento e di dettaglio** consistente nei seguenti elaborati:

- **carta geo-litologica**
- **carta geomorfologica**
- **carta idrogeologica**
- **carta della pericolosità sismica locale.**

2) La fase di sintesi/valutazione è consistita nell'analisi critica delle informazioni raccolte e cartografate. Dall'incrocio tra i diversi fattori ambientali è stato possibile evidenziare le zone a maggior criticità e produrre la

- **carta dei vincoli**
- **carta di pericolosità o di sintesi.**

3) La fase propositiva che è seguita, ha permesso la redazione di una

- **carta della fattibilità geologica**

per le azioni di piano e classi di fattibilità nella quale è stata effettuata una zonazione del territorio in quattro classi principali a diversa attitudine, dal punto di vista geologico, a sostenere interventi antropici; alla carta della fattibilità geologica sono stati infine sovrapposti i poligoni relativi alla Pericolosità Sismica Locale.

Le indicazioni espresse nello studio possono quindi essere utilmente recepite dagli strumenti urbanistici, con lo scopo di minimizzare gli effetti connessi alla fruizione del territori.

Si ricorda ancora che gli studi condotti nell'attuazione della ex l.r. 41/97 e della l.r. 12/2005 e dei “criteri relativi alla componente geologica nella pianificazione

comunale”, **non devono essere in alcun modo sostitutivi, anche se le possono comprendere, delle indagini geognostiche e geofisiche di maggior dettaglio prescritte dalla normativa vigente in materia di edilizia sia per la pianificazione attuativa che per la progettazione esecutiva (Norme Tecniche per le Costruzioni).**

Per la fase di raccolta dei dati bibliografici l’Amministrazione Comunale, dal canto suo, ha fornito il materiale a sua disposizione, consistente essenzialmente, oltre che nelle previsioni di piano, nella cartografia di base, in studi e relazioni precedentemente eseguiti. Sono stati inoltre analizzati i dati relativi alle frane storiche che hanno interessato in passato il territorio di Monasterolo del Castello e quelli limitrofi, le indagini geologico-idrogeologico-geotecniche effettuate e tutte quelle conoscenze storiche legate alla gestione delle risorse ambientali che risultano di fondamentale importanza per il corretto svolgimento del lavoro.

Sono stati consultati e verificati gli studi generali esistenti, prodotti dall’Autorità di Bacino per il Fiume Po nell’ambito del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI), la Carta dei dissesti della Regione Lombardia e l’Inventario dei movimenti franosi (IFFI), le tavole di riferimento del Piano Territoriale Provinciale (PTCP), nonché la cartografia geologica e geomorfologica prodotta dalla ex Comunità Montana della Valle Cavallina (ora confluita nella Comunità Montana dei Laghi Bergamaschi).

5 INQUADRAMENTO TERRITORIALE



Il Comune di Monasterolo del Castello – nella media Val Cavallina – occupa la costiera meridionale sinistra del Lago di Endine, da dove questo assume una direzione NE-SO, in corrispondenza della località Moj, fino all’emissario, al Fiume Cherio, e a un tratto della piana alluvionale dello stesso fino alla frazione di Brione.

La regolarità della linea di riva è interrotta solo dal grande delta su cui sorge il paese di Monasterolo

e che costituisce l’elemento di maggiore interesse da un punto di vista morfologico dell’intero territorio comunale, nonché una valenza ambientale di grande pregio nell’ambiente lacustre.

Alle spalle del paese il confine comunale sale fino allo spartiacque con la più meridionale Valle di Grone – S. Antonio, dal M. Ballerino (1275 m) al M. Gremalto (1322 m), alla punta con il ripetitore televisivo (1322 m). Da qui la linea spartiacque continua, affacciata sull’alta Valle di Adrara, con il M. Foppa (1264 m), il Colle di Caf (1242 m), una punta di quota 1295 m, ed infine scende al Coletto (1279 m), che mette in comunicazione la Valle di Torrezzo, in territorio di Monasterolo, con la Valle di Fonteno, appartenente ormai al bacino idrografico del Lago d’Iseo. Dal Coletto il confine comunale si abbassa fino a circa quota 1000, alla base delle pareti rocciose del versante occidentale del M. Torrezzo (1378 m), per riportarsi infine nuovamente sullo spartiacque con la Valle dei Cervi e la valle che sbocca alla località Pura, al Roccolo di Gazini (1104 m) e al Corno Vadul, da dove poi scende direttamente verso Ovest sulla località Moj.

6 CENNI DI CLIMATOLOGIA

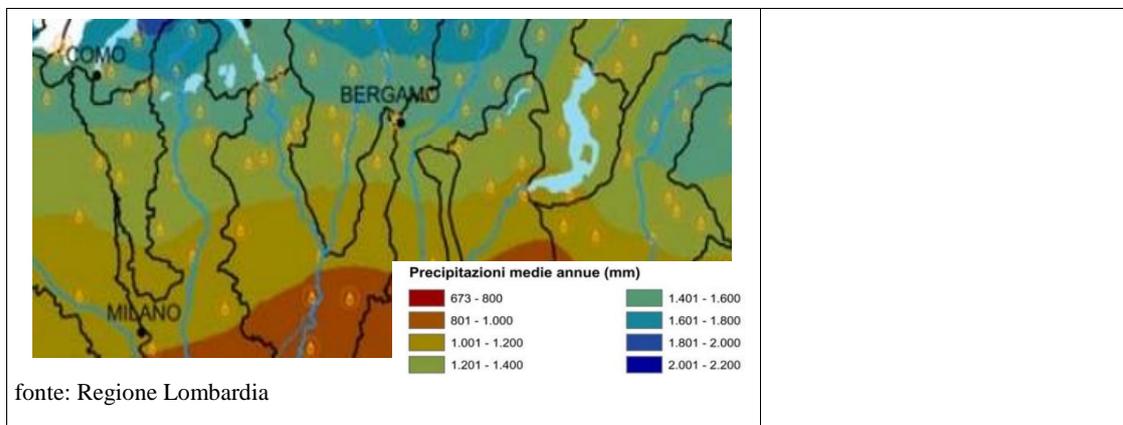
Lo studio del territorio non può prescindere dalle conoscenze relative alla situazione climatologica dello stesso per l'importanza più volte dimostrata sia per i tragici eventi che si susseguono con sempre più incalzante frequenza e gravità, sia per gli aspetti legati all'approvvigionamento idrico e infine per quanto attiene allo smaltimento e regolazione delle acque superficiali anche di utilizzo urbano.

A seguito di ciò si impone seriamente che per ogni territorio, la pianificazione si basi anche sulla conoscenza dei valori di temperatura, dei giorni di gelo, dei valori delle precipitazioni medie, minime, massime annue e delle precipitazioni brevi ed intense.

La conoscenza di periodi siccitosi o particolarmente piovosi che possono ricorrere nell'intervallo di una vita umana, può sicuramente costituire un valido supporto per la pianificazione territoriale in tutte le sue sfaccettature.

Seguendo la definizione di clima data da Strahler (1970) e cioè che il clima è la composizione caratteristica dell'atmosfera risultante da lunghi periodi di ripetute osservazioni, dedotta non solo dall'analisi dei valori medi, ma anche di quelli che si discostano da questi ultimi e dall'esame delle possibilità di ricorrenza di eventi particolari, ci si è sforzati di raccogliere la serie di osservazioni riferite ad un periodo sufficientemente lungo per ottenere un quadro significativo del fenomeno in studio.

I dati disponibili si riferiscono a serie pluriennali di osservazioni, rilevate in stazioni istituite dal Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici o passate in carico allo stesso nei primi decenni di questo secolo dopo essere appartenute ad osservatori locali



Le presenti note fanno riferimento in particolare alla “relazione sugli aspetti climatici” allegata al progetto di cartografia geoambientale, redatta a cura del Dott. Geol. C. Trovenzi; ulteriori verifiche sono state possibili dalla consultazione della “carta delle precipitazioni medie, minime e massime annue del territorio alpino lombardo”, a cura del Dott. Geol. M. Ceriani e del Dott. M. Carelli.

Sul territorio di Monasterolo del Castello non hanno mai direttamente operato stazioni di rilevamento dei parametri climatici, alcune di esse tuttavia ricadono nell’ambito del territorio della ex Comunità Montana Valle Cavallina; il territorio di Monasterolo del Castello è collocato proprio tra le stazioni di Mologno e Endine.

Altre stazioni, ubicate all’esterno del territorio della ex C.M. Val Cavallina, ma in ambiti non lontani da Monasterolo del Castello, sono quelle di Adrara S. Martino e di Parzanica.

I periodi di osservazione si riferiscono a valori annui mensili.

Per intervalli giornalieri le serie a disposizione sono più ridotte in quanto i dati non sono stati sempre pubblicati. Per le tre stazioni elencate, inoltre, non vi sono misure per le piogge brevi e intense.

Non vi sono dati utilizzabili nemmeno per quanto riguarda il settore termica atmosferica. Si tratta di valori frammentari e pertanto inadeguati a dare una caratterizzazione attendibile delle condizioni termiche. Una stazione meteorologica ha comunque operato anche a Monasterolo del Castello, sul versante opposto del Lago di Endine, nel periodo tra il 1973 e il 1978, rilevando, oltre alle precipitazioni, anche la temperatura e le caratteristiche del vento.

Precipitazioni

Dall'esame dell'elenco delle stazioni di rilevazione prima riportato risulta come esse ricadano tutte oltre i confini dell'area oggetto d'indagine; sono state considerate per avere una definizione areale del fenomeno.

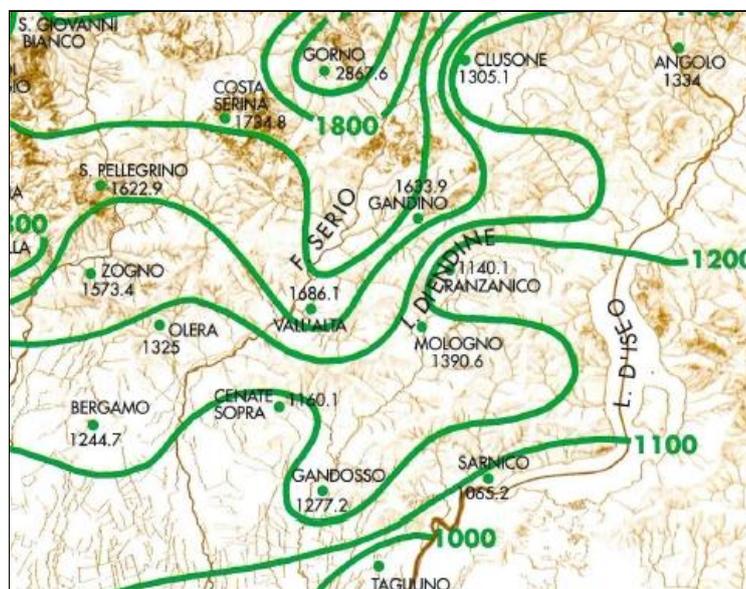
Le stazioni sono corredate di un periodo di osservazioni continuo e di durata tale da poter ottenere risultati più che significativi dell'andamento del fenomeno.

La seguente tabella riporta, per ogni stazione, il corrispondente valore della media annua di precipitazioni e la precipitazione massima giornaliera.

	Quota (m)	Inizio	Fine	Anni	Media	Min	Max
Mologno	350	1916	1974	58	1424,9	745,0	2339,0
Endine Gaiano	400	1921	1983	55	1499,2	591,0	3109,0
Cenate Sopra	330	1921	1975	55	1217,9	538,0	2128,0
Adrara S. M.	335	1921	1944	24	1256,7	712,0	2012,0

Dalla relazione climatologica allegata al progetto di cartografia geoambientale della ex C.M. Val Cavallina, risulta che la stazione di Cenate Sopra è stata caratterizzata da una piovosità massima giornaliera pari a 140 mm, registrata il 31 agosto 1930; l'annata più piovosa è risultata il 1937 con 2128 mm di pioggia, caduti in 98 giorni, mentre l'annata più asciutta è stata il 1952 con 538 mm di pioggia, caduti in un totale di 56 giorni.

La stazione di Mologno (Casazza) ha avuto una piovosità massima giornaliera pari a 140 mm il giorno 28 agosto 1963; l'annata più piovosa è stato ancora il 1937, con 2339 mm di pioggia, caduti in 110 giorni, mentre l'anno meno piovoso è stato il 1921, con 745 mm di pioggia caduti in 61 giorni.



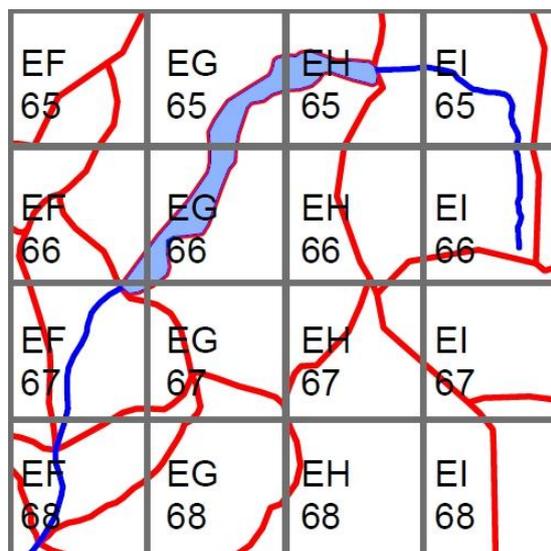
Carta delle isoiete annue (Fonte: Storia Economica e Sociale di Bergamo)

La stazione di Endine ha registrato una piovosità massima giornaliera pari a 138 mm il 17 ottobre 1960; l'anno più piovoso è stato il 1939, con 3109 mm di pioggia, caduti in 98 giorni.

In tutti i casi i massimi mensili sono concentrati nei mesi di maggio e giugno (140-160 mm), anche se valori elevati di precipitazioni possono riscontrarsi anche tra luglio-agosto (130-150 mm) e ottobre-novembre (120-140 mm); durante i mesi invernali l'entità delle piogge rimane su valori minimi (in media 50-80 mm tra dicembre e febbraio).

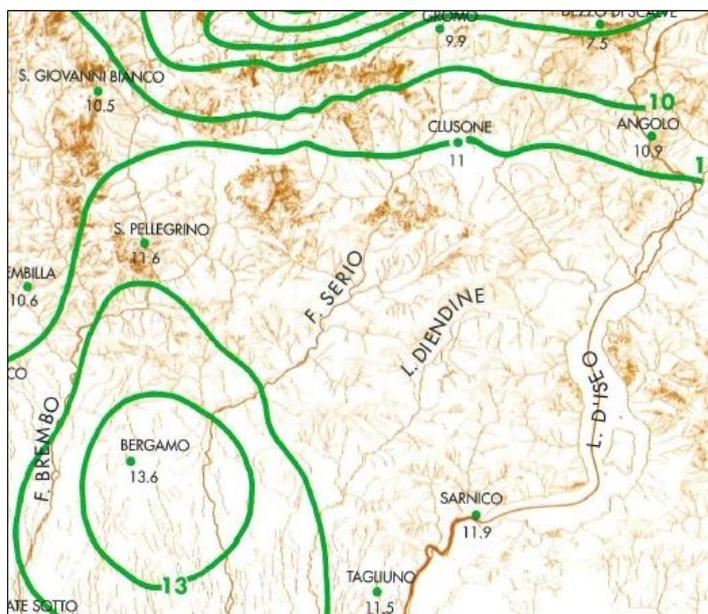
Non essendovi, all'interno del bacino del Cherio, stazioni pluviografiche in grado di registrare le piogge intense, ci si deve necessariamente riferire a quanto rilevato per le precipitazioni massime nell'ambito giornaliero per le stazioni di Bergamo, Clusone e Gorno.

Un utile strumento operativo è stato recentemente predisposto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po: nell'ambito della "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica", l'intero territorio regionale è stato suddiviso in celle che rappresentano la distribuzione spaziale delle precipitazioni intense, ottenute elaborando tutte le informazioni relative alle stazioni pluviografiche. Per ciascuna cella del reticolo chilometrico di riferimento sono poi stati determinati i "parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni".



Temperature

Gli unici riferimenti per le temperature sono i dati disponibili per la stazione di Bergamo-Orio, rilevati per un periodo di tempo compreso tra il 1959 e il 1982, ma piuttosto distante dal territorio considerato, e la stazione di Monasterolo del Castello, che tuttavia ha operato su un arco di tempo molto limitato (1973-1978).



Carta delle isoterme annue (Fonte: Storia Economica e Sociale di Bergamo)

minimo assoluto di -9°C in dicembre; le medie massime mensili di luglio e agosto risultano rispettivamente di $30,2^{\circ}\text{C}$ e di $29,5^{\circ}\text{C}$; le medie minime mensili di dicembre e gennaio sono rispettivamente di $-4,7^{\circ}\text{C}$ e di $-4,9^{\circ}\text{C}$. Le medie mensili annuali risultano, per Monasterolo del Castello, pari a 16°C .

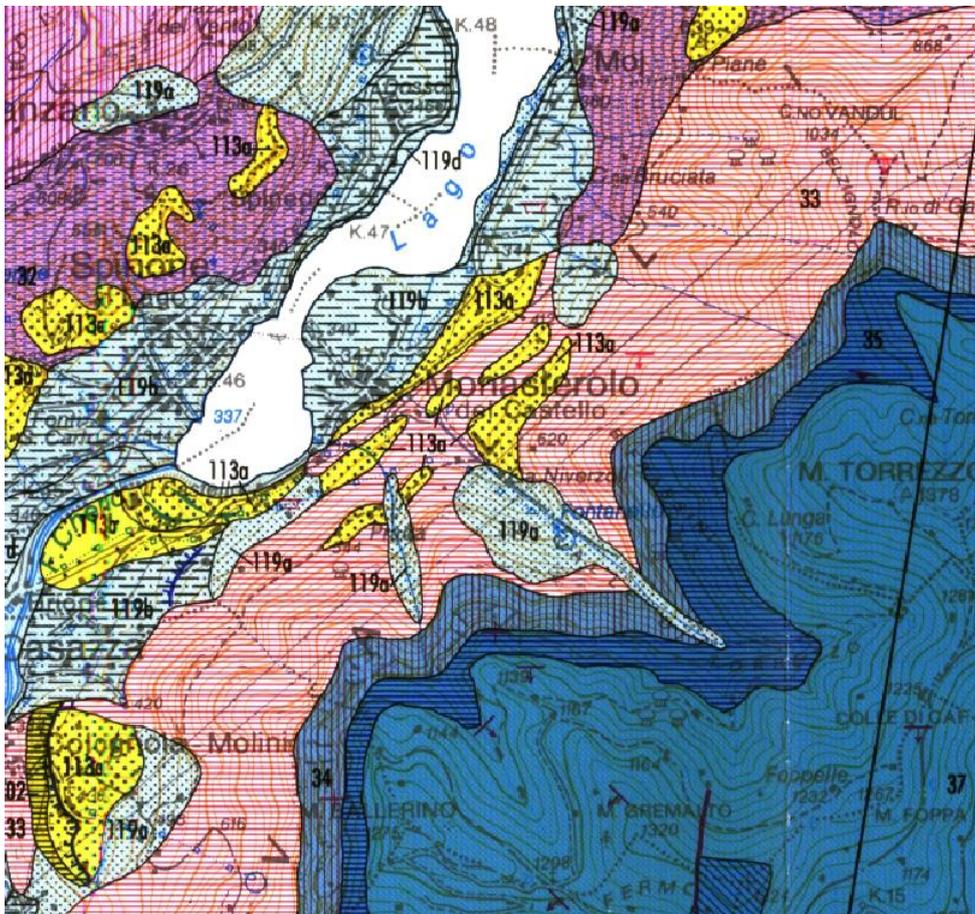
Alla stazione di Bergamo-Orio è stata rilevata una temperatura media annua pari a $12,3^{\circ}\text{C}$; i mesi più caldi sono luglio e agosto e il mese più freddo risulta gennaio.

Ciò risulta confermato anche per Monasterolo del Castello, dove è stato rilevato un massimo assoluto di $34,1^{\circ}\text{C}$ in agosto ed un

7 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

Nella sezione di valle presa in considerazione, le rocce affioranti appartengono a formazioni prevalentemente calcaree, calcareo-marnose e calcareo-dolomitiche depositatesi dal Retico al Lias medio, al passaggio tra Triassico e Giurassico, all'incirca tra 210 e 170 milioni di anni fa.

Da un punto di vista strutturale, invece, esse appartengono all'insieme delle Alpi Meridionali – dal tipico stile tettonico a pieghe, pieghe-faglie e scaglie embricate – e più precisamente alla “zona delle Prealpi Bergamasche”. Quest'ultima è caratterizzata, nel settore prospiciente la pianura, da rocce piegate in anticlinali e sinclinali con asse



orientato, nel complesso, da oriente ad occidente.

Ciò che vediamo oggi in corrispondenza del Lago di Endine è una valle ampia, dalla tipica forma a truogolo dovuta alla escavazione glaciale, favorita qui anche dalla

presenza di rocce tenere, facilmente erodibili, quali le argilliti che compaiono soprattutto sulla sponda occidentale del lago, tra Brianzano e Casazza. Tali argilliti si presentano poi inclinate a franapoggio, dando origine ad una morfologia dolce, adatta alle coltivazioni e agli insediamenti umani. Ciò tuttavia non vale per la sponda opposta, quella orientale - di Monasterolo -, dove gli strati, in parte argillosi solo in basso, poi calcarei e calcareo-dolomitici più in alto, sono invece a reggipoggio, inclinati di circa 10°-20°, presentando così all'azione degli agenti erosivi solo le testate degli strati. Su questo stesso versante, quindi, proprio il particolare assetto strutturale, dovuto alla presenza di formazioni sedimentarie che alternano strati più "duri" a strati più "teneri", con giacitura quasi orizzontale, ha permesso ai processi erosivi di operare in maniera selettiva: si sono così formati versanti "a gradinata", in cui gli strati più duri, più resistenti, formano pareti a cui si interpongono i pendii meno inclinati originatisi dalla degradazione degli strati più teneri.

Sul versante che dal lago sale al M. Torrezzo sono dunque evidenti piccole pareti formatesi proprio dove affiorano i calcari più massicci, in grossi banchi o a stratificazione indistinta. In corrispondenza di queste balze spesso si impostano cascatelle: su una di esse, in Val di Torrezzo, la turbolenza dell'acqua ha provocato la precipitazione dei carbonati, dando origine ad un deposito travertinoso.

Più in alto, assume rilevante evidenza morfologica la grande parete calcareo-dolomitica, alta mediamente 100-150 metri, che si segue per diversi chilometri sul lato orientale della valle e che piega bruscamente in basso formando una piega a ginocchio poco a Sud di Colognola (Casazza). Questa parete è stata ed è tuttora intensamente sottoposta ai processi di degradazione degli agenti meteorici, i quali ne hanno provocato la progressiva frantumazione in frammenti delle più varie dimensioni (grossi massi si trovano per esempio nei dintorni del Fontanello) che sono andati a formare estese coperture detritiche con spessori più o meno rilevanti alla base delle pareti rocciose o concentrate nell'alveo dei torrenti, in particolare in Val di Torrezzo e in Val Spirola, ma anche nella Valle del Colle e di Bosco Gromo. Recentemente, nel Gennaio 2000, una grossa frana si è staccata dalla parete destra della Val di Torrezzo, all'altezza del terrapieno della Madonna del Gerù, interrompendo la strada di accesso alla parte alta della valle con un accumulo di grossi massi valutabile dell'ordine dei 6-7000 mc.

Il fenomeno di degradazione dei versanti assume in Val di Torrezzo dimensioni vistose tra circa 700 e 800 m di quota: è il cosiddetto “Gerù”, un esteso ghiaione, a tratti solo parzialmente colonizzato dalla vegetazione o addirittura non rivestito dal bosco (per esempio a monte della Cappelletta e del piccolo rifugio degli Alpini), alla cui “mobilità” ci si è opposti con una serie di graticciate ai lati della valle per frenare l’alimentazione dalle pareti e con un imponente anfiteatro di gabbionate a sbarrare la valle stessa. Più a monte, per il tratto interessante il ghiaione, le acque meteoriche corrono in alvei talora mal definiti, contribuendo a rimobilizzare pericolosamente il materiale sciolto, a erodere lembi di sponda, ad accumulare disordinatamente ciottoli, terriccio e alberi sradicati, come è successo ripetutamente nel 1979 e nel 1997.

Nell’alveo del Torrente Torrezzo, tuttavia, l’acqua non è sempre presente in superficie: data infatti l’elevata permeabilità della copertura detritica essa, a circa 880 m di quota, si insinua al di sotto della stessa e, scorrendo sul substrato roccioso, ricompare solo a 595 m di quota, dando origine alla sorgente del Fontanello.

L’abbondanza di materiale a disposizione nelle due valli di Spirola e di Torrezzo – quest’ultima la più ampia tra quelle che si aprono sull’intero specchio lacustre – ha consentito ai torrenti che le percorrono (favoriti anche dall’intensa azione erosiva verificatasi dopo il ritiro glaciale) la costruzione dei due grandi delta lacustri giustapposti su cui sorge il paese di Monasterolo. Questi due delta, ora definitivamente assestati e ormai considerabili come un unico elemento morfologico, per dimensioni ed importanza non hanno pari in tutto il bacino del Lago di Endine. Il loro progressivo accrescimento ha portato ad una strozzatura tra Monasterolo e Spinone che ha provocato la divisione del lago quasi in due bacini distinti.

Sicuramente meno appariscenti, ma non per questo meno rilevanti, anche dal punto di vista delle dimensioni, sono i coni di deiezione la cui crescita l’uno accanto all’altro ha favorito il definirsi del versante a dolce pendenza compreso tra il nuovo insediamento alla Tribulina del Legnaro (loc. Legner) e la località Moj; sono tutti coni alimentati dalle vallette, profondamente incise, aventi origine dal crinale M. Torrezzo – Corno Vadul. Tra queste la più importante è la valle del Colle, la cui testata, come già per le valli di Torrezzo e Spirola, si spinge oltre l’alta parete calcareo-dolomitica che invece chiude a monte le vallette minori. Tutti questi edifici deltizi sono stati messi in posto

a partire dal ritiro, circa 10.000 anni fa, dei ghiacciai dell'ultima glaciazione che occupavano la conca del lago giungendo fino all'attuale collina del Castello. A valle di questa, e quindi certamente più antico dei precedenti, è da segnalare un altro cono di deiezione formatosi allo sbocco della valletta che scende dal M. Ballerino e che funge da confine comunale con Casazza.

La parete calcareo-dolomitica divide praticamente il territorio comunale in due ambiti completamente diversi, sia da un punto di vista morfologico che cronostratigrafico. Infatti, le rocce che affiorano al di sopra di essa – calcari, calcari marnosi, calcari con selce – sono tutte decisamente più recenti, di età Giurassica, sono state sottoposte a processi morfogenetici diversi (es. non hanno subito l'azione erosiva glaciale) e quindi hanno dato origine a forme del territorio diverse da quelle presenti alle quote più basse. Prevalgono verso l'alto praterie impostate su un sottile strato di eluvio, dovuto all'alterazione superficiale dei sottostanti calcari marnosi tipici in tutta l'area dei Colli di S. Fermo; essi danno origine ad ampi dossi erbosi, cupoliformi, intervallati da larghe selle che mettono in facile comunicazione le valli di Spirola e di Torrezzo con le vallate contigue: un ambiente, comunque, decisamente “montano”.

Tutte queste rocce sono sensibili, sia pure in misura diversa, all'azione di soluzione del carbonato di calcio da parte delle acque meteoriche e presentano quindi fenomeni sia pur modesti di carsismo soprattutto superficiale, quali doline o, a livello di affioramento, piccoli solchi o fori circolari. Tuttavia, in Val di Torrezzo, circa a quota 880, esiste una vera e propria cavità, aperta nei calcari selciferi, nota come Stampa di Pagà e contraddistinta nel Catalogo delle Grotte del Settore Bergamasco con la sigla Lo Bg 1370; è una cavità di dimensioni modeste, di facile accesso, con un salone lungo circa 40 m e un dislivello tra l'ingresso e il punto più profondo di circa 6 metri: il suo interesse è notevole, in quanto in essa sono stati rinvenuti frammenti di roccia staccatisi dalle pareti e dalla volta, ricchi di fossili.

8 STRATIGRAFIA DEL SUBSTRATO ROCCIOSO

Nell'ambito del territorio comunale di Monasterolo del Castello sono state riconosciute, dalla più antica alla più recente, le seguenti formazioni, collocate, dal

punto di vista cronostratigrafico, tra il Triassico e il Giurassico: esse formano sostanzialmente una regolare successione monoclinale, con giaciture comprese tra il suborizzontale e una debole immersione verso sud-est. Localmente, le pareti rocciose, e in particolare l'alta parete calcareo-dolomitica, sono interessate da sistemi di fratture che tendono a scomporre in blocchi gli affioramenti rocciosi.

Si forniscono anche alcune informazioni relative alle caratteristiche geomeccaniche degli ammassi rocciosi.

Argilliti di Riva di Solto

Si tratta di argilliti e argilliti marnose nere o grigio nerastre, carboniose, irregolarmente alternate con strati sottili di micriti nere ben stratificate.

Nell'area considerata questa formazione non affiora con i suoi caratteri più tipici, come per esempio sulla sponda opposta del lago, ma piuttosto mostra una transizione molto graduale con la formazione soprastante, con la quale non è possibile stabilire un limite netto. Un piccolo affioramento di argilliti, probabilmente il più alto, è visibile sul versante destro della Valle Spirola, presso Cà Niverzoli, circa a quota 530.

Dal punto di vista geomeccanico tale formazione è prevalentemente costituita da litotipi aventi caratteristiche geomeccaniche scadenti, spesso finemente scagliettati e facilmente alterabili. I fronti di scavo possono essere interessati da locali fenomeni di instabilità anche se in condizioni di assetto strutturale non sfavorevole, ma in particolare si possono creare situazioni di elevato rilascio superficiale; inoltre i dissesti tendono ad accentuarsi nel tempo a causa della facile alterabilità dei litotipi. In condizioni di assetto strutturale sfavorevole ogni tipo di intervento necessita di adeguate verifiche.

Calcare di Zu

Questa formazione è costituita da calcari micritici, talora marnosi, di colore grigio scuro e nero, a stratificazione ben netta, alternati nella parte inferiore con sottili intercalazioni di argilliti marnose nere e nella parte medio-superiore con grossi banchi

di biolititi a coralli. Sono proprio le bancate calcaree più massicce di questa formazione a dare origine a quelle pareti, sottolineate anche dalla vegetazione, che si vedono affiorare dai prati e dai boschi del medio versante di questo tratto di Val Cavallina e con maggiore evidenza lungo il corso del torrente della Val di Torrezzo nel suo tratto più basso, prima di sbucare dopo un'ultima cascata sul conoide di Monasterolo. Il limite superiore è molto ben evidente per il diverso risalto morfologico delle due formazioni che mette a contatto e dunque lo si può agevolmente collocare alla base della parete rocciosa che “fascia” con buona continuità le pendici del M. Torrezzo.

Per quanto riguarda gli aspetti geomeccanici, la presenza o l'alternanza di livelli o di interstrati pelitici condiziona in senso negativo le caratteristiche geomeccaniche con conseguente declassamento della qualità d'ammasso.

Laddove l'assetto strutturale è favorevole, non vi sono problemi di stabilità di pendio, sostegno di scavi e fondazione di edifici; viceversa laddove invece l'assetto strutturale è sfavorevole, va posta particolare attenzione all'apertura di scavi, che devono essere opportunamente sostenuti, ed alla fondazione di edifici. Vi è infatti la possibilità che gli strati carbonatici scivolino sugli orizzonti pelitici, anche su inclinazioni medio basse.

Dolomia a Conchodon

Si tratta di calcari e calcari dolomitici di colore chiaro a stratificazione in grossi banchi o indistinta, con i quali si chiude il ciclo triassico. Essi costituiscono l'alta parete che fa da elemento caratterizzante – dal punto di vista morfologico – di tutto il versante sinistro della Val Cavallina fino a Sud di Colognola di Casazza. Da queste pareti sono frequenti i distacchi di materiale che va ad alimentare le sottostanti fasce di detrito: testimoni di ciò sono le numerose rientranze, talora vere e proprie nicchie di distacco di frane di crollo, che ne segnano la superficie. Nel gennaio 2000 un'imponente massa rocciosa si è staccata dalla parete destra della valle, più o meno all'altezza del piazzale del piccolo rifugio degli Alpini, seppellendo al di sotto di massi enormi l'ultimo tratto della strada forestale che giungeva al rifugio e alla vicina Cappella.

Per quanto riguarda gli aspetti geomeccanici, in corrispondenza di pendii acclivi, tale formazione si presenta massiccia o con una tipica stratificazione a banchi metrici interessati da famiglie di discontinuità subverticali che originano scarpate in roccia dalle quali si possono originare crolli di dimensione varia, da metrica a decametrica. Questo fenomeno si verifica soprattutto laddove la giacitura della stratificazione è suborizzontale.

Laddove invece il pendio è meno inclinato e l'assetto strutturale è favorevole alla stabilità, non vi sono problemi di stabilità del pendio, sostegno di scavi e fondazione di edifici. Laddove invece l'assetto strutturale è sfavorevole, l'apertura di scavi con ampi fronti richiede una certa attenzione.

Calcari selciferi lombardi (Calcarea di Sedrina, Calcarea di Moltrasio)

Con il Giurassico si inizia la deposizione dei calcari, dapprima ancora massicci, poi più sottilmente stratificati, di colore grigio e con liste di selce chiara, del Calcarea di Sedrina e successivamente dei calcari scuri a noduli e liste di selce anch'essa scura della formazione del Calcarea di Moltrasio.

Questi litotipi affiorano sopra la parete di Dolomia a Conchodon, dando origine a versanti ancora aspri, in parte dirupati, generalmente ricoperti da una fitta vegetazione boschiva.

Per quanto riguarda gli aspetti geomeccanici laddove l'assetto strutturale è favorevole (es. giacitura a reggipoggio, scarsa o nulla fratturazione), non vi sono problemi di stabilità del pendio, sostegno dei fronti di scavo e fondazione di edifici.

Laddove invece l'assetto strutturale è sfavorevole, se soprattutto in presenza di interstrati marnosi, l'apertura di scavi con ampi fronti richiede una certa attenzione (è opportuna l'analisi preliminare della stabilità del previsto fronte di scavo).

Calcare di Domaro (Medolo)

Si tratta di una successione regolarmente stratificata di calcari e calcari marnosi grigi e bruni, talora con letti e noduli di selce, fittamente intercalati a marne scagliose grigio-verdastre. Nonostante la scarsa degradabilità, che ha tuttavia permesso il formarsi di uno strato di eluvio più o meno consistente e grazie anche alla minore asperità dei versanti, al di sopra dei 1100 metri di quota, su tutta l'area di affioramento di questa formazione sono stati impostati prati e pascoli un tempo intensamente sfruttati e solo recentemente in parte rimboschiti (Val Spirola). E' inoltre da segnalare l'elevata carsificabilità delle rocce di questa formazione, in particolare in prossimità dello spartiacque con la Valle di Adrara, che si esplica mediante depressioni o doline oppure con campi solcati e scanalature sulla superficie degli strati.

Anche in questo caso, per quanto riguarda gli aspetti geomeccanici laddove l'assetto strutturale è favorevole (es. giacitura a reggipoggio, scarsa o nulla fratturazione), non vi sono problemi di stabilità del pendio, sostegno dei fronti di scavo e fondazione di edifici. Laddove invece l'assetto strutturale è sfavorevole, se soprattutto in presenza di interstrati marnosi, l'apertura di scavi con ampi fronti richiede una certa attenzione (è opportuna l'analisi preliminare della stabilità del previsto fronte di scavo).

9 CARATTERI LITOTECNICI DI RIFERIMENTO

Utilizzando i dati ricavati da un approfondito esame della carta geolitologica e dalle osservazioni in loco, le rocce e i terreni sono stati sommariamente classificati anche in base alle loro caratteristiche litotecniche, intese in senso generale e, data la finalità del lavoro, senza poter entrare in maggiori dettagli, demandati, se necessario, ad indagini successive, più puntuali.

Per quanto riguarda in particolare i terreni, sono state prese in considerazione nella totalità della loro superficie le coperture detritiche (distinte in base al grado di colonizzazione vegetale) e moreniche, caratterizzate in genere da spessori rilevanti; al contrario, i depositi eluviali, di spessore più ridotto, sono stati rappresentati solo sui

versanti dove si è riscontrata la presenza di fenomeni carsici, per cui localmente gli spessori possono aumentare e formare “sacche” di materiali limoso-argillosi con scadenti caratteristiche geomeccaniche.

Ad ogni gruppo litologico sono stati associati i valori caratteristici dei parametri di riferimento: angolo di attrito interno, coesione e capacità portante per i terreni; indice RQD, basato sul livello di fratturazione, per le rocce.

I valori indicati sono naturalmente solo di orientamento e non sostituiscono assolutamente le indagini puntuali e gli approfondimenti sempre necessari per i singoli progetti, secondo le indicazioni di legge attualmente vigenti.

Alluvioni recenti

Ghiaie debolmente sabbiose e limose e clasti arrotondati, con drenaggio da buono a molto buono.

Angolo di attrito = 30-35 gradi; coesione = 0 t/mq; $Qa = 1,5-2,5$ kg/cmq.

.Detrito colonizzato

Ghiaie a clasti spigolosi provenienti dalla disgregazione delle pareti rocciose soprastanti. Si presentano colonizzate da una continua copertura vegetale costituita in genere da bosco ceduo; tuttavia localmente anche all'interno del bosco i detriti si presentano pressochè sciolti.

Angolo di attrito = 30°-35°; $Qa = 1,5-2,5$ kg/cmq.

.Detrito parzialmente colonizzato

Coltri detritiche in via di colonizzazione da parte della copertura boschiva; localmente la falda detritica è ancora alimentata dai clasti provenienti dalla disgregazione delle pareti rocciose.

Angolo d'attrito = 30°-35°.

.Detrito non colonizzato

Si tratta dei depositi detritici, costituiti da ghiaie e blocchi spigolosi, ubicati alla base delle pareti rocciose ancora in attiva fase di disgregazione.

Angolo d'attrito = 30°-35°

.Detrito cementato

In questo caso, pur avendo le stesse caratteristiche di formazione e di costituzione dei precedenti, il detrito cementato assicura una maggiore stabilità, grazie alla cementazione dei clasti ad opera delle acque circolanti.

Angolo di attrito = 30°-45°; $Qa = 1,8-3,7 \text{ kg/cmq}$.

.Cono di deiezione/accumulo di paleofrana

Sono i classici accumuli di materiali alluvionali posti allo sbocco delle valli secondarie nella principale. Problemi di stabilità possono essere connessi alla presenza, tra i materiali generalmente grossolani, di letti e lenti a granulometria fine e scadenti caratteristiche meccaniche.

Angolo d'attrito = 28°-35°; $Qa = 1,4-2,8 \text{ kg/cmq}$.

.Deposito eluviale

Terreni argilloso-limosi con minori o assenti sabbie e ghiaie; drenaggio da buono a mediocre. Si tratta di terreni di spessore generalmente ridotto, e che, una volta prodotti in seguito all'alterazione del substrato roccioso, non hanno subito processi di trasporto ad opera della gravità e delle acque di dilavamento superficiali.

Angolo d'attrito = 25-30 gradi; coesione = 0-3 t/mq; $Qa = 0,5-1,5 \text{ kg/mq}$.

.Deposito glaciale (morenico)

E' un deposito costituito da ghiaie grossolane e ciottoli con sabbie, limi e argille che possono condizionare anche pesantemente le caratteristiche meccaniche dei terreni, che dovranno essere dunque puntualmente verificate. Depositi morenici ricoprono gran parte del versante, con spessori variabili.

Angolo di attrito = 23°-32°; $Qa = 0,8-1,5 \text{ kg/cmq}$.

.Deposito lacustre (localmente misto a riporti)

Sono terreni prevalentemente argillosi derivanti dal progressivo interrimento di acque basse; possiedono di norma scadenti caratteristiche geomeccaniche e si trovano generalmente in prossimità delle rive del Lago di Endine. Ai depositi lacustri si sovrappongono spesso riporti antropici, di diversa natura, che hanno talvolta modificato la morfologia delle sponde. Sono terreni che debbono sempre essere investigati prima di essere sottoposti ad edificazione.

Angolo di attrito = 23°-30°; $Q_a = 0,5-1,5 \text{ kg/cmq}$.

Per le formazioni rocciose del substrato si sono inoltre stabilite delle caratteristiche geomeccaniche di riferimento, ottenute sia da stime eseguite direttamente sugli affioramenti, sia per confronto con quanto riportato per le stesse formazioni in relazioni riguardanti lo scavo di gallerie o la stabilità di vani sotterranei. Sono così state raggruppate le seguenti formazioni:

Formazioni di riferimento	RQD	Qa
Calcere di Moltrasio Calcere di Domaro	40-90%	3-20 kg/cmq
Calcere di Zu	35-65%	3 – 10 kg/cmq
Dolomia a Conchodon Calcere di Sedrina	50- 100%	7-35 kg/cmq
Argilliti di Riva di Solto	20-40%	0-1 kg/cmq

10 TESTIMONIANZE PALEONTOLOGICHE

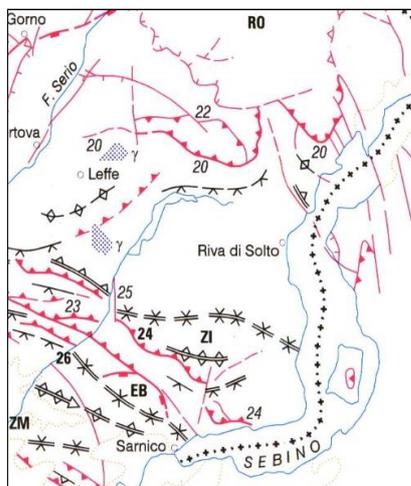
Uno studio accurato sulle testimonianze paleontologiche rinvenute anche sul territorio di Monasterolo del Castello si deve ad A. Allasinaz che agli inizi degli anni '60 del secolo scorso raccolse e descrisse una cinquantina di specie “distribuite nelle formazioni retiche che costituiscono il versante nord e nord-ovest della Conca dei Fondi e del M. Torrezzo”.

Per quanto riguarda Monasterolo, l'autore segnala alcune località fossilifere:

- sopra Cascina Bruciata, a quota 575 metri, lungo il sentiero che conduce da Stalla Bozzarella a Monasterolo, in banchi calcarei sono state rinvenute specie comuni del Retico inferiore, quali *Modiolus adrarae* e *Modiolus orbicularis*;
- poco sotto il sentiero principale che unisca Cascina Bruciata a Monasterolo, a quota 475, in loc. Tribulina del Legnaro, poco prima del canale della Valle del Colle, sono stati rinvenuti esemplari di *Pinna miliaria*, un bivalve segnalato anche in Valcava e in Valle Imagna;
- sotto il sentiero che da Monasterolo conduce a Cà Niverzoli, in prossimità di Ronchello, è stata rinvenuta, tra altre specie, *Rhaetavicula contorta*, che è considerata la specie guida per eccellenza di tutto il Retico;
- a quota 650, in Val Spirola, in banchi calcarei grigio chiari sono stati rinvenuti *Rhaetina gregaria*, anch'essa tipica delle formazioni retiche, e *Pteria buvingeri*, qui segnalata per la prima volta in Lombardia; altri fossili sono stati ritrovati a quota 760 in banchi di calcare scheggioso;
- a monte della Tribulina del Legnaro, risalendo la Valle del Colle, a quota 1010, in banchi calcarei grigi compatti sottostanti alla parete, è stato rinvenuto per la prima volta in Italia un esemplare rotto e incompleto di *Megalodon cf. scutatus*.

11 CENNI DI TETTONICA

Il quadro tettonico complessivo della Valle Cavallina mostra una situazione relativamente semplice nel settore a nord di Casazza, dove sono stati riconosciuti pochi, ma importanti, lineamenti strutturali, e più complessa nel settore meridionale, caratterizzato da ripetuti sovrascorrimenti e da una successione di pieghe che poi scompaiono sotto i sedimenti alluvionali della pianura.



Carta Geologica della Provincia di Bergamo – Schema strutturale

Il settore settentrionale è caratterizzato in particolare dalla presenza, per quanto marginale, del cosiddetto sovrascorrimento di Sovere, dove la Dolomia Principale si è sovrapposta al Calcarea di Zorzino (Monte Grione).

A sud del bacino del lago di Endine prevalgono grandi pieghe rovesciate (sinclinale di Gaverina, Grone-S.Fermo) addossate alla zona dei sovrascorrimenti (pieghe-faglie e faglie inverse) del Monte Misma, del Monte Pranzà e del Monte Bronzone, che limitano a settentrione la sottostante

successione cretacea, con pieghe anticlinali e sinclinali (anticlinale di Zandobbio). Si ricordano, in conclusione, la faglia N-S tra Grone e Casazza, e le intrusioni porfirittiche di Gaverina.

Il territorio di Monasterolo del Castello non è interessato dal passaggio di faglie o linee tettoniche di importanza sovralocale; una elevata fratturazione comunque può interessare le bancate calcaree della Formazione della Dolomia a Conchodon, favorendo una naturale predisposizione al distacco di blocchi rocciosi.

Le formazioni rocciose si susseguono, dal basso verso l'alto, con una disposizione sostanzialmente monoclinale, con giacitura regolare, a tratti suborizzontale o con modesta inclinazione verso est; solo nel settore settentrionale, verso il confine con il Comune di Endine Gaiano, almeno localmente si possono osservare inclinazioni più accentuate delle stratificazioni rocciose, con immersione verso sud o sud-est.

12 IL QUATERNARIO E LE GLACIAZIONI

La Valle Cavallina presenta una sezione trasversale caratteristica delle valli modellate dalle masse glaciali, cosiddetta ad “U”, soprattutto nel tratto più settentrionale e fino a Casazza; in questo tratto l’azione dei ghiacci è stata facilitata, in particolare sul versante destro della valle, dalla presenza di rocce argillitiche, più facilmente erodibili: si è così formata l’ampia svasatura tra Endine e Monasterolo del Castello. Oltre Casazza e fino a Trescore, la valle si fa più stretta e più numerose sono le convalle laterali. Anche a sud di Casazza si riconoscono morfologie glaciali, ma l’azione dei ghiacciai ha agito diversamente rispetto alla porzione più settentrionale della valle, sia perché il ghiacciaio, scendendo a valle, riduceva via via la sua potenza e l’azione

erosiva sui fianchi della valle, sia per la presenza di rocce più difficilmente erodibili.

La Valle Cavallina deve dunque in buona parte all’azione dei ghiacci il suo aspetto attuale, così come tutte le altre grandi vallate alpine.

Nel corso dell’ultimo milione di anni il clima si è raffreddato più volte favorendo la discesa lungo le antiche vallate di imponenti masse glaciali. I periodi freddi, prolungatisi anche per molte decine di migliaia di anni, vennero intercalati da periodi caldi, cosiddetti “interglaciali”, durante i quali i ghiacciai scomparvero del tutto.



da

S. Venzo, 1945

L'alternanza di periodi freddi e caldi, con il formarsi e lo sciogliersi dei ghiacci, favorì l'erosione degli antichi rilievi montuosi e il trasporto dei materiali verso valle e verso la pianura aperta da parte degli impetuosi torrenti formati dalle acque di scioglimento dei ghiacciai.

La Valle Cavallina venne percorsa più volte da ghiacciai provenienti dal bacino camuno; il ghiacciaio camuno scendeva lungo la valle principale insinuandosi lungo il solco dell'attuale lago d'Iseo per terminare in corrispondenza dell'attuale Franciacorta e tra Credaro e Paratico; un paio di lingue secondarie, trasfluendo dalle selle di Pianico e di Solto, si infilarono nelle attuali valli Borlezza e Cavallina. L'imponente massa glaciale ebbe probabilmente buon gioco ad erodere ed abbassare la cresta di spartiacque che doveva certamente chiudere a nord il bacino che ora è del Cherio e del lago di Endine: infatti la Valle Cavallina oggi non possiede una vera e propria "testata", ma si presenta come una sorta di "corridoio" aperto che collega la valle Borlezza e la Valle Camonica con la pianura.

La valle oggi conserva molte tracce dell'antica frequentazione glaciale e il loro studio ha permesso di ricostruire molte fasi di avanzata glaciale: per esempio, durante una delle fasi più antiche il ghiacciaio si fermò dapprima a Berzo e poi, in una fase più recente, a Grone; nel corso dell'ultima avanzata glaciale, che terminò circa 15.000 anni fa, esso giunse invece solo in corrispondenza del Castello di Monasterolo.

A testimoniare della sua presenza, oltre a depositi morenici sparsi un po' ovunque (Monasterolo del Castello, Monasterolo, Gaverina, Endine), il ghiacciaio ha lasciato alcune colline poco rilevate e dalla forma allungata, detti "cordoni morenici", che sono ancora particolarmente ben riconoscibili e conservati a Grone, a Colognola, al Castello di Monasterolo, a Fanovo e, con minore evidenza, a Berzo.

In particolare, la morena del Castello di Monasterolo chiude a valle lo specchio del Lago di Endine che, dunque, può essere considerato un lago glaciale vallivo di sbarramento morenico.

Grossi massi rinvenibili un po' ovunque (detti "massi erratici") spesso stanno a testimoniare l'altezza in sito della massa glaciale: si ricordano, tra gli altri, quelli sparsi su un piccolo terrazzo morfologico alle spalle di Monasterolo (Cà Niverzoli).

La presenza di depositi argillosi e torbosi, lacustri, tra Casazza e Grone, fa ritenere che un tempo il lago si estendesse verso Sud appunto fino a Grone: il tratto meridionale con il tempo si interrò probabilmente anche per essere stato separato dal corpo principale del lago dal grande accumulo di materiali alluvionali trasportati dal Torrente Drione e depositati allo sbocco della sua valle nella Valle Cavallina, formando l'imponente cono di deiezione su cui ora sorge l'area urbanizzata di Casazza.

Nel territorio di Monasterolo del Castello, sulle pendici occidentali del Monte Torrezzo, in corrispondenza di una serie di terrazzi morfologici disposti ad una quota media di circa 500-550 m s.l.m.,

si conservano ancora con una certa evidenza e continuità le testimonianze di una delle più antiche fasi glaciali, con depositi morenici e massi erratici che talvolta, seppure isolati, sono stati ritrovati anche a quote più alte; spesso si riconoscono blocchi e massi di origine morenica anche lungo il fondo della Valle di Torrezzo, ma generalmente fino ad un'altezza di poco superiore ai 500 metri.



Da S. Venzo, 1945 - in puntinato i depositi glaciali

Alle quote più basse, materiali che si possono attribuire

all'azione di trasporto e di deposito dei ghiacciai quaternari sono a tratti riconoscibili frammenti alla coltre detritica che costituisce il raccordo tra le pendici montuose e il declivio che conduce alla sponda lacustre.

Di notevole importanza, soprattutto per il loro valore testimoniale per la ricostruzione delle più recenti fasi di avanzata glaciale, sono i due piccoli cordoni morenici del Dosso di Brione, al confine con Casazza, e del Castello di Monasterolo; il primo è oggi

conservato parzialmente come un basso rilievo tondeggiante quasi fagocitato dalle costruzioni recenti; il secondo è molto meglio riconoscibile e noto, con la sua caratteristica forma allungata, per essere ancora inserito in un contesto paesaggistico particolarmente rilevante. Il cordone morenico del Castello inoltre costituisce lo sbarramento di chiusura del Lago di Endine, come un tempo probabilmente lo era anche il cordone morenico del Dosso di Brione; lo spazio pianeggiante tra i due cordoni morenici conserva nel sottosuolo terreni argillosi e torbosi, che richiamano le fasi di riempimento di un antico bacino lacustre.

Da segnalare, sia pure in mancanza di studi ed indagini più approfondite, la probabile esistenza di un terzo cordone morenico, più interno rispetto ai primi due, il cui andamento è segnato grosso modo dalla disposizione dell'antico nucleo di Monasterolo, collocato alla sommità di un rilievo allungato, dallo sbocco della Valle di Torrezzo fino alla Chiesa Parrocchiale; tale collinetta rappresenta la separazione dei due conoidi di deiezione delle valli di Spirola e di Torrezzo, i cui rispettivi corsi d'acqua non confluiscono l'uno nell'altro forse proprio a causa della barriera costituita da tale piccolo rilievo.

13 CENNI DI IDROGEOLOGIA

In questo capitolo sono raccolte le conoscenze riguardanti la circolazione idrica sotterranea. Tali informazioni possono essere utilizzate per la localizzazione, la gestione e la difesa, dal punto di vista della vulnerabilità, della risorsa idrica.

Tali conoscenze sono riassunte nella Carta idrogeologica e del sistema idrografico. Sulla carta, per quanto riguarda l'idrografia superficiale, sono stati distinti i corsi d'acqua perenni da quelli temporanei o stagionali e sono stati delimitati i bacini idrografici di ciascun affluente. Le sorgenti censite sul territorio comunale sono state riportate sulla carta idrogeologica, distinguendo tra le sorgenti non captate, quelle captate e quelle captate ad uso idropotabile. Inoltre sono ubicati i pozzi realizzati per la ricerca e lo sfruttamento delle acque minerali.

Il territorio comunale è stato suddiviso in zone omogenee dal punto di vista della conducibilità idraulica in funzione del terreno o della roccia individuata in affioramento. Pertanto si sono individuate le seguenti classi di permeabilità (le sigle in maiuscolo sono riferite alle rocce, e quelle in minuscolo ai terreni di copertura):

Classe di permeabilità	Sigla utilizzata	Valori di permeabilità (m/s)
Bassa	B/b	$K < 10^{-6}$
Media	M/m	$10^{-6} < k < 10^{-5}$
Elevata	E/e	$k > 10^{-5}$ per le rocce, $10^{-5} < k < 10^{-4}$ per i terreni
Molto elevata	me	$k > 10^{-4}$ per i terreni

Struttura idrogeologica

Per quanto riguarda la struttura idrogeologica del territorio comunale occorre distinguere innanzitutto tra acquiferi contenuti nei depositi superficiali e acquiferi contenuti nel substrato roccioso.

Acquiferi presenti nei depositi superficiali

Per quanto riguarda i depositi superficiali un'elevata capacità d'infiltrazione superficiale è presente in corrispondenza dei detriti di versante e dei depositi alluvionali antichi. Bassi valori di permeabilità sono invece attribuibili ai terreni pianeggianti posti a sud dello sbocco del Lago di Endine, caratterizzati dalla presenza di argille lacustri e torbe, che sostengono la falda freatica più superficiale a profondità anche minori di 2 metri.

La permeabilità dei depositi superficiali è comunque legata alle loro caratteristiche strutturali e granulometriche; pertanto a titolo puramente esemplificativo si riportano le seguenti informazioni di carattere bibliografico:

- 10^{-1} - 10^{-3} m/s: range valido per ghiaie e sabbie con ciottoli oppure ghiaie con sabbie, da sciolte a poco addensate, alle quali s'intercalano sottili livelli di conglomerati poco cementati;
- 10^{-3} - 10^{-5} m/s: valore indicativo di una permeabilità primaria di conglomerati poco compatti (a basso grado di cementazione);
- 10^{-4} - 10^{-6} m/s: per ghiaie sabbiose, debolmente limoso-argillose;
- 10^{-7} - 10^{-8} m/s: per sabbie ghiaiose-limoso-argillose.
- 10^{-8} - 10^{-10} m/s: per limi e argille, sabbie con limo ghiaioso-argillose o ghiaie con limo argilloso-sabbiose.

La suddivisione adottata per le diverse tipologie di depositi individuati è la seguente:

Classe di permeabilità	Valori di permeabilità (k=m/s)	Tipologia dei depositi superficiali
Bassa (b)	$k < 10^{-6}$	<ul style="list-style-type: none">• Depositi morenici antichi• Depositi lacustri
Media (m)	$10^{-5} < k < 10^{-6}$	<ul style="list-style-type: none">• Depositi alluvionali antichi terrazzati• Depositi detritici misti a depositi morenici
Elevata (e)	$10^{-4} < k < 10^{-5}$	<ul style="list-style-type: none">• Depositi di conoide
Molto elevata (me)	$k > 10^{-4}$	<ul style="list-style-type: none">• Depositi detritici di versante e macereti• Depositi alluvionali attuali• Materiali di riporto

Acquiferi presenti nel substrato roccioso

Occorre pensare che il valore della permeabilità riportato in carta, nelle zone dove affiora/subaffiora il substrato roccioso, non tiene conto dell'eventuale presenza in superficie della copertura detritica di natura eluviale, il cui spessore, tuttavia, è normalmente ridotto su tutto il territorio comunale. Tale scelta è legata alla discontinuità laterale che caratterizza tali depositi; solo localmente essi possono possedere spessori significativi.

Le rocce che costituiscono il substrato roccioso sono normalmente caratterizzate da una permeabilità primaria (legata cioè alla composizione stessa della roccia) da scarsa a nulla e da una permeabilità secondaria variabile a seconda della giacitura della stratificazione, del grado di fratturazione e della loro composizione chimica.

La suddivisione adottata per le formazioni rocciose che costituiscono il substrato è la seguente:

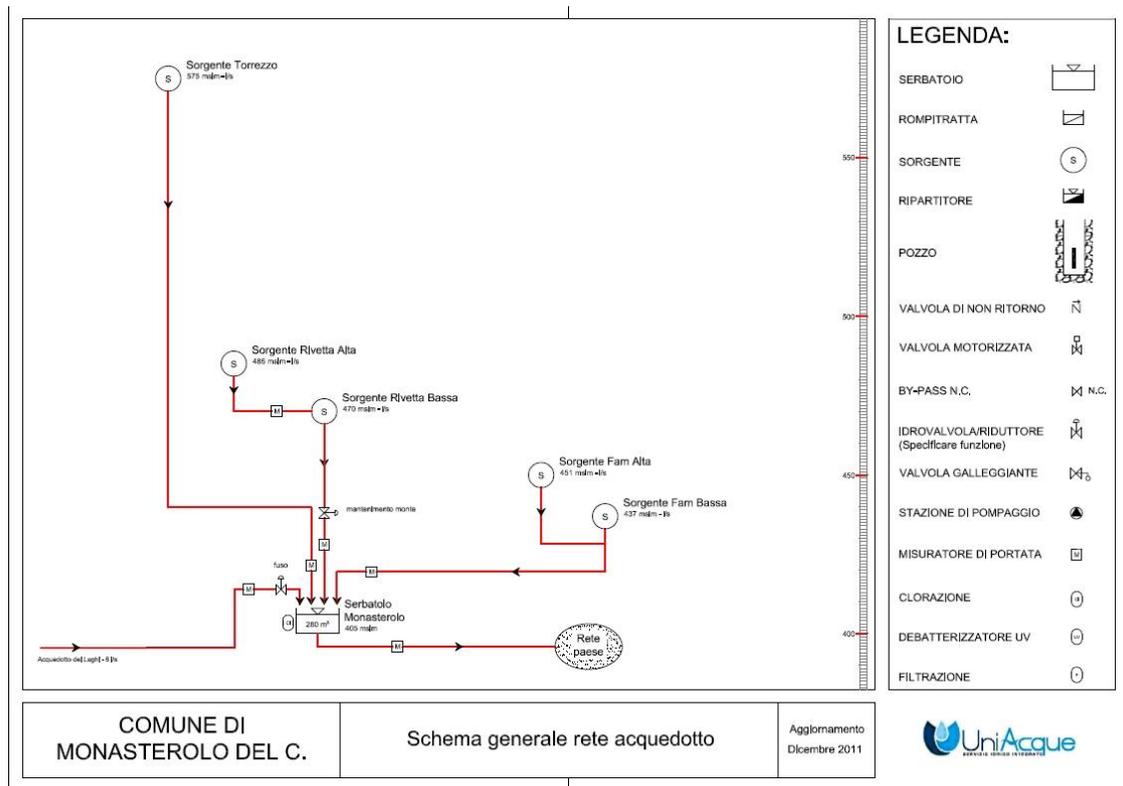
Classe di permeabilità	Formazioni sedimentarie
Bassa (B)	<ul style="list-style-type: none">• Calcarea di Zu (facies argillitico-marnosa)• Argillite di Riva di Solto
Media (M)	<ul style="list-style-type: none">• Calcarea di Moltrasio• Calcarea di Zu (facies calcarea)
Elevata (E)	<ul style="list-style-type: none">• Dolomia a Conchodon• Calcarea di Domaro• Calcarea di Sedrina

Fonti di approvvigionamento

L'acquedotto comunale di Monasterolo del Castello è alimentato sostanzialmente da apporti dell'Acquedotto dei Laghi e da una serie di captazioni distribuite lungo il fondovalle della Valle di Torrezzo e sui versanti circostanti, in particolare da un gruppo di sorgenti poste a 480-520 m di quota (sorgenti Rivetta, Fam e Torrezzo), che recapitano l'acqua in un serbatoio costruito a monte del paese.

La sorgente Fontanello (o di Val Torrezzo), posta a circa 600 m di quota, è utilizzata anche dal Comune di Casazza.

Aggiornamento della Componente Geologica del Piano di Governo del Territorio
 Comune di Monasterolo del Castello (Bg)



Indagini geofisiche eseguite in corrispondenza della sorgente Fontanello e nell'area a monte di essa, hanno evidenziato la presenza di una potente coltre detritica (con spessori anche di circa 20 m) che costituisce un importante serbatoio di ricarica delle acque che probabilmente vengono a giorno a causa di un aumento della frazione fine nel detrito (o dei depositi morenici) e per l'avvicinarsi alla superficie del substrato roccioso; in parte l'alimentazione della sorgente può essere certamente dovuta alla circolazione idrica presente nelle fratturazioni e nelle discontinuità del substrato roccioso, tenendo conto della presenza, a monte fino allo spartiacque, di caratteristiche morfologie carsiche.

Le misurazioni sulla portata della sorgente alla captazione della Sorgente Fontanello, eseguite a cura dell'Amministrazione Comunale di Casazza, hanno dato valori, rilevati nell'arco di tempo di alcuni mesi, variabili da circa 5 lit/sec a circa 20 lit/sec, anche in funzione del regime pluviometrico; la portata media captata dall'attuale sorgente Fontanello può essere comunque determinata in circa 13 lit/sec.



La sorgente in Valle di Torrezzo

La frazione di Moj, posta all'estremo limite settentrionale del comune, è servita dalla rete acquedottistica proveniente dalla frazione S. Felice del Comune di Endine Gaiano. Numerose altre sorgenti, di portata limitata e spesso effimere, sono presenti in Val di Torrezzo e sulle pendici a monte della frazione Moj, in particolare in territorio di Endine Gaiano.

In generale, nel caso di una sorgente captata a scopo idropotabile la normativa vigente prevede l'esistenza di un'area di tutela assoluta con raggio pari a 10 metri attorno all'opera di captazione ed un'area di rispetto di 200 metri di raggio a monte di quest'ultima. La zona di rispetto è pertanto riconducibile ad un semicerchio avente per centro l'opera di captazione; tale zona potrebbe essere meglio definita a seguito di una ricerca idrogeologica dettagliata che ricostruisca la zona di alimentazione della sorgente.

Le sorgenti di acqua minerale

Una delle risorse legate alla costituzione geologica ed idrogeologica del territorio di Monasterolo è data dalla presenza in falde profonde di acque mineralizzate ricche in ferro e solfati.

Tali acque sono state portate a giorno da perforazioni eseguite sul delta lacustre del T. Torrezzo. Esse, dopo circa 60 metri di depositi alluvionali e lacustri torboso-argillosi, hanno attraversato falde mineralizzate contenute nelle fessurazioni dei calcari neri ricchi in sostanze carboniose della formazione delle Argilliti di Riva di Solto

Nonostante tali acque non siano attualmente utilizzate, qualsiasi intervento in campo urbanistico dovrà comunque tenere in attenta considerazione la loro presenza e la risorsa ad esse legata, secondo le normative che in campo statale e regionale competono alle acque minerali.

14 RETE IDROGRAFICA SUPERFICIALE

La rete idrografica superficiale, a cui si è parzialmente accennato anche nella parte relativa alla morfologia, è caratterizzata dalla presenza di numerose valli, anche di notevole estensione ed importanza, che solcano il versante occidentale del Monte Torrezzo e del Monte Ballerino, fino alla scenografica cresta di spartiacque con le valli di Fonteno e di Adrara.

Tutte le valli hanno andamento sostanzialmente parallelo le une alle altre, non sono particolarmente ramificate e le principali presentano singolarmente caratteri morfologici molto simili tra loro, spingendo la testata oltre la potente banconata di Dolomia a Conchodon e aprendosi in ampie conche prative alle quote più alte, mentre i tratti inferiori, al di sotto dell'alta rupe, sono normalmente più incisi, boscati e ripidi.

Tranne la Val di Torrezzo e la Val Spirola, tutte le valli sono normalmente prive di acque superficiali e si rinvigoriscono solo in occasione di precipitazioni continue e prolungate; tuttavia, le numerose opere di regimazione costruite negli anni lungo il loro percorso e l'ampiezza dei conoidi di deiezione allo sbocco, stanno a dimostrare la capacità di tali torrenti di aumentare fortemente e repentinamente la portata, creando pericoli per la salvaguardia dei terreni e degli edifici eventualmente presenti nelle vicinanze.

Valle di Torrezzo

La Valle di Torrezzo è la principale e più estesa vallata del territorio di Monasterolo del Castello, e insieme alla Valle Spirola ha formato il conoide su cui sorge l'abitato di Monasterolo del Castello; essa viene attraversata dalla strada provinciale n°76 Casazza – Endine poco a monte dell'abitato. La valle ha una direzione principale sud-est/nord-ovest e prima di confluire nel lago, devia a destra, disponendosi con direzione Nord-Sud, grazie al contributo di interventi antropici e all'esistenza del cordone morenico che separa i due conoidi di deiezione delle valli di Spirola e di Torrezzo: questo cordone morenico non fa confluire l'uno nell'altro i due rispettivi corsi d'acqua.

Si può suddividere la valle di Torrezzo in tre distinti "ambiti" geografici: la porzione del conoide, l'area intermedia di percorrenza dell'asta fluviale e l'area di testata.

Il conoide si estende con forma semicircolare dalla quota lago, 335 m, sino all'altezza di circa 421 m: esso praticamente forma un corpo unico con quello della valle Spirola ed è così il più ampio dei conoidi presenti sul territorio comunale e quello con maggior estensione e progradazione verso la sponda opposta del lago. La pendenza media dell'asta principale sul conoide è dell'ordine del 4%.



L'area intermedia sale dai 421 m fino a quota 843 m dove l'asta principale si biforca in due rami: il primo verso i monti Foppa e Gremalto, l'altro verso il Monte Torrezzo e il Colle di Caf. Nel tratto più basso l'alveo del Torrezzo attraversa la Formazione del Calcere di Zu. A quota 600 m sono presenti alcune sorgenti nel fondovalle. Tra i 700 e gli 840 m l'asta del torrente incontra prima alcune pareti verticali, al contatto tra il Calcere di Zu e la Dolomia a Conchodon, formando piccole cascate, poi gli estesi depositi superficiali di origine gravitativa che formano il ghiaione detto "Gerù".

Lungo questo tratto la non costante presenza di acqua lungo l'asta principale è determinata dalla presenza dei depositi superficiali. L'asta principale, che ha direzione nord-ovest/sud-est presenta un andamento pressoché rettilineo, con numerosi affluenti che vi si innestano simmetricamente. In quest'area dell'asta è presente in banconi verticali la Dolomia a Conchodon. La testata della valle, sopra i 900 m, si apre a ventaglio a monte della sezione ristretta dalla presenza della bastionata di Dolomia a Conchodon; l'alveo si presenta più incassato e scorre direttamente sulla roccia (Calcere di Sedrina e di Moltrasio). Sono presenti fenomeni di trasporto in massa alimentati da

falde di detrito di versante. La quota massima del bacino raggiunge i 1377,7m, sul monte Torrezzo.



Va sottolineata la presenza di un importante corpo di frana nella zona intermedia della valle, in prossimità del ghiaione detto “Gerù”; sul versante destro della Valle infatti si è verificata, nel 2001, una frana di crollo che

ha interessato la parete rocciosa.

L'area interessata dal crollo si colloca su un versante fortemente caratterizzato da dissesti a carattere franoso, infatti la cartografia di riferimento indica la presenza di un corpo di frana quiescente subito a valle della frana sopra citata. Si tratta di una frana con un ampio fronte di distacco, il cui accumulo arriva a lambire l'asta torrentizia. Tale accumulo è completamente vegetato, ma è un importante testimonianza della dinamica di versante.

Valle Spirola

La valle Spirola è disposta quasi parallelamente a sud ovest della valle Torrezzo, con la quale ha formato il conoide misto di detrito/alluvionale su cui sorge l'abitato di Monasterolo del Castello.



I fenomeni di trasporto di materiale che hanno generato il conoide si sono succeduti anche in tempi recenti, dopo l'urbanizzazione del conoide, e sono già stati descritti, insieme agli interventi operati dal Genio Civile e dal Corpo Forestale. In prossimità del conoide l'alveo ha subito una regimazione ed è stato deviato dal centro dell'abitato storico di Monasterolo verso il lago.



5. CTR 1994



6. IGM 1889

Oltre il conoide, salendo verso il monte Ballerino e il monte Gremalto, l'andamento del bacino è suddivisibile in tre zone: nell'area più prossima al conoide, dalla sommità dello stesso a quota 450 m sino alle pareti subverticali a quota 850 m, l'alveo è impostato in terreni di origine detritica, mentre le parti esterne all'alveo sono caratterizzate da un'alternanza di grossi banchi calcarei con numerose pareti e coltri eluviali-detritiche disposte su livelli sottilmente stratificati.



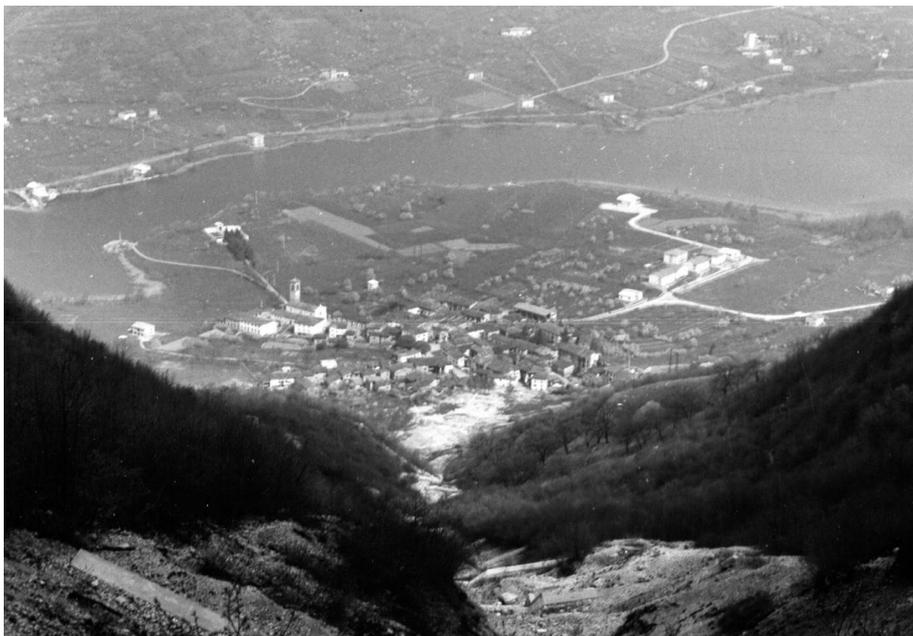
IGM 1889

A circa 850 m c'è una parete verticale di quasi 150 m di altezza di dislivello costituita dalla sommità del Calcare di Zu, dalla Dolomia a Conchodon e dal Calcare di Sedrina. Questa parete divide in due la valle: la parte più bassa, a monte

del conoide, e una valle sospesa che interessa la parte sommitale del bacino, denominata “Valpiana”. Questa seconda valle che si imposta sopra i 1000 m, è caratterizzata dalla presenza di versanti meno ripidi impostati sui calcari selciferi del giurassico appartenenti alla formazione del Calcarea di Moltrasio.



Monasterolo del Castello, 1953 (g.c. Amministrazione Comunale), invaso dalla colata detritica



Monasterolo del Castello 1960, dalla Valle Spirola, con le briglie e traverse in primo piano, ancora in costruzione

Dal sopralluogo effettuato nel giugno 2013 è stato possibile verificare come le opere esistenti lungo la Valle Spirola siano state nel complesso efficaci nel contenere le colate detritiche che in passato hanno interessato quest'area.

Cratere d'impatto nelle terre armate presenti nella parte alta della Valle Spirola



Tuttavia, la dinamica gravitativa che ha dato origine alle colate detritiche, seppur prevalente, non è l'unica che interessa la valle: infatti nella parte superiore della Valle Spirola, in corrispondenza delle pareti rocciose, sono frequenti i crolli e in generale la caduta massi. Tale fenomeno interessa sia l'impluvio sia i versanti circostanti e come riscontrato sul terreno ha danneggiato diffusamente le opere presenti (terre armate e gabbionate).

Esempi di gabbionate metalliche danneggiate dalla caduta massi nella zona superiore della Valle Spirola



Valle del Colle

Salendo verso nord, subito dopo l'abitato di Monasterolo, la prima valle importante che si incontra è la Valle del Colle, che apre il suo conoide all'altezza della località detta Tribulina del Legnér. La strada provinciale Casazza – Endine la sovrappassa poco a monte della confluenza nel Lago di Endine, in corrispondenza di un tratto che è stato regimato e sistemato alcuni decenni or sono, probabilmente a seguito di intensi eventi alluvionali.

Come già per le valli Spirola e di Torrezzo, anche la Valle del Colle è facilmente suddivisibile in “ambiti” geografici diversi, distinguendo una porzione di conoide alluvionale, un settore stretto e ripido, diffusamente boscato, alla base della parete di Dolomia a Conchodon, e un'ampia testata in buona parte a prato o con recenti rimboschimenti.

Il bacino idrografico della Valle del Colle si spinge dunque ben oltre l'alta fascia rocciosa che caratterizza le pendici occidentali del Monte Torrezzo, il quale a sua volta ne costituisce la quota più elevata (1378 m). Il substrato roccioso è rappresentato da tutte le formazioni descritte nell'ambito comunale, con fasce e falde detritiche più o meno consistenti raccolte alla base delle pareti rocciose o distribuite lungo il basso corso del torrente.

Il reticolo idrografico è imperniato sull'asta principale, evidente e marcatamente rettilinea; ben ramificato alla testata e più asimmetrico nel tratto medio-inferiore, con una maggiore quantità di affluenti in sinistra idrografica.

Il cono di deiezione è ampio, anche se non facilmente distinguibile dai corpi adiacenti, soprattutto nel settore settentrionale. Come detto, il tratto terminale del corso d'acqua è stato in parte regimato, mediante argini e soglie e un solettone in calcestruzzo. E' ancora riconoscibile, a nord, un vecchio tratto d'alveo poi abbandonato a favore dell'attuale; esso potrebbe costituire, in condizioni eccezionali, una probabile via di fuga per le acque di piena.

Valle di Clep

La Valle di Clep estende il suo bacino idrografico fino a ridosso della fascia carbonatica della Dolomia a Conchodon, aprendosi al di sotto del crinale del Roccolo Gazini, comprendendo i boschi di Belzignolo. La quota massima del bacino è di circa 1270 m, in corrispondenza dello sperone roccioso che chiude la successione di colli tondeggianti a nord della Cascina Torrezzo; l'aspetto della valle è rupestre, con versanti ripidi e rocciosi; non infrequenti le falde detritiche, presenti soprattutto sui versanti in destra idrografica. Il substrato roccioso è costituito per la massima parte dalla Formazione del Calcare di Zu; solo in basso, all'apice del conoide, cominciano ad osservarsi affioramenti riferiti alla Formazione delle Argilliti di Riva di Solto.

La valle è chiaramente asimmetrica, con una maggiore estensione del versante destro, caratterizzato anche da un maggiore sviluppo e da una più evidente ramificazione del reticolo idrografico.

L'ampio, antico cono di deiezione - ormai relitto - è profondamente inciso nel settore superiore dall'alveo torrentizio, che ha formato in basso un cono più recente, più piccolo, coalescente con quello della Valle del Corno Vadul, la cui attività è testimoniata dalla irregolarità della linea di riva del lago in corrispondenza della Casa del Pescatore, dove è visibile un piccolo delta dovuto all'accumulo dei materiali trasportati dalle due valli.

Numerosi ed importanti gli orli di degradazione o di frana che interessano le pareti rocciose e i versanti più ripidi e che costituiscono fonte di alimentazione per le sottostanti falde detritiche.

Valle di Corno Vadul

Il piccolo bacino idrografico è denominato di "Corno Vadul" dal nome dello sperone tondeggiante che ne costituisce la quota più elevata (circa 1000 m) e che rappresenta la punta settentrionale più avanzata del crinale che si innesta al sistema di spartiacque che culmina nel M. Torrezzo.

Il reticolo idrografico è estremamente semplice, essendo costituito da un'unica asta torrentizia, scarsamente ramificata e con andamento sostanzialmente rettilineo, che confluisce nella Valle di Clep poco sotto la "Fopa di ciàrech"; anche la forma del bacino è piuttosto regolare.

Il substrato roccioso è costituito soprattutto dalla formazione del Calcarea di Zu, ma alle quote più basse assume consistenza la formazione delle Argilliti di Riva di Solto; non sono segnalate, all'interno del bacino idrografico, falde detritiche di una qualche importanza, tuttavia i fianchi più bassi dei versanti sono ricoperti da una coltre stabilizzata di depositi detritici e morenici.

Il cono di deiezione, di non grande estensione, è stretto tra i contermini delle valli di Clep e Moj. L'attraversamento della valle ad opera di strade e ponticelli, può creare situazioni di criticità, soprattutto se l'efficienza dell'alveo risulta ridotta a causa della presenza di materiali e di vegetazione che ne ingombrano la sezione di deflusso; situazioni simili sono state spesso riscontrate lungo il tratto terminale della Valle di Corno Vadul e di valli secondarie che scendono dal medesimo versante (vedi cartografie allegate).

Valle Moj

La valle Moj è la meno estesa delle valli presenti sul territorio comunale: ha infatti una superficie di soli 0,11 kmq, ed è anche la più settentrionale. L'asta torrentizia non è particolarmente lunga e presenta una prima biforcazione appena sopra il conoide a quota 390-400 m e una seconda biforcazione a quota 450-460 m. Il bacino alle quote più alte raggiunge gli 850 m.

La valle Moj peraltro rappresenta il limite meridionale dell'estesa area a monte della loc. S. Felice interessata a più riprese (agli inizi del sec. XVIII e nel 1938) da notevoli movimenti franosi; essa appare in più punti lungo l'alvea ingombra di materiali alluvionali e con sezioni di deflusso ristrette da argini e manufatti artificiali. Anche la valle Moj è stata sottoposta, qualche decennio or sono, nel tratto terminale e comunque lungo tutto l'ambito di conoide, da opere di regimazione idraulica, consistenti in argini in gabbioni, in briglie e soglie. Necessita, come quasi tutte le valli del territorio

comunale di Monasterolo del Castello, di opere di pulizia e di manutenzione dell'alveo e delle opere di regimazione.

Valle del Grino (o di Bosco Gromo)

La valle del Grino (o di Bosco Gromo) è la più meridionale delle valli presenti sul territorio. L'alveo di questa valle è inoltre confine comunale con il Comune di Casazza. La sua superficie è di 0,25 kmq e la lunghezza dell'alveo è di 880 m. La testata della valle si spinge fino a ridosso della parete dolomitica del Monte Ballerino. Sebbene alimentato da un bacino idrografico di non grande dimensione, tuttavia l'alveo torrentizio scende a valle con elevata pendenza, attraversando le falde detritiche accumulate alla base dell'alta parete in Dolomia a Conchodon e, più in basso, delle pareti calcaree intermedie.

Il conoide della valle del Grino è l'unico a non affacciarsi sulla superficie del lago: ai suoi piedi si apre una piana attualmente utilizzata per fini agricoli e residenziali. Il percorso del torrente, sul conoide, compie brusche deviazioni a gomito prima di sfociare sulla piana alluvionale e dirigersi, ormai canalizzato, alla confluenza nel fiume Cherio. A causa della ristrettezza dell'alveo, sono stati segnalati in più occasioni fenomeni di esondazione del torrente, in corrispondenza della piana alluvionale allo sbocco del conoide.



Masso nei pressi della Valle del Grino

15 ANALISI DEI RISCHI CONNESSI AL RETICOLO IDROGRAFICO

Determinazione delle portate liquide di piena

Per una migliore conoscenza delle caratteristiche idrologiche dei corsi d'acqua è stata predisposta *un'analisi preliminare dei principali bacini idrografici del territorio comunale – precedentemente descritti - al fine di ricavare il valore della **portata liquida di massima piena con tempo di ritorno pari a 100 anni**.*

Si tratta di valutazioni di massima, utili per dare un opportuno riferimento ad analisi generali e ad indirizzare le scelte di pianificazione, oppure per valutazioni speditive e locali sul dimensionamento della sezione d'alveo o di opere di attraversamento; i risultati delle analisi sono riassunti nelle tabelle e negli schemi allegati alla presente relazione.

Non sono state considerate le due principali valli di Torrezzo e di Spirola, per le quali ci si è invece riferiti agli approfonditi studi di inquadramento realizzati dal Genio Civile di Bergamo nell'ambito della progettazione di interventi di sistemazione e di consolidamento dei rispettivi alvei; a tali studi si rimanda per maggiori approfondimenti.

Stima del tempo di corrivazione

Normalmente, la misura della portata di massima piena di un corso d'acqua si basa sulla stima del tempo di corrivazione (tc) del bacino. Per *tempo di corrivazione* si intende il tempo necessario perché le acque di afflusso meteorico raggiungano la sezione di chiusura del bacino, rispetto alla quale viene eseguito il calcolo della portata di massima piena, partendo dai punti più lontani del bacino.

Sono stati utilizzati alcuni dei metodi più conosciuti, ricavandone poi un valore medio (le formule possono essere facilmente reperite sui testi specializzati in analisi idrologiche): metodo di Giandotti, Pezzoli, Pasini e Kirpich.

Per le valli di Torrezzo e Spirola, si riportano i valori citati nelle relazioni del Genio Civile.

Valutazione del tempo di corrivazione (in ore)

	Giandotti	Pezzoli	Pasini	Kirpich	Media
Valle del Colle	0,29	0,14	0,19	0,17	0,20
Valle di Corno Vadul	0,14	0,05	0,08	0,07	0,09
Valle di Clep	0,21	0,10	0,13	0,10	0,13
Valle Moj	0,10	0,03	0,05	0,04	0,06
Valle di Bosco Gromo	0,15	0,06	0,08	0,07	0,11
Valle Spirola	0,63				0,63
Valle Torrezzo	0,50				0,50

Stima della pioggia critica di progetto

Una volta definito il valore del tempo di corrivazione, il primo dato che occorre ricavare è l'altezza dell'afflusso meteorico (h), per un tempo di ritorno fissato, corrispondente ad una durata uguale al tempo di corrivazione. Il valore di h può essere ricavato dalla relazione $h = at^n$, dove "a" è una variabile funzione del tempo di ritorno, e "n" è una costante per un dato valore di "t". Nel caso in oggetto, sulla base di indicazioni bibliografiche, si sono assunti valori intermedi tra quelli delle stazioni di rilevamento pluviografico più vicine, ovvero Bergamo, Gorno e Clusone: "**a=62**" e "**n'=0,29**".

Per le valli di Torrezzo e Spirola, si riportano i valori ricavati dalle relazioni del Genio Civile.

Per le successive valutazioni di maggior dettaglio ci si potrà riferire alle tabelle e ai valori proposti dall'Autorità di Bacino del Fiume Po, precedentemente citati.

Stima della pioggia critica di progetto

	mm/h
Valle del Colle	38,9
Valle di Corno Vadul	30,8
Valle di Clep	34,3
Valle Moj	27,4
Valle del Grino	32,7
Valle Spirola	52,14
Valle Torrezzo	48,76

Stima della portata liquida di piena

Il valore di **h** ricavato va introdotto in una delle formule cinematiche disponibili in letteratura.

In particolare, il valore della portata di massima piena per le diverse valli, con un tempo di ritorno pari a 100 anni, è stato calcolato con alcune delle formule più note in letteratura, adottando il valore ricavato dalla media dei risultati.

Per le valli di Torrezzo e Spirola, si riportano i valori ricavati dalle relazioni del Genio Civile.

Si ricorda tuttavia che il valore ricavato da tutte le formule normalmente utilizzate si riferisce alla portata liquida dell'evento di piena previsto con un dato tempo di ritorno; recenti studi tendono a dimostrare che la portata "solida", in occasione di eventi di piena, è decisamente maggiore rispetto a quella liquida. Purtroppo, allo stato attuale non vi sono formule sufficientemente attendibili che possano essere utilizzate per il calcolo della portata solida.

Valutazione della portata liquida di piena in mc/sec (con $Tr = 100$ anni)

	Metodo Razionale	Iskowski	Forti	Giandotti	Turazza	Merlo	Kresnik	Curve Number	Media
Valle del Colle	21,2	9,35	12,8	31,8	35,3	16,1	19,1		20,8
Valle di Corno Vadul	7,04	1,77	2,44	10,57	11,75	2,43	5,95		6
Valle di Clep	12,13	3,96	9,86	18,28	20,32	6,08	10,72		11,6
Valle Moj	4,12	0,77	1,07	6,17	6,85	0,95	3,12		3,3
Valle del Grino	6,39	1,84	2,55	9,59	10,75	2,67	6,14		5,7
Valle Spirola								12,8	12,8
Valle Torrezzo								29,9	29,9

Principali parametri morfologici ed idrologici dei bacini idrografici

	Superficie bacino (kmq)	Lunghezza collettore (km)	Pendenza media bacino	Altezza media bacino	Pendenza media asta principale	Lungh. rete idrografica (km)	Densità di drenaggio (km/kmq)	Fattore di forma
Valle del Colle	1,31	2,07	0,77	1090	0,64	6,17	4,70	0,99
Valle di Corno Vadul	0,25	0,74	0,61	742	0,56	0,72	2,88	0,99
Valle di Clep	0,55	1,27	0,74	845	0,52	2,19	3,98	0,98
Valle Moj	0,11	0,43	0,76	602	0,53	0,93	8,60	0,98
Valle del Grino	0,25	0,88	0,92	826	0,75	1,74	6,70	0,99
Valle Spirola	1,12	1,75	0,74	1027	0,37	2,98	2,66	0,99

Aggiornamento della Componente Geologica del Piano di Governo del Territorio

Comune di Monasterolo del Castello (Bg)

Valle Torrezzo	3,23	1,90	0,60	989	0,26	10,80	3,34	0.99
-----------------------	------	------	------	-----	------	-------	------	------

Riassunto parametri trattati:

	Tempo di corrivazione	Portata liquida di piena	Pioggia critica di progetto mm/h
Valle del Colle	0,20	20,8	38,9
Valle di Corno Vadul	0,09	6	30,8
Valle di Clep	0,13	11,6	34,3
Valle Moj	0,06	3,3	27,4
Valle di Bosco Gromo	0,11	5,7	32,7
Valle Spirola	0,63	12,8	52,14
Valle Torrezzo	0,50	29,9	48,76

PRIME VALUTAZIONI SULLA PERICOLOSITÀ DELLE CONOIDI

La zonazione della pericolosità deve tener conto dell'analisi storica dei fenomeni che hanno interessato le conoidi, della frequenza degli eventi, le variazioni delle caratteristiche dell'alveo per opere antropiche o per il decorso dei fenomeni stessi, e dell'incidenza antropica eventuale sul bacino.

Questa fase di "analisi storica" deve tener conto anche di episodi non rilevanti dal punto di vista dei danni prodotti, ma che sono indice di eventuali punti critici presenti sul territorio.

Analisi storica

Il fine dell'analisi storica sulle conoidi presenti sul territorio di Monasterolo del Castello è quello di avere un quadro spaziale e temporale dei fenomeni che le hanno interessate. Gli ultimi eventi significativi riscontrabili sono del giugno 1997 a seguito delle forti precipitazioni di quel periodo: tali eventi hanno determinato l'intervento del Genio Civile, in particolare per la sistemazione della Valle Torrezzo e della valle Spirola.

La valle Spirola

Uno degli eventi più drammatici che Monasterolo ebbe a subire nel corso di questo secolo fu certamente la cosiddetta “frana di Val Spirola” che nel 1953 colpì violentemente il paese provocando lutti ed ingenti danni.

La Valle Spirola, che si sviluppa in direzione SE a monte del paese, ha una superficie di soli 1,27 kmq ripartita in un’ampia testata, posta approssimativamente tra l’isoipsa 1050 e i 1322 m del Monte Gremalto; un tratto intermedio, stretto e ripido, ad andamento rettilineo, a partire dalla base dell’alta parete in Dolomia a Conchodon; il grande delta che, cresciuto accanto a quello del Torrente Torrezzo, ha costituito il complesso edificio su cui sorge Monasterolo.

L’alta valle, che localmente assume il nome di Valpiana, è caratterizzata da versanti ripidi un tempo completamente a prato e solo recentemente (dopo il 1953) in parte rimboschiti. Circa a quota 1080 l’alveo, già poco inciso, scompare del tutto e il fondovalle diventa pianeggiante per qualche decina di metri, a causa di una ripiena che ha colmato l’originario bacino. A monte e a valle della loc. Valpiana, sempre negli anni successivi alla frana, sono state realizzate lungo l’asta torrentizia complesse opere di regimazione idraulica (briglie e traverse) che hanno contribuito, insieme ai rimboschimenti, a controllare e a limitare l’azione erosiva delle acque e il tempo di corrivazione.

Il tratto intermedio, dopo un salto di un centinaio di metri, è decisamente più ripido ed inciso in una potente coltre di detriti ancora parzialmente sciolti, alimentati dalle pareti retrostanti e distribuiti nei secoli lungo la valle dall’azione delle acque correnti. Essi vennero poi ridepositati, al di là della stretta di Prada, in un ampio conoide; il Torrente Spirola proseguiva poi la sua corsa fin dentro l’abitato, ove piegava bruscamente a gomito gettandosi infine nel lago.

L’alluvione del 1953 è stata preceduta da altre due nel 1948 e nel 1951 e i loro effetti sul territorio e sulla popolazione sono ampiamente documentati nelle cronache del tempo, riportate dai quotidiani L’Eco di Bergamo e il Giornale del Popolo.

Il 6 settembre 1948, migliaia di metri cubi d'acqua, accumulatisi nel bacino di Valpiana, precipitarono dalla rupe sul canalone ghiaioso sottostante, mobilitando un vero e proprio torrente di massi e ghiaia che formò una colata di pietre (fenomeno noto come "debris flow") alta fino a 30-40 metri, lunga oltre 300 metri e larga mediamente sui 30, che si arrestò fortunatamente a ridosso di Monasterolo riuscendo comunque a travolgere e seppellire tre cascate ed una casa, a uccidere bestie e naturalmente a rovinare prati e campi.

Il 10 novembre 1951, quando già il Genio Civile aveva provveduto a costruire dighe di sbarramento a protezione delle case, in località Campo dei Frati si rimobilizzò la frana del '48, che invase la strada comunale per un tratto di circa 150 metri. Gli abitanti del paese furono messi in stato di allarme, ma le opere di protezione contribuirono a fermare il movimento dei materiali.

Purtroppo, il 18 ottobre 1953 una nuova, colossale frana si abbattè sul grosso dell'abitato, provocando la morte di due donne, la distruzione di una centralina elettrica e di tre case, l'inagibilità e l'allagamento di molte altre, tanto che decine di famiglie risultarono poi senza tetto. Furono inoltre devastati centinaia di ettari di terreni, orti e vigneti.

In questa occasione, la frana si divise in due rami. Il primo ramo, il maggiore, seguì il percorso naturale del T. Spirola già ingombro di materiali per i disastri precedenti e andò ad investire un gruppo di case; il secondo ramo deviò verso sud, dov'erano in corso i lavori per l'incanalamento per conto del Genio Civile, distruggendo parte del canale e dell'attrezzatura e un tratto della strada comunale.

All'indomani di questo episodio si parlò di ricostruire il paese in una zona più sicura (a S. Felice o sul lato opposto del vallone) oppure di costruire manufatti di protezione e di rifare il canale semidistrutto. Si scelse questa seconda soluzione e negli anni successivi il torrente venne imbrigliato e nel suo ultimo tratto deviato grazie ad un canale di deviazione (detto "Taboga") che lo ha portato a sfociare più a sud senza passare all'interno dell'abitato.

In una scheda redatta nel 1992 dal Corpo Forestale dello Stato, viene riportato il "riepilogo delle opere idraulico-forestali presenti" nella valle, realizzate negli anni

precedenti dallo stesso Corpo Forestale dello Stato: 43 briglie, 19 controbriglie, 42 difese spondali, 1 repellente, 20 platee, 31,6 ha di rimboschimenti.

Queste opere hanno così contribuito ad abbassare il grado di pericolosità della valle e del conoide formato dalla stessa insieme al torrente della Valle Torrezzo.

Tuttavia, anche negli anni successivi la valle è stata sottoposta a continui controlli, di cui rimangono a testimonianza le numerose relazioni redatte da Rocco Zambelli e conservate presso il Comune di Monasterolo del Castello, generalmente tese a sottolineare la pericolosità della valle e la necessità di ulteriori opere di difesa e di manutenzione.

Anche a seguito delle sollecitazioni da parte del Comune di Monasterolo, ma soprattutto dopo gli eventi del giugno 1997, che hanno provocato intensi fenomeni erosivi nel settore alla base della parete rocciosa, la Regione Lombardia ha provveduto ad erogare un cospicuo finanziamento per la realizzazione di opere di contenimento e di manutenzione, il cui progetto è stato predisposto a cura del Genio Civile di Bergamo.

Nella relazione che accompagna il progetto – che qui si richiama – viene affermato che le principali cause della pericolosità della Valle Spirola sono: “la presenza di consistenti accumuli di detriti instabili a monte del centro abitato con il succedersi di massicci trasporti di inerti in eventi di piena, l’equilibrio precario di grossi massi appena sotto il dirupo dei colli di S. Fermo (...)”.

Gli interventi previsti tendono a “contenere il materiale fermando le erosioni con la costruzione di una briglia”; si predispone inoltre “il consolidamento statico delle rocce attuato mediante sottomurazioni in massi” e “la pulizia dell’alveo all’apice del conoide, in corrispondenza della curva operata artificialmente al corso della Spirola”, quest’ultima, allo scopo dichiarato “di evitare eventuali deviazioni delle colate a causa di sbarramenti in alveo”. Si dichiara infine che” il progetto, dimensionato sui fondi disponibili, può solo essere considerato un ulteriore passo per la messa in sicurezza della zona”; infatti, ancora recentemente (anno 2002) si è proceduto ad una radicale pulizia del tratto di valle sottostante la Valpiana e all’erogazione di un ulteriore contributo economico per altri lavori di consolidamento lungo la valle.

In particolare, a proposito delle “scelte progettuali nel tratto di valle Spirola al vertice del conoide (...), nel punto segnalato (...) ai sensi della L. 267/98, come a rischio di fuoriuscita di colate detritiche dall’alveo artificiale della valle”, alla luce della determinazione delle portate liquide (pelo libero dell’acqua valutato a 0,40 m dal fondo, con altezza del ponte pari a circa 5,70 m) risulta un ampio margine di sicurezza, che si mantiene, sebbene fortemente ridotto (utilizzo della sezione pari a 4,5 m), anche nel caso di una portata solida (ipotizzabile nel caso in esame) pari a circa 100 mc/s.. I tecnici del Genio Civile, pur non escludendo in futuro – per una maggiore sicurezza – l’eventuale demolizione del ponte, ritengono indispensabile mantenere il franco di sicurezza mediante: “il contenimento a monte del trasporto solido”, ottenuto grazie al consolidamento dei versanti; la “periodica pulizia dell’alveo con taglio e asportazione della notevole massa vegetale che intralcia il deflusso”; l’ “accurata pulizia con asporto del materiale depositatosi negli anni, della vasca di raccolta posta in fregio sul lato destro del manufatto di attraversamento”. A seguito della realizzazione delle opere proposte dal Genio Civile, nelle considerazioni conclusive della relazione ad esso allegata, si afferma che “il progetto può rispondere (...) in modo positivo ai problemi che vive il paese di Monasterolo del Castello ponendo rimedio non solo ai danni provocati dagli ultimi eventi alluvionali, ma anche contribuendo in modo significativo al non ripetersi di tali danni”.

La Valle Torrezzo

La valle Torrezzo condivide con la Valle Spirola il conoide su cui sorge l’abitato di Monasterolo. Nella valle Torrezzo non si sono verificati – a memoria d’uomo - fenomeni di colate ed alluvionamento paragonabili a quelle della Valle Spirola. Nei pressi della località Fontanello tra le quote 470 e 600 m è presente un’area ricca di sorgenti, la principale delle quali è captata dall’acquedotto comunale di Casazza; più a valle, altre sorgenti forniscono acqua al paese di Monasterolo. Più a monte, tra le quote 700 e 850 m sono osservabili alcuni fenomeni di innesco, in corrispondenza dei quali sono già stati realizzati in passato interventi in difesa del suolo - gabbioni riempiti di inerti - al fine di stabilizzare i depositi detritici presenti, così come auspicava già nel

1980 Rocco Zambelli, in una relazione descrittiva della situazione della Valle Torrezzo; nella medesima relazione si diceva che l'antica cappelletta della Madonna del Gerù "risulta ormai completamente sepolta sotto il detrito".

Alcune indagini topografiche e geofisiche eseguite nel dicembre del 2000 preliminarmente alla predisposizione del progetto di sistemazione del ghiaione a monte della Madonna del Gerù – a cura del Genio Civile di Bergamo - hanno stimato in 400.000 mc il volume della coltre detritica presente a monte della sezione considerata; ulteriori indagini hanno evidenziato come le coltri detritiche perdono energia di trasporto a 800m e si fermano depositandosi in lobi di accumulo.

Secondo la valutazione tecnica del Genio Civile (a questo proposito si rimanda, per i necessari approfondimenti, alla relazione allegata al progetto di sistemazione finanziato dalla Regione Lombardia), "l'accumulo progressivo di ingenti quantità di detrito instabile nella porzione centrale della valle è chiaramente il presupposto per l'innescò di fenomeni di colata di maggiori dimensioni che potrebbero potenzialmente superare il limite tracciato verso valle dalla briglia in gabbioni presente a quota 700 m"; per limitare o minimizzare il rischio connesso a tale eventualità, dunque, la regione ha erogato i fondi per la stabilizzazione della massa detritica a monte della Madonna del Gerù.

Nel 1997 si sono innescati, a monte della cappelletta della Madonna del Gerù, colate detritiche e fenomeni erosivi di particolare intensità.

Il progetto predisposto dal Genio Civile di Bergamo, in fase di realizzazione, prevede di stabilizzare "l'ingente accumulo di materiale, situato prevalentemente tra quota 830 e quota 730 che, sotto la sollecitazione del torrente Torrezzo, minaccia di movimentarsi e scivolare verso valle", sostanzialmente mediante la formazione di nuove gabbionate e la manutenzione di quelle esistenti, con la successiva sistemazione a verde del versante.

Nelle conclusioni della relazione allegata al progetto del Genio Civile, infine, si afferma che "ad opere finite l'area della valle Torrezzo sottoposta alle opere di sistemazione, non solo risulterà stabilizzata, scongiurando il grave pericolo di un movimento di massa di grosse e devastanti dimensioni, ma sarà recuperata anche dal punto di vista ambientale".

Naturalmente, saranno necessarie continue azioni di controllo e di manutenzione, nonché una verifica delle condizioni dell'alveo a valle della Madonna del Gerù, che non ovunque conserva una efficiente e sufficientemente ampia sezione trasversale di deflusso.

Nel gennaio 2000 una grande frana di crollo ha interessato una parte della parete rocciosa in destra idrografica, più o meno all'altezza delle gabbionate in loc. Madonna del Gerù; i materiali franati, con massi anche di decine di mc, si sono accumulati soprattutto al piede del versante, rotolando a valle per alcune decine di metri; la vecchia strada carrareccia che portava alla cappella della Madonna del Gerù e al rifugio degli alpini è stata interrotta e sostituita recentemente da un nuovo tracciato sul lato opposto della valle; a fianco della nicchia di distacco è ancora presente un'area che potenzialmente ha tutte le caratteristiche che potrebbero preludere ad una estensione del fenomeno di crollo.

Il rischio di distacco di frane di crollo dalle pareti rocciose che "fasciano" a mezza altezza il versante che sale ai Colli di S. Fermo è comunque comune e diffuso su tutto il territorio comunale.

Un'altra situazione di potenziale rischio è riscontrabile, in sinistra idrografica, più o meno alla quota 450-460 m, in corrispondenza di diffuse venute d'acqua e di erosioni laterali lungo l'alveo del torrente; inoltre, l'alveo è stato ristretto, anche per cause antropiche, intorno a circa 430 m di quota, in loc. "casetta del Canada".

Valle del Colle

Il corso d'acqua della Valle del Colle, che sottende un ampio bacino idrografico, scarsamente urbanizzato e con caratteri morfologici ed idrografici simili alle vicine valli di Torrezzo e Spirola, presenta situazioni in cui è stato rilevato fenomeni di instabilità dell'alveo ed erosioni di sponda e di fondo, che favoriscono l'eventuale alluvionamento delle aree a valle, in particolare in corrispondenza dell'attraversamento della strada provinciale n°76 Casazza-Endine.

Sebbene recentemente non si siano verificati fenomeni di dissesto o di alluvionamento di particolare intensità, tuttavia il tratto terminale del corso d'acqua risulta regimato

mediante argini, soglie e solettone; non è stato possibile determinare, sentendo gli attuali amministratori comunali, l'età e la ragione di tali interventi che tuttavia presuppongono la possibilità del verificarsi di eventi critici, favoriti peraltro dalle condizioni complessive del bacino idrografico.

Valle di Clep - Valle Moj – Valle di Corno Vadul

Non vi sono notizie di eventi alluvionali o erosivi che hanno recentemente interessato tali valli, sebbene siano in tutte presenti opere di regimazione, lungo il tratto terminale, realizzate mediante gabbioni a formare argini e soglie; solo all'apice del conoide della Valle Moj è stata più recentemente realizzata una grande briglia di trattenuta che appare attualmente colma di materiale inerte e bisognosa di sistemazione, di pulizia e di manutenzione. Tutte le valli citate, comunque, almeno nel tratto sulla conoide, necessitano di pulizia dell'alveo dai materiali e dalla vegetazione che l'ingombrano, riducendo l'efficacia delle sezioni di deflusso, soprattutto in corrispondenza degli attraversamenti stradali.

Valle del Grino

La Valle del Grino, la più meridionale delle valli di Monasterolo del Castello, simile alle altre per condizioni morfologiche ed idrografiche, sottende un bacino idrografico di limitate dimensioni, ma particolarmente ripido, con falde detritiche alla base della parete rocciosa del Monte Ballerino. Sulla conoide, il torrente compie due brusche deviazioni, che creano localmente condizioni di rischio, sebbene negli anni recenti non siano stati segnalati fenomeni di esondazioni, tranne che lungo la sottostante strada comunale, ormai nella piana alluvionale del Cherio, dove il corso d'acqua è stato costretto in un alveo completamente artificializzato.

Quadro riassuntivo

Conoide	INDICAZIONI SULLA FREQUENZA DEGLI EVENTI	INCIDENZA ANTROPICA SULLA CONOIDE	EVENTI ALLUVIO NALI SULLA CONOIDE	LOCALIZZAZIO NE DI AREE E MANUFATTI DANNEGGIATI
Valle Spirola	1948,1951, 1953, 1997	Deviazione artificiale della parte finale dell'alveo; briglie con gabbionate a monte	1948, 1951, 1953	Paese di Monasterolo
Valle Torrezzo	1997	Deviazione artificiale della parte finale dell'alveo; briglie con gabbionate a monte		Chiesetta della Madonna del Gerù
Valle Clep	n.p.	Regimazione tratto finale	n.p.	
Valle Grino	n.p.	Regimazione tratto finale	n.p.	
Valle Colle	n.p.	Regimazione tratto finale	n.p.	
Valle Moj	n.p.	Regimazione tratto finale	n.p.	

La valutazione della pericolosità deve far riferimento alle caratteristiche fenomenologiche delle frane da trasporto in massa, alla geologia-geomorfologia del territorio e alle caratteristiche idrologiche dei bacini dei conoidi.

16 CARATTERIZZAZIONE IDRAULICA E GEOMORFOLOGICA DELLE CONOIDI

Questa valutazione indicativa e per certi versi semplicistica – utile per la definizione del quadro complessivo di riferimento (talvolta teorico) - segue uno schema che dà la possibilità di classificare e caratterizzare ogni conoide in base a determinate caratteristiche, con lo scopo di definire zone a diversa pericolosità:

- analisi geologica e geomorfologica.
- analisi idrologica.
- indicazione e descrizione dei punti critici sulla conoide (sezioni ristrette, attraversamenti, curve,...).
- valutazione del grado di incisione del canale principale nei vari settori della conoide.
- delimitazione dei settori con diversa influenza sul deflusso delle portate solido-liquide (restringimenti, diminuzione della pendenza, curve,...).
- individuazione delle zone che possono modificare, catturare o deviare il deflusso (paleoalvei, viabilità e attraversamenti di fondo alveo, bacini naturali di espansione,...).
- valutazione in termini di efficacia e di efficienza delle opere idrauliche nel bacino e sulla conoide.
- determinazione degli attraversamenti (ponti e passerelle) e valutazione della loro influenza sul deflusso.
- stima di volumi massimi rimobilizzabili nel bacino (magnitudo).

La pericolosità dipende in particolare dalla grandezza detta “Magnitudo”, intesa come il volume massimo di materiale detritico rimobilizzabile durante un evento di trasporto in massa o misto su una conoide.

Tale grandezza è stata valutata attraverso sia metodi empirici di seguito indicati in tabella, che con osservazioni dirette, rilevando lungo l’asta del bacino le opere di difesa idraulica, le erosioni di sponda in atto, la presenza di ostruzioni o sbarramenti di

origine antropica e la possibilità di riattivazione di grandi frane; in genere l'osservazione diretta sul terreno consente di determinare con maggiore precisione la possibile estensione ed entità del fenomeno di alluvionamento, considerando soprattutto le condizioni morfologiche e lo stato di manutenzione dell'alveo.

I valori calcolati di magnitudo forniscono inoltre un'ampia gamma di risultati, spesso fortemente in contrasto tra loro; si ritiene dunque che esse possano essere considerati solo indicativi ed orientativi nella migliore definizione dell'estensione dell'area di esondazione in occasione di fenomeni di debris flow.

Riferimento bibliografico	Formula
Bottino, Crivellari & Mandrone (1996)	$M=21241 \cdot Ab^{0,28}$ Ab= area del bacino(km ²)
Crosta, Ceriani, Frattini & Quattrini (2000)	$M=1000 K \cdot Ab \cdot Mb^{0,8} \cdot Sc_l \cdot c \cdot (I_F)^{-2}$ K=3 per fenomeni di bed load e debris flood, K=5,4 per debris flow Ab= area del bacino Mb=indice di Melton= (Hmax-Hmin)/Ab ^{0,5} Hmax=altezza massima del bacino(km) Hmin=quota minima del bacino(km) Sc _l c= pendenza del collettore sul conoide(%) I _F = indice di frana(=1 grandi frane/o frane lungo la rete idr.; 2= frane sui versanti; 3=frane piccole o assenti)
Marchi & Tecca (1996)	$M=10000 \cdot Ab$ Ab= area del bacino(km ²), per aree<10 km ²
Rickenmann & Zimmerman (1997)	$M=(110-2,5 \cdot Sc) \cdot Lcl$ Sc= pendenza del conoide(%) Lcl= lunghezza dell'alveo sul conoide(m)
Takei (1984)	$M=13600 \cdot Ab^{0,61}$ Ab= area del bacino(km ²)

Metodi di calcolo della Magnitudo

Al fine di calcolare la Magnitudo sono stati preliminarmente ricavati alcuni parametri morfologici ed idrologici relativi alle conoidi.

Principali parametri morfologici ed idrologici dei conoidi:

Conoide	Lungh. Alveo	Quota	Quota	Pendenza	Pendenza	Indice di
---------	--------------	-------	-------	----------	----------	-----------

	sul conoide Lcl (m)	massima del bacino Hmax m.s.l.m.	minima del bacino Hmin m.s.l.m.	conoide Sc (%)	collettore sul conoide Sc_l (%)	Melton Mb= (Hmax- Hmin)/ Ab^{0,5}
Valle del Colle	600	1380	490	32	23	0,779
Valle di Corno Vadul	200	1020	390	10	20	1,260
Valle di Clep	480	1250	440	20	18	1,094
Valle Moj	260	850	390	09	21	1,394
Valle di Bosco Gromo	400	1180	440	16	25	1,498
Valle Spirola	370	1320	450	16	29	0,830
Valle Torrezzo	565	1380	421	02	06	0,534

Magnitudo calcolata per ciascun conoide:

	Valle Torrezzo	Valle Spirola	Valle Clep	Valle Moj	Valle Corno Vadul	Valle Bosco Gromo- Grino	Valle Colle
$M=21241 * Ab^{0,28}$	29495	21925	17967	11450	14407	14407	22910
$M=1000$ $K * Ab * Mb^{0,8} * Sc_l * (IF)^2$	7035	16760	6379	1807	3609	5178	14787
$M=10000 * Ab$	32300	11200	5500	1100	2500	2500	13100
$M=(110-2,5 * Sc) * Lcl$	59325	25690	28800	22750	17000	28000	18000
$M=13600 * Ab^{0,61}$	27806	14573	9444	3538	5838	5838	16035
MEDIA	31200	18100	13700	8200	8700	11200	17000

Una volta calcolata la Magnitudo sono state calcolate la **sezione di deflusso A (m²)** e l'**area inondata B (m²)** secondo le formule seguenti, valide tuttavia solo per volumi mobilizzati superiori ai 50000 mc:

$A = 0.05 V^{2/3}$	$B = 200 V^{2/3}$
--------------------	-------------------

VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Prendendo spunto dalle indicazioni contenute nell' **“Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici – Inventario dei centri montani esposti a pericolo”**, adottato nel 1999 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, vengono proposti alcuni approfondimenti, per quanto di larga massima, relativi all'individuazione del grado di rischio delle conoidi alluvionali di alcune delle principali valli del territorio di Monasterolo.

A tal fine, in allegato si riproduce la parte del documento citato che riguarda le “attività torrentizie sui conoidi” (paragrafo 5.2.2.1, pp. 107-110), la “valutazione del danno” (paragrafo 5.2.3, pp. 112-115) e la “valutazione del rischio” (paragrafo 5.2.4, pp. 115-116).

Valle del Colle

Definizione della massa solida			M1
	Superficie bacino (Ab)	1,308 kmq	
	Superficie conoide (Ac)	0,130 kmq	
	Ac/Ab	10%	
Tipologia del processo			T3
	Indice di Melton	0,77	
Valutazione della massa critica			MC3
		0,2 □ 1	
Intensità			I4
	Pendenza conoide	32% (>15)	

Aggiornamento della Componente Geologica del Piano di Governo del Territorio
Comune di Monasterolo del Castello (Bg)

Ricorrenza			P4
Interventi			H3
	Parzialmente migliorativi		
Opere Negative/Pericolosità finale			Z3
	Dannose		
Valutazione del danno			D1 danno basso
	E2 – nuclei abitati, infrastrutture minori		
	V1 – danni estetici o funzionali minori		
Valutazione del rischio			R2

Valle Moj

Definizione della massa solida			
	Superficie bacino (Ab)	0,108 kmq	
	Superficie conoide (Ac)	0,034 kmq	
	Ac/Ab	31%	
Tipologia del processo			T3
	Indice di Melton	1,4	
Valutazione della massa critica			MC3
		0,2 \leq 1	
Intensità			I3
	Pendenza conoide	9%	
Ricorrenza			P3
Interventi			H2
	Parzialmente migliorativi		
Opere Negative/Pericolosità finale			Z3
	Dannose (inadeguatezza opere/manutenzione)		

Valutazione del danno			D2 danno medio
	E2 – nuclei abitati, infrastrutture minori		
	V2 – bassa probabilità di distruzione o di danneggiamento		
Valutazione del rischio			R3

Valle del Grino

Definizione della massa solida			M1
	Superficie bacino (Ab)	0,258 kmq	
	Superficie conoide (Ac)	0,115 kmq	
	Ac/Ab	45%	
Tipologia del processo			T3
	Indice di Melton	1,5	
Valutazione della massa critica			MC3
		0,2 □ 1	
Intensità			I4
	Pendenza conoide	16% (>15)	
Ricorrenza			P4
Interventi			H4
	Inefficaci o assenti		
Opere Negative/Pericolosità finale			Z4
	Dannose (inadeguatezza opere/manutenzione)		
Valutazione del danno			D1 danno basso
	E1 – case sparse		
	V2 – bassa probabilità di		

Aggiornamento della Componente Geologica del Piano di Governo del Territorio
Comune di Monasterolo del Castello (Bg)

	distruzione o di danneggiamento		
Valutazione del rischio			R3

Valle Torrezzo

Definizione della massa solida			M1
	Superficie bacino (Ab)	3,23 kmq	
	Superficie conoide (Ac)	0,194 kmq	
	Ac/Ab	6%	
Tipologia del processo			T3
	Indice di Melton	0,56	
Valutazione della massa critica			MC3
		0,2 □ 1	
Intensità			I2
	Pendenza conoide	2,5%	
Ricorrenza			P2
Interventi			H1
	Parzialmente migliorativi		
Opere Negative/Pericolosità finale			Z2
	Dannose (inadeguatezza opere/manutenzione)		
Valutazione del danno			D3 danno alto
	E3 – nuclei abitati		
	V2 – bassa probabilità di distruzione o di danneggiamento		
Valutazione del rischio			R3

Valle Spirola

Definizione della massa solida			M1
	Superficie bacino (Ab)	1,12 kmq	
	Superficie conoide (Ac)	0,09 kmq	
	Ac/Ab	8%	
Tipologia del processo			T3
	Indice di Melton	2,94	
Valutazione della massa critica			MC3
		0,2 □ 1	
Intensità			I4
	Pendenza conoide	16% (>15)	
Ricorrenza			P4
Interventi			H1
	Migliorativi		
Opere Negative/Pericolosità finale			Z1
	Assenti		
Valutazione del danno			D3 danno alto
	E2 – nuclei abitati, infrastrutture minori		
	V2 – bassa probabilità di distruzione o di danneggiamento		
Valutazione del rischio			R3

Valle di Clep

Definizione della massa solida			M1
	Superficie bacino (Ab)	0,55kmq	
	Superficie conoide (Ac)	0,108 kmq	
	Ac/Ab	19%	

Aggiornamento della Componente Geologica del Piano di Governo del Territorio
Comune di Monasterolo del Castello (Bg)

Tipologia del processo			T3
	Indice di Melton	1,09	
Valutazione della massa critica			MC3
		0,2 □ 1	
Intensità			I4
	Pendenza conoide	20% (>15)	
Ricorrenza			P4
Interventi			H3
	Parzialm. Migliorativi		
Opere Negative/Pericolosità finale			Z3
	Assenti		
Valutazione del danno			D1 danno basso
	E1 – case sparse		
	V2 – bassa probabilità di distruzione o di danneggiamento		
Valutazione del rischio			R2

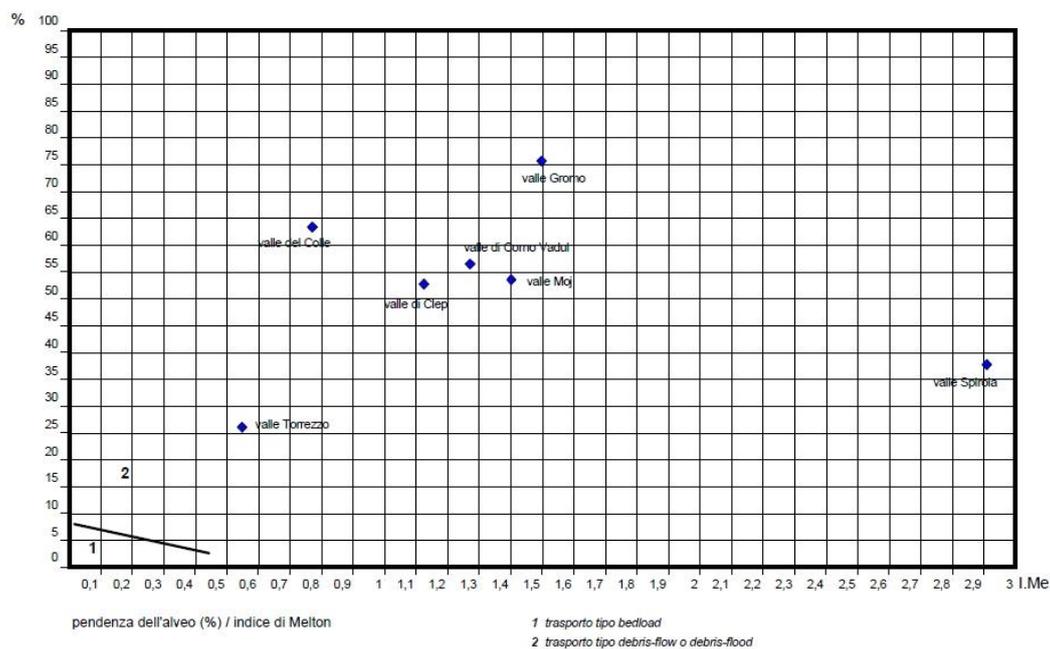
Valle di Corno Vadul

Definizione della massa solida			M1
	Superficie bacino (Ab)	0,25kmq	
	Superficie conoide (Ac)	0,038 kmq	
	Ac/Ab	15%	
Tipologia del processo			T3
	Indice di Melton	1,26	
Valutazione della massa critica			MC3
		0,2 □ 1	
Intensità			I3
	Pendenza conoide	10% (<15)	

Aggiornamento della Componente Geologica del Piano di Governo del Territorio
Comune di Monasterolo del Castello (Bg)

Ricorrenza			P3
Interventi			H2
	Parzialm. Migliorativi		
Opere Negative/Pericolosità finale			Z2
	Assenti		
Valutazione del danno			D1 danno basso
	E1 – case sparse		
	V2 – bassa probabilità di distruzione o di danneggiamento		
Valutazione del rischio			R2

Diagramma di Marchi



Valutazione sulla pericolosità delle conoidi - Tabella riassuntiva

	Definizione della massa solida	Tipologia del processo	Valutazione della massa critica	Intensità	Ricorrenza	Interventi	Opere negative	Valutazione del danno	Valutazione del rischio
Valle del Colle	M1	T3	MC3	I4	P4	H3	Z3	D1	R2
Valle Moj	M1	T3	MC3	I3	P3	H2	Z3	D2	R3
Valle Grino	M1	T3	MC3	I4	P4	H4	Z4	D1	R3
Valle Torrezzo	M1	T3	MC3	I2	P2	H1	Z2	D3	R3
Valle Spirola	M1	T3	MC3	I4	P4	H1	Z1	D3	R3
Valle di Clep	M1	T3	MC3	I4	P4	H3	Z3	D1	R2
Valle di Corno Vadul	M1	T3	MC3	I3	P3	H2	Z3	D1	R2

17 CONSIDERAZIONI SUL GRADO DI RISCHIO ASSOCIATO AL RETICOLO IDROGRAFICO MINORE

Escludendo in questa sede le valli principali di Torrezzo e di Spirola, il cui grado di rischio è ben noto e per le quali numerosi sono stati gli interventi di mitigazione del rischi negli anni recenti, dai rilievi effettuati sulle restanti vallate del territorio comunale nei mesi di Febbraio e Marzo 2013 è risultato essere compromesso il deflusso idrico in diversi punti di tale reticolo.

La realizzazione di opere di regimazione e tombinatura costituiscono un serio problema in diversi punti dell'area in esame. L'effetto di strozzatura dei corsi d'acqua ha portato in alcuni casi all'intasamento delle opere di regimazione (tubature) e più in generale la vicinanza delle abitazioni comporta un elevato rischio di allagamento. Ne sono un esempio i casi riscontrati lungo la stradella della Vidalba (in prossimità della strada provinciale) dove piccoli impluvi sono regimati con tombinature sotto il livello stradale.



Tubature intasate lungo la Stradella della Vidalba



taglio delle soglie lungo la valle Moj

Det

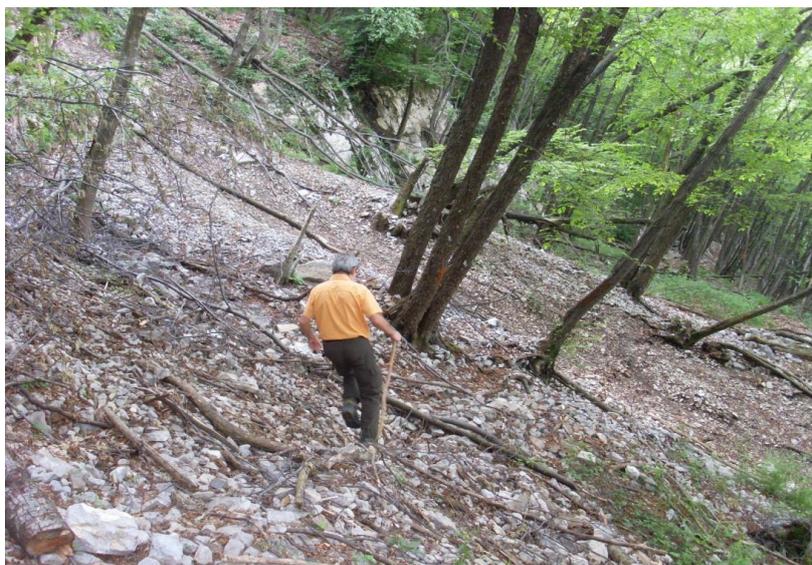
In questo caso le opere idrauliche risultano persino incomplete in quanto il deflusso idrico prosegue a valle senza nessun tipo di opera di regimazione, bensì supera il salto di pendenza verso il terreno sottostante scorrendo liberamente.

Anche lungo la Valle Moj, dai rilievi effettuati nei primi mesi del 2013 si sono riscontrate delle criticità lungo il percorso di regolare deflusso idrico. Sono necessari interventi di ripristino dove il corso d'acqua scorre in prossimità della cappella votiva nei pressi del centro abitato; qui esistono delle vecchie soglie ormai danneggiate

dal tempo e che andrebbero almeno liberate dal detrito.

A valle di queste opere il corso d'acqua scorre arginato da una massicciata in terra che lo separa dalle adiacenti abitazioni, di recente realizzazione. Tale massicciata risulta efficace in caso di deflusso normale, ma potrebbe non essere sufficiente in caso di eventi caratterizzati da intensa piovosità.

La Valle del Grino, che si estende dalle pareti rocciose a monte sino alla piana alluvionale a valle, risulta essere la meno regimata e ripristinata da un punto di vista idrogeologico. La coltre detritica è costituita da ghiaie e ciottoli, diffusamente presenti sia lungo l'impluvio principale sia sui versanti limitrofi. L'intera area risulta interessata da numerose piccole conoidi detritiche con origine puntiforme che si sviluppano verso valle per decine di metri di lunghezza se non centinaia nel caso delle più estese. Esse hanno origine dalle bancate rocciose presenti a monte dell'area boscata e anche dalle piccole, ma diffuse balze di roccia presenti lungo il versante vegetato. Tutto ciò crea delle condizioni di diffuso dissesto lungo tutto il versante e non solo all'interno dell'impluvio.



Detrito ghiaioso lungo il versante vegetato nei pressi della Valle del Grino

18 ANALISI DEI RISCHIO CONNESSO ALLA CADUTA MASSI

Le aree interessate da crolli nel comune di Monasterolo del Castello sono distribuite lungo fasce discontinue su quote diverse. Tale aspetto è determinato dalla presenza di costoni rocciosi dai quali si hanno importanti crolli di materiale roccioso.



Queste fasce hanno uno spessore di qualche decina di metri e sono costituite da Dolomia a Choncodon più o meno fratturata.

Il materiale detritico in prevalenza si

accumula alla base delle pareti con il tipico angolo di riposo molto inclinato. In alcuni casi si sono rilevati massi di medie e grosse dimensione a notevole distanza rispetto alla parete di distacco.

Una prima area frequentemente interessata da crolli si trova a sud-ovest della Valle Spirola, ad una quota compresa tra i 430 m e 470 m. La zona di accumulo dei crolli sovrasta diverse abitazioni presenti a valle lungo la strada provinciale per Casazza.



Il materiale detritico è distribuito lungo un falso piano di dimensioni limitate che sovrasta l'area abitata a valle; in prevalenza si tratta di blocchi di roccia di dimensione

da metriche a decametriche. La parete rocciosa è molto fratturata e in progressivo deterioramento.

Va ricordato come negli anni passati si siano verificati crolli che hanno raggiunto le abitazioni poste alla base del versante.

Un'altra area interessata dalla caduta di massi, seppur più sporadicamente, si trova tra la valle di Torrezzo e la valletta in località Legner. Qui si sviluppa una morfologia più dolce che si estende su quote che vanno dai 400m fino ai 500m, parzialmente coperte da vegetazione e in gran parte costituite da pascoli. La zona di distacco è costituita dall'ampia parete rocciosa costituita da Dolomia Choncodon che caratterizza le creste rocciose presenti intorno ai 900-1000m di quota. In questo caso i crolli comportano il distacco di singoli blocchi o scaglie di dolomia che si accumulano singolarmente sino ad una distanza massima riscontrata alla quota di 450m.



Blocco di Dolomia Choncodon alla quota di 450m

Va detto che poco più a monte (qualche decina di metro di dislivello) inizia l'area boscata che caratterizza il versante fino alla parete rocciosa. Sul terreno si è rilevata la presenza di abbondante detrito di versante accumulatosi preferenzialmente nell'area vegetata, probabilmente in seguito a crolli dalle pareti rocciose sommitali. Questo dimostra come solo in casi sporadici i fenomeni di crollo possano raggiungere i pascoli a valle e di conseguenza le abitazioni limitrofe.



Traiettoria caduta massi in località Seradino

Più in generale va detto che tutte le creste rocciose che caratterizzano i versanti fronte lago sono interessate da crolli di dimensioni variabili, anche se in pochi casi rispetto alla totalità del fenomeno si verificano cadute in grado di interessare abitazioni o manufatti di natura antropica. Ciò è possibile grazie all'azione protettiva svolta dai boschi diffusamente presenti sul territorio comunale, infatti essi si sviluppano fino alla base delle pareti rocciose principali a quota 900-1000m creando una vera e propria fascia protettiva rispetto alle zone abitate presenti sul fondovalle.



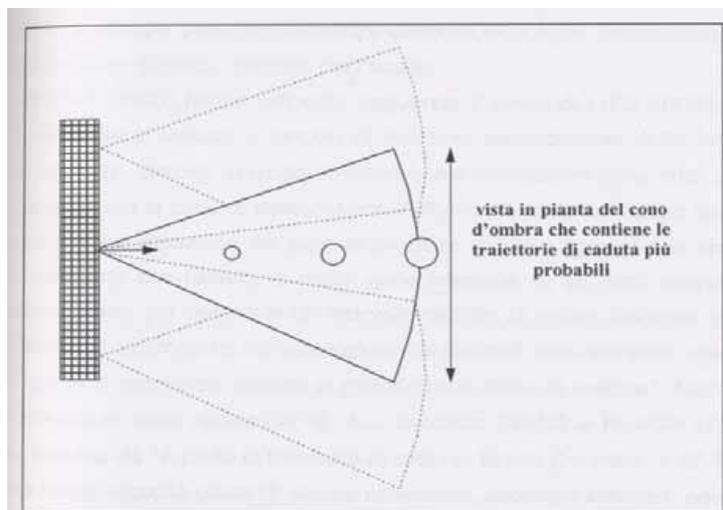
Panoramica del territorio comunale di Monasterolo del Castello

19 PROCEDURE PER LA VALUTAZIONE E LA ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITA' PER FENOMENI DI CROLLO

Il metodo empirico per definire l'area interessata da un fenomeno di crollo si basa sul cosiddetto "cono d'ombra", che sottende la zona in cui la maggior parte dei blocchi si dovrebbero arrestare.

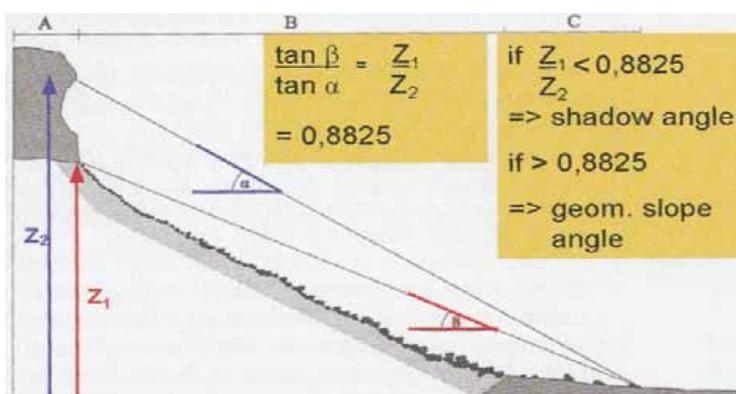
Il metodo si basa sugli studi di HEIM (1932), di LIED (1977), di ONOFRI & CANDIAN (1979), di EVANS & HUNGR (1993) e di MEISSL (1998). Questo metodo previsionale empirico si basa sul concetto di linea di energia e di angolo di attrito equivalente; l'area interessata da un crollo può venir delimitata da un "cono" definito utilizzando l'angolo d'ombra minimo, a partire da una parete o da una porzione di versante possibile origine di crolli, oppure l'angolo di inclinazione del versante. L'angolo d'ombra minimo è definito come l'inclinazione della retta che congiunge l'apice del talus con il blocco più lontano; secondo EVANS & HUNGR (1993), il valore medio di tale angolo è di $27,5^\circ$. Un'altra possibilità è di utilizzare l'angolo di inclinazione del versante (zona di deposito), calcolato partendo dal punto più alto della zona di distacco, congiungendolo con il masso che ha raggiunto la

massima distanza di espandimento, che in genere fornisce valori compresi tra 28° e 41° (ONOFRI & CANDIAN, 1979).



Delimitazione in pianta del "cono d'ombra" per frane di crollo.

La scelta tra i due metodi può essere effettuata in modo teorico, utilizzando la seguente



relazione:

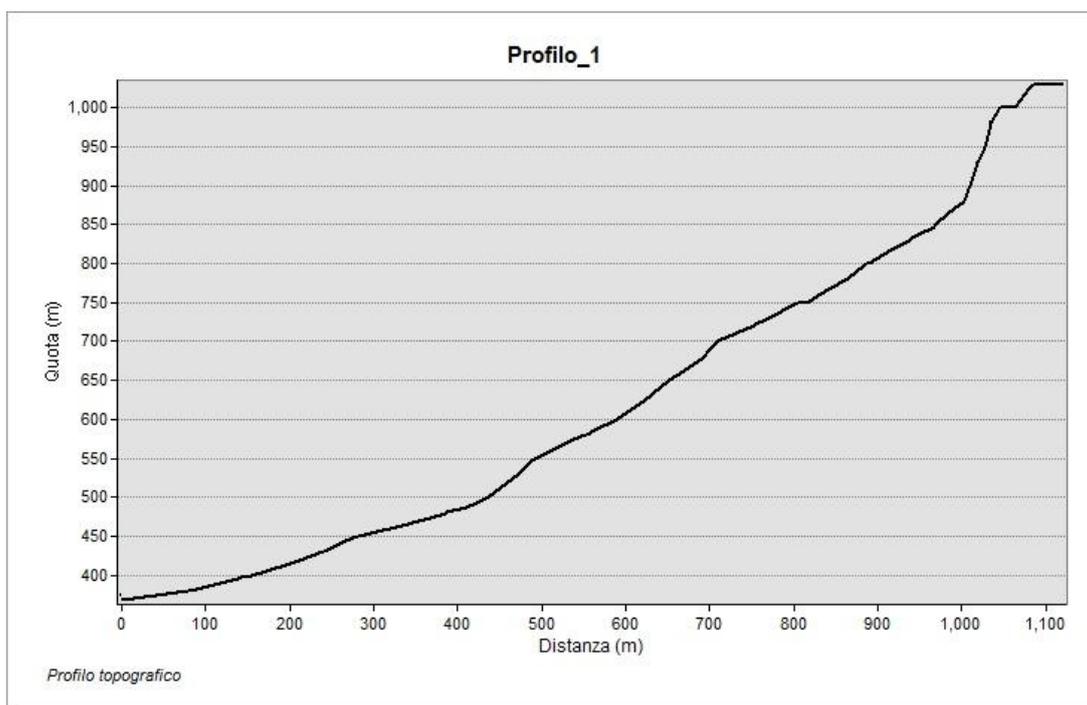
Basi teoriche che illustrano quando usare l'angolo ombra minimo o l'angolo di inclinazione del versante.

se $Z_1/Z_2 < 0.8825$ si utilizza l'angolo d'ombra minimo; se tale rapporto è > 0.8825 , si



utilizza l'angolo di inclinazione del versante. Il metodo sopra descritto è stato utilizzato per determinare, su basi tecniche suggerite dalle normative vigenti, sebbene semplificate, le aree potenzialmente raggiunte dai massi provenienti dalle pareti rocciose che fasciano il versante, a quote diverse, a monte di Monasterolo, anche sulla base delle osservazioni di terreno che hanno determinato in molti casi le quote raggiunte dai massi in movimento.

Il metodo in particolare è stato applicato su alcune sezioni tracciate lungo il versante a monte della loc. Legner-Seradino e in loc. Rosate, in corrispondenza delle aree dove è stato rilevato il grado più alto di rischio di caduta massi.

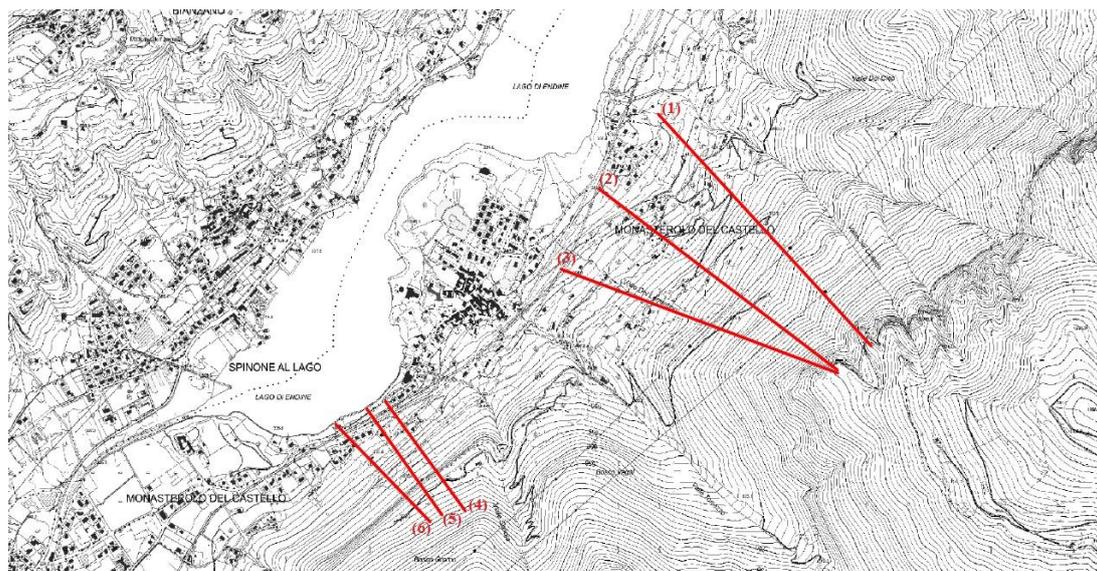


Le conclusioni ottenute sono poi state verificate anche alla luce delle informazioni disponibili, soprattutto sul GeoIFFI, dove viene rappresentato il grado di pericolosità dei versante sottostanti le dette pareti rocciose.

APPLICAZIONE METODO DEL CONO D'OMBRA

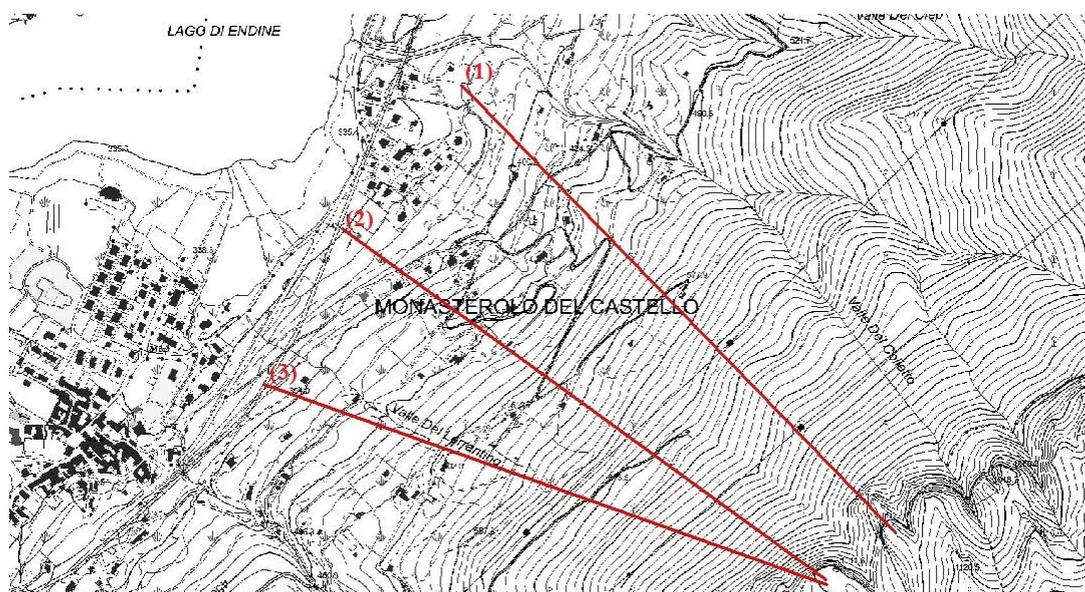
(collaborazione Andrea Visconti)

I profili presi in considerazione sono stati scelti in funzione dei rilievi effettuati sul territorio comunale. Per questo motivo in seguito all'individuazione di due aree specifiche in cui si sono riscontrati crolli, si è proceduto estraendo alcuni profili topografici rappresentativi del percorso potenziale seguito dai massi durante la caduta.



Collocazione generale delle sezioni analizzate (CTR regionale, comune di Monasterolo del Castello)

La prima delle due aree in esame si estende tra le valli del Colle e di Torrezzo ed è interessata da caduta massi (dimensioni metriche) la cui origine è riconducibile alle pareti rocciose affioranti al top del rilievo (900-1000m). Sono stati estratti 3 profili di quest'area, con orientazioni diverse.



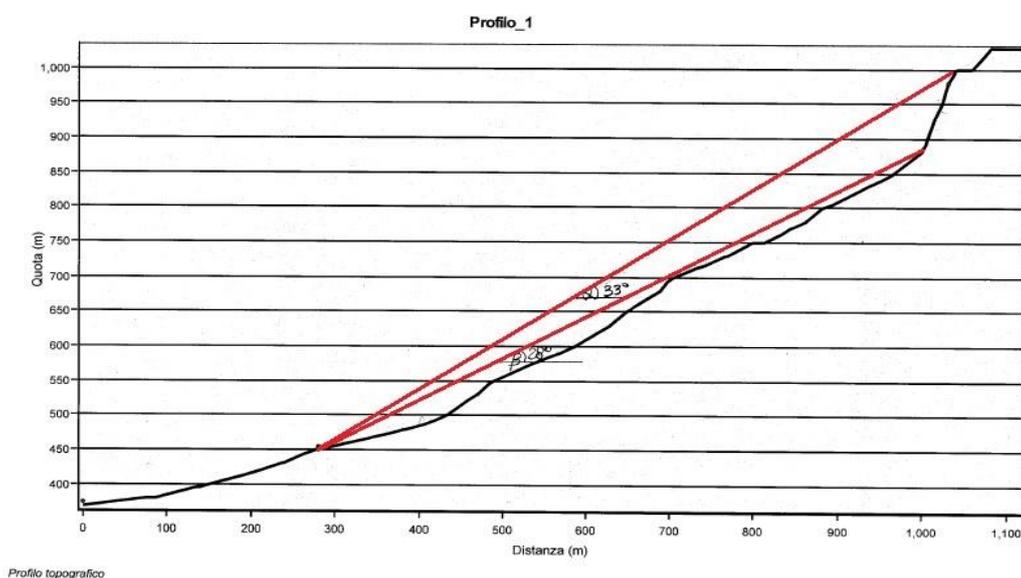
Stralcio CTR Monasterolo del Castello, area tra le valli del Colle e di Torrezzo

Su ogni profilo è stato applicato il metodo del cono d'ombra in modo da stabilire quale angolo utilizzare per poter definire l'area in pianta, interessata dalla caduta. Risulta perciò molto importante stabilire attraverso l'analisi su terreno, quali siano le pareti sorgenti del crollo, oltre all'individuazione del punto d'arresto che rappresenti la massima distanza di espandimento.

Gli angoli presi in considerazione sono misurati considerando costante il punto d'arresto e variabile il punto d'innesco del distacco; sarà perciò possibile individuare l'angolo di inclinazione del versante (α) e l'angolo d'ombra minimo (β). Il rapporto tra la tangente di beta e la tangente di alfa potrà essere inferiore o superiore ad un valore costante, 0.8825.

Nel caso tale rapporto risulti minore di 0.8825 verrà impiegato l'angolo d'ombra minimo per definire l'ampiezza del cono d'espansione in pianta; in caso contrario verrà impiegato l'angolo di inclinazione del versante.

Profilo n.1

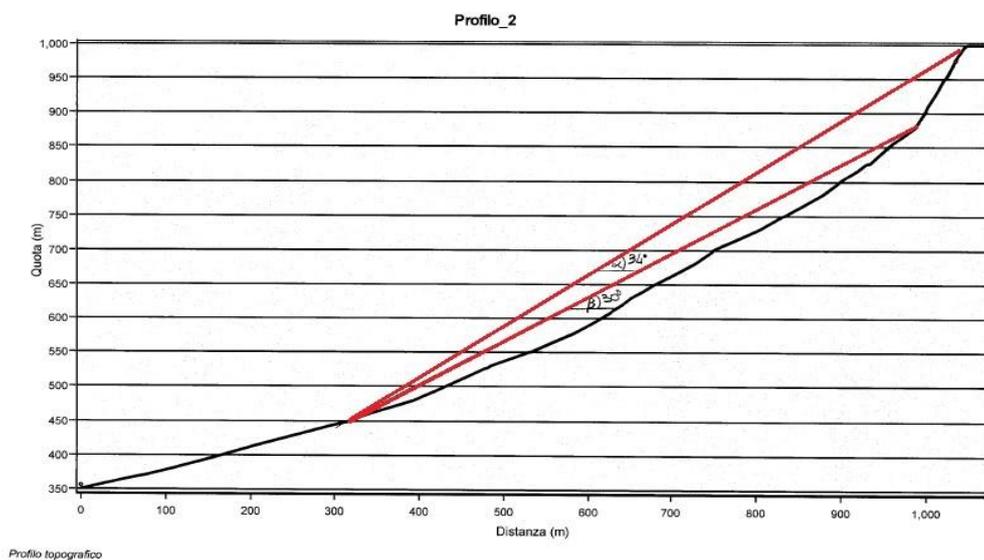


$$\alpha=33^{\circ} \quad \beta=28^{\circ}$$

$$\tan\beta/\tan\alpha=z1/z2=0.8187$$

Risultando $\tan\beta/\tan\alpha < 0,8825 \Rightarrow$ ANGOLO D'OMBRA MINIMO

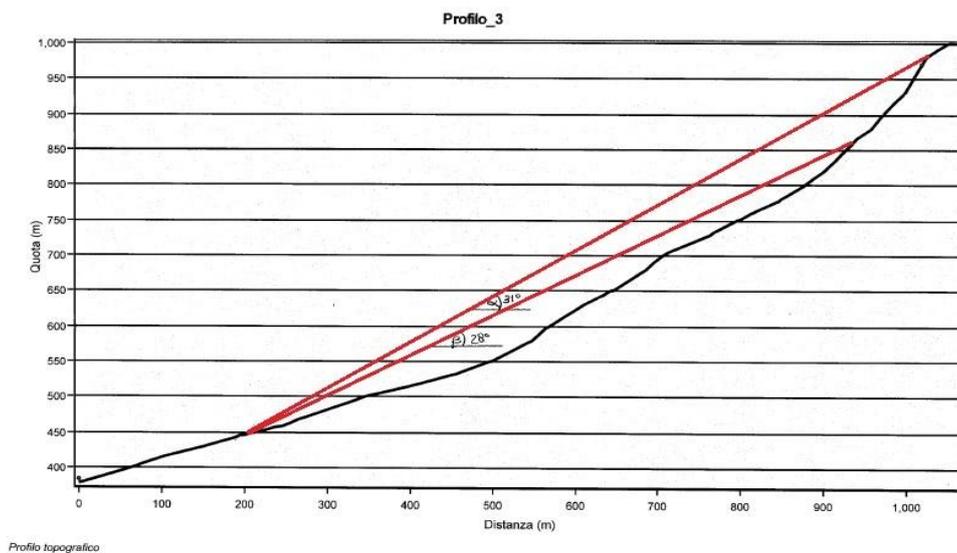
Profilo n.2



$$\alpha = 34^\circ \quad \beta = 30^\circ$$

$$\tan\beta / \tan\alpha = z1/z2 = 0.8560$$

Risultando $\tan\beta / \tan\alpha < 0,8825 \Rightarrow$ ANGOLO D'OMBRA MINIMO



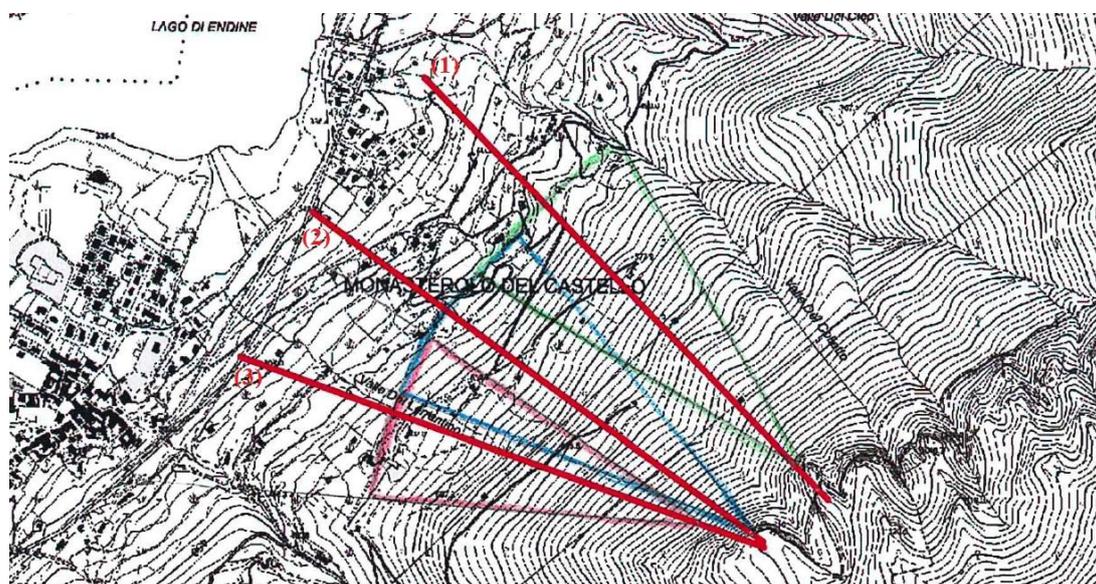
Profilo n.3

$$\alpha=31^{\circ} \quad \beta=28^{\circ}$$

$$\tan\beta/\tan\alpha=z1/z2=0.8849$$

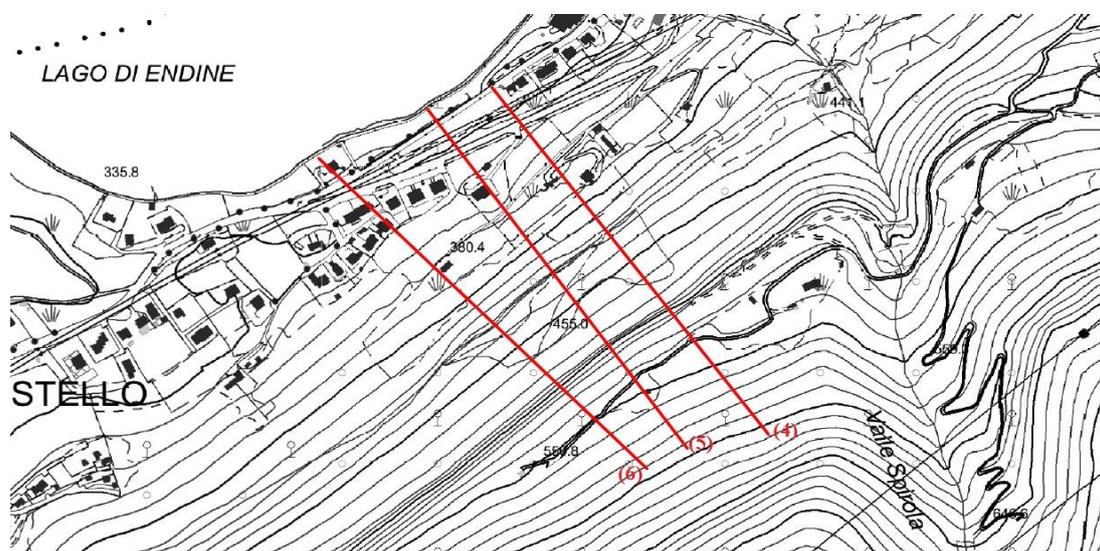
Risultando $\tan\beta/\tan\alpha > 0,8825 \Rightarrow$ ANGOLO DI INCLINAZIONE DEL VERSANTE

Concluso il calcolo degli angoli seguendo i parametri imposti da tale metodo, è possibile rappresentare in pianta i coni d'espansione caratteristici di ognuna delle sezioni tracciate.



Rappresentazione cono d'ombra in pianta, stralcio CTR comune di Monasterolo del Castello

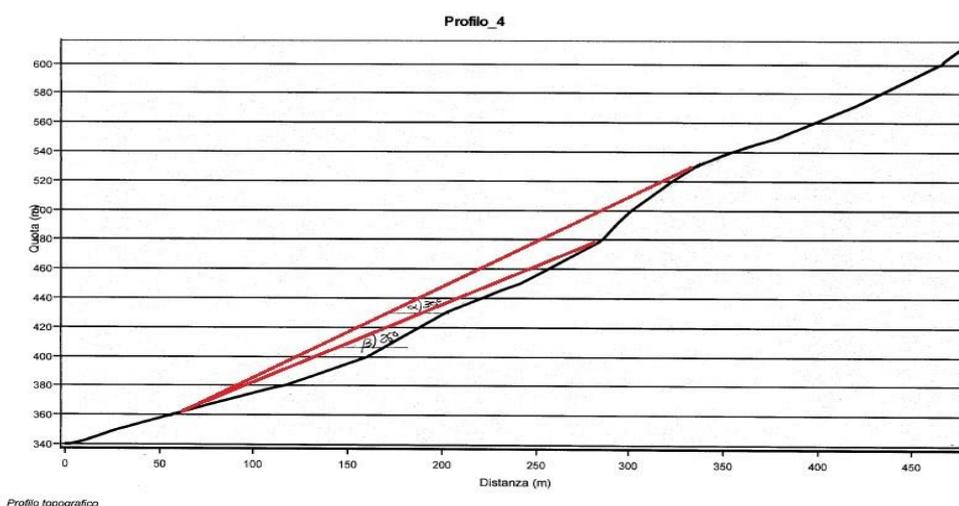
La seconda area presa in esame si estende su un'area di gran lunga minore rispetto alla precedente. In questo caso il dislivello è molto limitato e la traiettoria seguita dai massi è piuttosto breve. Nonostante ciò si è voluto analizzare in dettaglio il fenomeno per via dei numerosi eventi di crollo registrati negli ultimi anni.



Stralcio CTR Monasterolo del Castello, loc. Rosate

Come nel caso di studio precedente si applica singolarmente, ad ogni profilo estratto, il metodo del cono d'ombra. In questo caso l'applicazione di tale metodo ha voluto essere una dettagliata verifica di una dinamica di versante già nota e verificata. Così facendo si è potuto dimostrare come le coste rocciose che interessano questa porzione del territorio comunale, siano sergenti di materiale detritico di piccole e medie dimensioni che può interessare le aree edificate a valle su traiettorie variabili rispetto ad un unico punto sorgente.

Profilo n.4

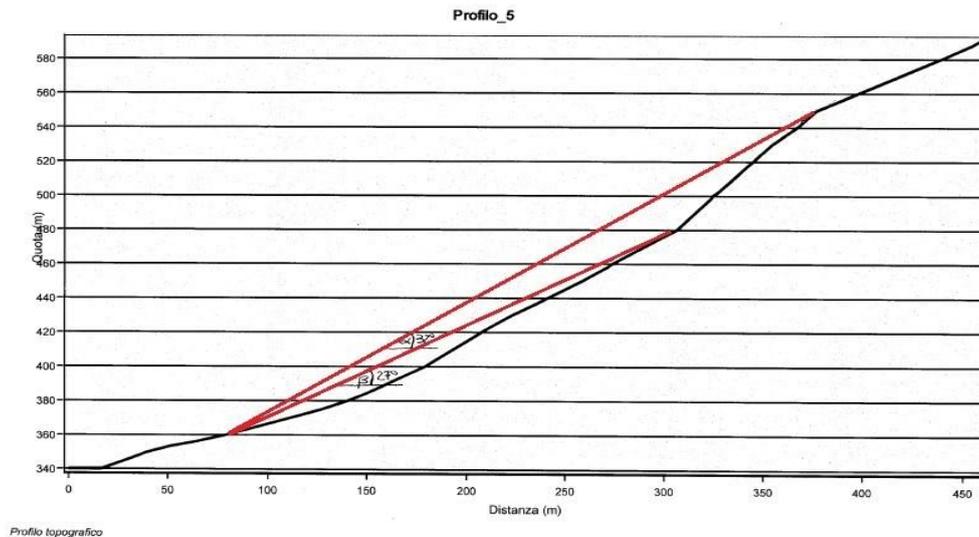


$$\alpha=30^\circ \quad \beta=26^\circ$$

$$\tan\beta/\tan\alpha=z1/z2=0.8447$$

Risultando $\tan\beta/\tan\alpha < 0,8825 \Rightarrow$ ANGOLO D'OMBRA MINIMO

Profilo n.5

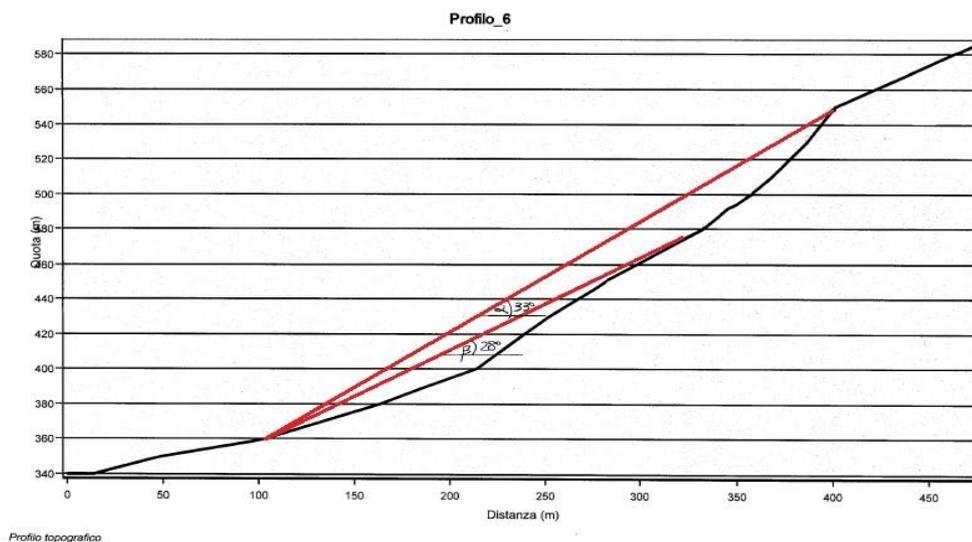


$$\alpha=32^\circ \quad \beta=27^\circ$$

$$\tan\beta/\tan\alpha=z1/z2=0.8154$$

Risultando $\tan\beta/\tan\alpha < 0,8825 \Rightarrow$ ANGOLO D'OMBRA MINIMO

Profilo n.6

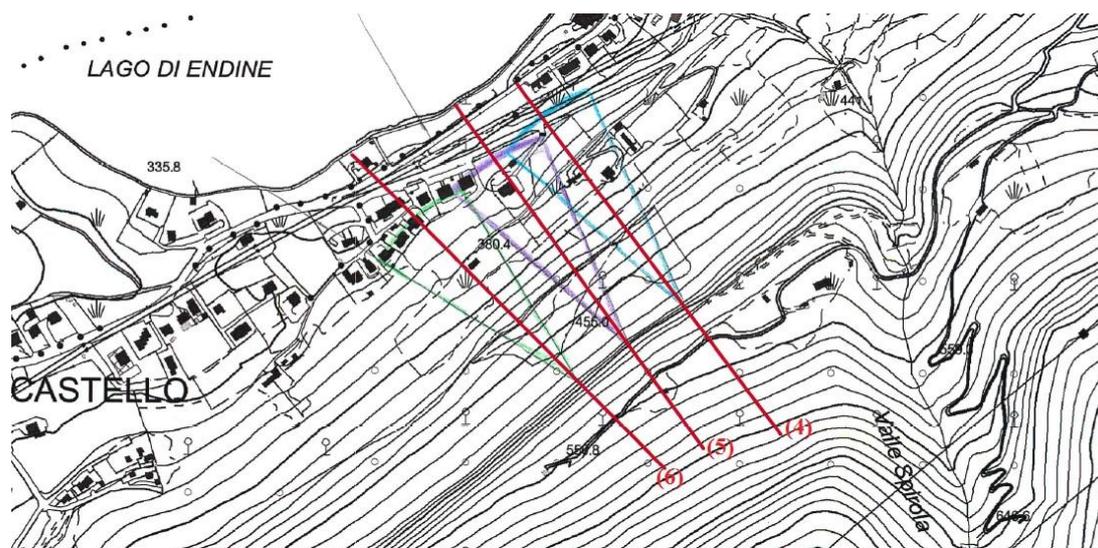


$$\alpha=33^\circ \quad \beta=28^\circ$$

$$\tan\beta/\tan\alpha=z1/z2=0.8187$$

Risultando $\tan\beta/\tan\alpha < 0,8825 \Rightarrow$ ANGOLO D'OMBRA MINIMO

In conclusione, come nel caso precedente è stato possibile rappresentare in pianta il



cono d'ombra associato ad ognuna delle sezioni tracciate.

DOCUMENTAZIONE STORICA

Durante la fase preliminare si è resa necessaria una complessiva consultazione dell'archivio comunale al fine di stabilire una cronologia degli eventi di dissesto che hanno interessato il territorio comunale nel tempo. L'elenco che segue cerca di essere il più esaustivo possibile, seppur limitato dalle possibili mancanze nella documentazione d'archivio. Infatti risultano registrati solo gli eventi più significativi e catastrofici dal primo dopoguerra ad oggi.

Eventi di dissesto

- Precipitazioni eccezionali del 5 settembre 1948

Dalla documentazione storica inerente il bacino della Valle Spirola risulta che *il nubifragio convogliò dalla Val Piana una massa d'acqua imponente che formò una cascata dal costone roccioso scavando profondamente l'alveo sottostante e trascinò un'ingente massa di ghiaia e pietrame, anche di grosse dimensioni, tra l'abitato di Monasterolo e la stretta Prada Niversoli, distruggendo prati e vigneti, facendo crollare due case¹.*

- Intense precipitazioni dell'8 novembre 1951

Sempre in merito alla Valle Spirola dall'archivio si riscontra che *in seguito alle intense precipitazioni verificatesi l'8 novembre 1951, la barriera detritica che si era formata a monte del paese con la precedente alluvione venne rimossa dalle acque impetuose, invadendo i coltivi e dilagando tra le case².*

- Intense precipitazioni del 16-17-18 ottobre 1953

Ancora dalla documentazione storica riguardante la Valle Spirola risulta che *piovve intensamente dal 16 al 18 ottobre finché una grande massa d'acqua e detriti precipitò a valle distruggendo le opere di difesa, provocando frane e convogliando grossi macigni a valle. La massa detritica invase l'intero abitato e le campagne circostanti³.*

- Nubifragio del 22 settembre 1979

Dalla documentazione si riscontra che *nella mattinata di sabato 22 settembre, in seguito a violenti nubifragi, si sono avuti movimenti franosi prodotto dall'enorme quantità di acqua caduta nelle prime ore della giornata⁴.* Dalla documentazione si riscontra la stima di numerosi danni che hanno interessato diffusamente il territorio comunale.

- Nubifragio del 26 giugno 1987

Dai documenti dell'epoca si registra che *il nubifragio, seppur di notevole violenza e con precipitazioni eccezionali, non ha causato danni particolari; gli argini dei corsi d'acqua hanno retto l'urto di piena abbastanza bene. Dai sopralluoghi effettuati si è evidenziato che tutti i corsi d'acqua del territorio comunale necessitano di urgenti opere di manutenzione come la pulizia dell'alveo dai detriti accumulatisi a seguito dell'ultimo nubifragio*⁵. Dalla documentazione appare evidente come la gran parte degli alvei risultino occlusi in prossimità dei sottopassi stradale lungo lago.

- Eventi ad intensa piovosità nel novembre del 1994

Dalle comunicazioni del Comune di Monasterolo del Castello alla Regione Lombardia si registra *una situazione di potenziale franamento di materiale accumulato in Valle Spirola, in seguito alle abbondanti precipitazioni che hanno interessato l'intero paese*⁶.

- Eventi in relazione alle intense precipitazioni del 26-27 giugno 1997

Dai documenti in archivio si riscontra che *in relazione alle intense precipitazioni del 26-27 giugno 1997, sono stati segnalati ruscellamenti di materiale detritico a circa ml. 800 di altezza nella Valle Torrezzo. I detriti, ora accatastati su un pianoro nel bosco, sono stati quantificati in parecchie migliaia di mc di ghiaia grossa. Tale ghiaia ha completamente invaso il bosco e sicuramente verrà trasportata a valle in occasione di nuove abbondanti precipitazioni. Si è riscontrato il dilavamento dei piedi delle gabbionate realizzate in passato, con la previsione di possibili cedimenti delle stesse in presenza di forti precipitazioni*⁷.

- Frana di crollo in Valle di Torrezzo del biennio 1999-2000

*La frana ha interessato la sponda destra idrografica della valle di Torrezzo, nelle immediate vicinanze della briglia a quota 700m. Il tratto di versante franato appartiene alla fascia rocciosa caratterizzata da pendenze prossime al verticale, corrispondente al contatto tra il Calcare di Zu e la Dolomia Conchodon; ai piedi della porzione franata era presente un tratto di parete strapiombante che non è stato quindi in grado di fare da contrafforte e sostegno agli spessi banchi carbonatici soprastanti. La massa rocciosa franata, con un volume stimabile in circa 5000m³, ha completamente coperto la strada di accesso alla Santella della Madonna del Gerù lambendo il corpo della briglia in gabbioni. Alcuni grossi massi sono rotolati verso valle per parecchie decine di metri, senza però superare il rilevato naturale che in questo tratto funge da argine dell'alveo del torrente*⁸.

20 IL PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

Anche il Comune di Monasterolo del Castello risulta naturalmente inserito nel Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), predisposto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po.

La documentazione inviata originariamente al Comune, "Atlante dei rischi idraulici ed idrogeologici – delimitazione delle aree in dissesto" foglio 098 sez. I- Casazza, scala 1:25.000, ha individuato sul territorio comunale alcune aree in dissesto indicate come conoidi attive non protette – "Ca", ed alcune aree di frana attiva "Fa". Le aree di frana attiva ("Fa") sono ubicate nel settore montano del territorio comunale, alla testata della Valle del Colle e presso la località Belzignolo (Corno Vadul); le aree di conoide attiva non protetta "Ca" sono delimitate allo sbocco della Valle del Grino (o Bosco Gromo), delle valli Spirola e Torrezzo, della Valle del Colle e della Valle di Clep.

Monasterolo è inoltre tra i comuni "non esonerati" dalla procedura di cui all'art.18, comma 1, delle NdA del PAI.

Secondo questo articolo, la Regione Lombardia, nell'ambito di quanto disposto all'art.5, comma 2 delle citate NdA, ha il compito di emanare delle disposizioni concernenti l'attuazione del Piano (P.A.I.) nel settore urbanistico e conseguenti alle condizioni di dissesto delimitate nella cartografia dell'elaborato 2 "Atlante dei rischi idraulici ed idrogeologici – allegato 4 – Delimitazioni delle aree di dissesto"; ciò è stato fatto con l'approvazione della Delibera di Giunta Regionale 11 dicembre 2001, n. 7/7365 "Attuazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI) in campo urbanistico. Art. 17, comma 5, della Legge 18 maggio 1989 n. 183".

Il comune, dovendo adottare tali disposizioni negli strumenti urbanistici ed adeguarli in base all'art.18, comma 1, al fine di migliorare l'efficacia dell'azione di prevenzione, può adottare, in base all'art.18, commi 2 e 3, delle NdA del PAI, delle varianti urbanistiche che contengono delle proposte di aggiornamento all'elaborato 2 "Atlante dei rischi idraulici ed idrogeologici – allegato 4 – Delimitazioni delle aree di dissesto".

Tali proposte devono essere il risultato di una verifica di compatibilità idraulica ed idrogeologica delle previsioni degli strumenti urbanistici vigenti con le condizioni di dissesto rilevate nella citata cartografia del Piano, attuata con analisi di dettaglio.

Le proposte di adeguamento adottate dal Comune devono essere redatte in base alle risultanze di uno studio geologico redatto ai sensi della l.r. 12/2005 e criteri attuativi. In base all'art.6 della deliberazione di adozione del PAI (18/2001) la Regione trasmetterà all'Autorità di Bacino le proposte di aggiornamento dell'elaborato sopraccitato risultanti dalle varianti adottate secondo quanto sopra indicato.

Il presente studio, che ha per oggetto l'intero territorio comunale così come imposto dalla l.r. 12/2005, e prima ancora dalla ex l.r. 41/1997, contiene dunque in sé la ripresa del precedente azzonamento delle aree di conoide, approvato in prima istanza dalla Regione Lombardia, senza sostanziali modifiche tranne limitati aggiustamenti dovuti alla diversa base cartografica e a ulteriori verifiche sul campo, nonché la proposta di una nuova ripermetrazione – con adeguamenti e/o ampliamenti delle superfici - delle aree a rischio di frana poste soprattutto nel settore montano, quelle aree, cioè, che interferiscono più o meno direttamente con aree urbanizzate o comunque a maggiore fruizione antropica, comprendendo anche i settori potenzialmente interessati dalla caduta/rotolamento di blocchi rocciosi, definiti sulla base di osservazioni su terreno e dell'applicazione del cosiddetto “metodo del cono d'ombra” descritto negli allegati tecnici della d.g.r. 2616/2011.

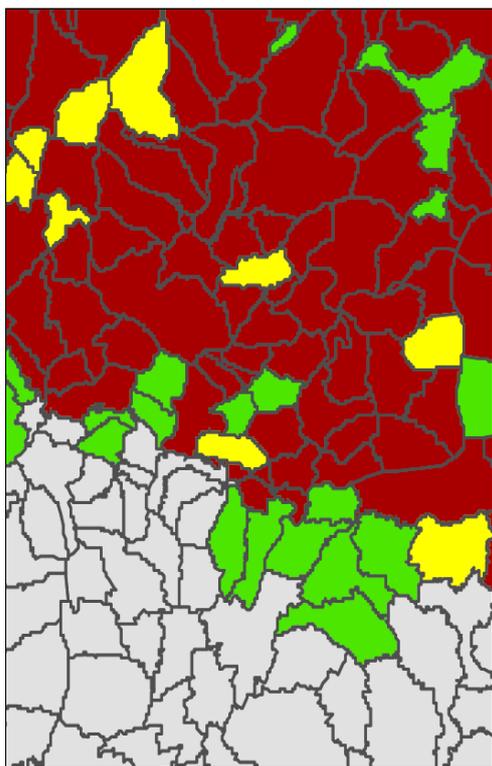
La proposta originaria del 2002 di riazonamento delle aree PAI è stata preliminarmente approvata, seppure con alcune prescrizioni (poi correttamente recepite in cartografia), dalla Regione Lombardia con il citato parere del 18 dicembre 2002, prot. Z1.2002.56680; tuttavia, la conclusione formale dell'iter PAI, con la consegna di due copie delle tavole alla Regione e la trasmissione della relativa variante urbanistica, non è mai avvenuta, per cui attualmente il Comune di Monasterolo viene indicato nell'Allegato 13, Tab. 1, della citata d.g.r. 2616/2011 tra i Comuni che non risulta abbiano concluso l'iter di cui all'art. 18 del PAI.

La **Carta dei dissesti uniformata alla legenda PAI**, redatta sulla base del presente studio, che aggiorna ed adegua la precedente del 2002, costituisce parte integrante

dello studio geologico del territorio comunale, così come previsto dalla l.r. 12/2005 e dai successivi criteri di attuazione, nonché dalla “Direttiva PAI” citata.

Come già accennato nel precedente capitolo relativo alla metodologia di redazione dello studio, una parte importante dell'aggiornamento delle superfici considerate a rischio idrogeologico, è consistita nella verifica e valutazione delle informazioni contenute in documenti disponibili in bibliografia o su siti istituzionali, in gran parte aggiornati o redatti o comunque ampliati successivamente all'anno 2002, anno di predisposizione dell'originario studio geologico comunale.

Tra la documentazione consultata, assume particolare importanza il “quadro del dissesto” (IFFI) proposto dalla Regione Lombardia nel suo sito internet istituzionale, derivante da un progetto a più ampio respiro, esteso al territorio nazionale, rigidamente codificato e basato soprattutto su segnalazioni di rilevatori o conoscitori dei singoli



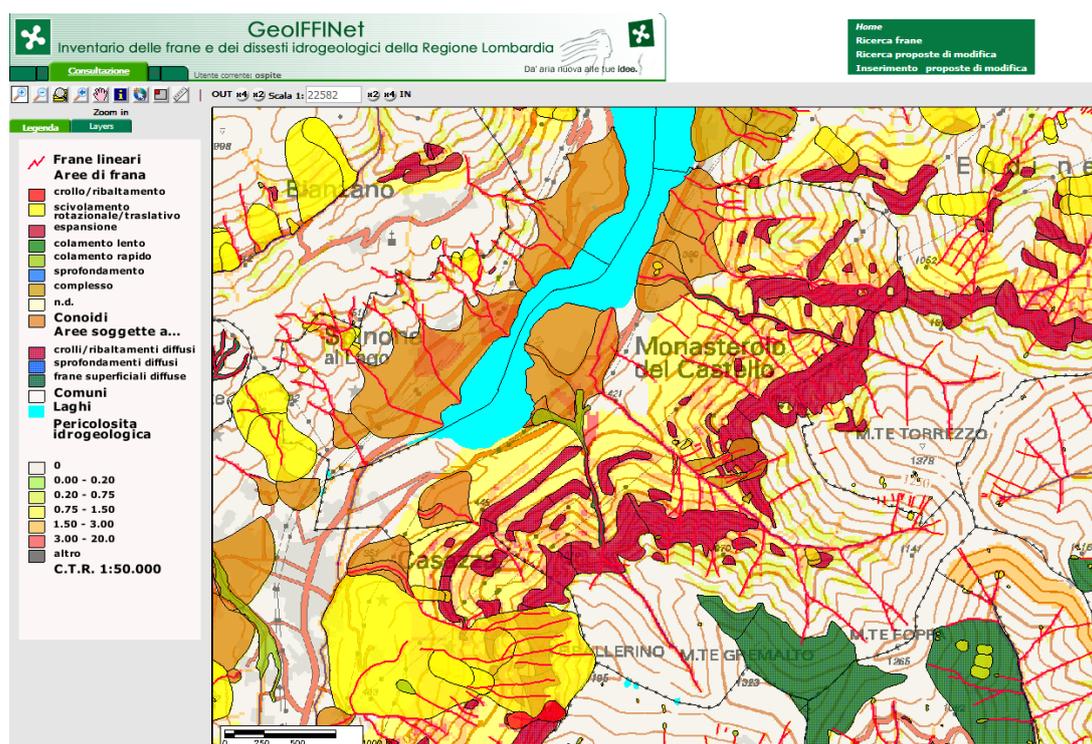
Carta del livello di attenzione per rischio da frana su base comunale

territori e su fotointerpretazione (in questo caso da verificare con attenzione); ogni segnalazione è corredata da una scheda riassuntiva e descrittiva delle modalità di rilievo e delle caratteristiche del dissesto.

In generale, anche il territorio di Monasterolo del Castello viene rappresentato sinteticamente in una cartografia generale e assolutamente indicativa, che tuttavia riassume le condizioni del territorio comunale in relazione al grado di dissesto rilevato e/o segnalato. Si tratta della “Carta del livello di attenzione per rischio da frana su base comunale”, nella quale al Comune di Monasterolo del Castello (peraltro come gran parte dei comuni vicini) viene attribuito un

livello di attenzione “molto elevato”, determinato sulla base delle frane del Progetto IFFI, degli elementi a rischio derivati dal Corine Land Cover 2000 e delle infrastrutture lineari di trasporto.

Evidentemente, tale cartografia può rappresentare solo un'indicazione molto generale delle condizioni di dissesto di un territorio comunale; tuttavia, la cartografia allegata al Progetto IFFI risulta decisamente più completa e dettagliata e con essa (v. sito web GeoIFFINet della Regione Lombardia), più ancora che con analoghe cartografie regionali e/o provinciali, sono stati eseguiti confronti e verifiche con quanto effettivamente riscontrato sul territorio, al fine dell'adeguamento della Carta PAI e della Carta della Fattibilità Geologica allegate al nuovo studio geologico comunale.



Estratto cartografia GeoIFFI Regione Lombardia

Come si osserva nello stralcio cartografico allegato, relativo all'intero territorio comunale, e dal confronto con le tavole del PAI e della fattibilità geologica, non vi sono sostanziali difformità tra quanto rappresentato nello studio geologico comunale e quanto proposto nella cartografia IFFI: tutte le situazioni di dissesto riconosciute e cartografate nel GeoIFFI sono state ricomprese nelle cartografie PAI e/o della Fattibilità geologica (classe 3 o classe 4, secondo le condizioni riscontrate sul terreno), sia le aree in frana, sia le conoidi alluvionali.

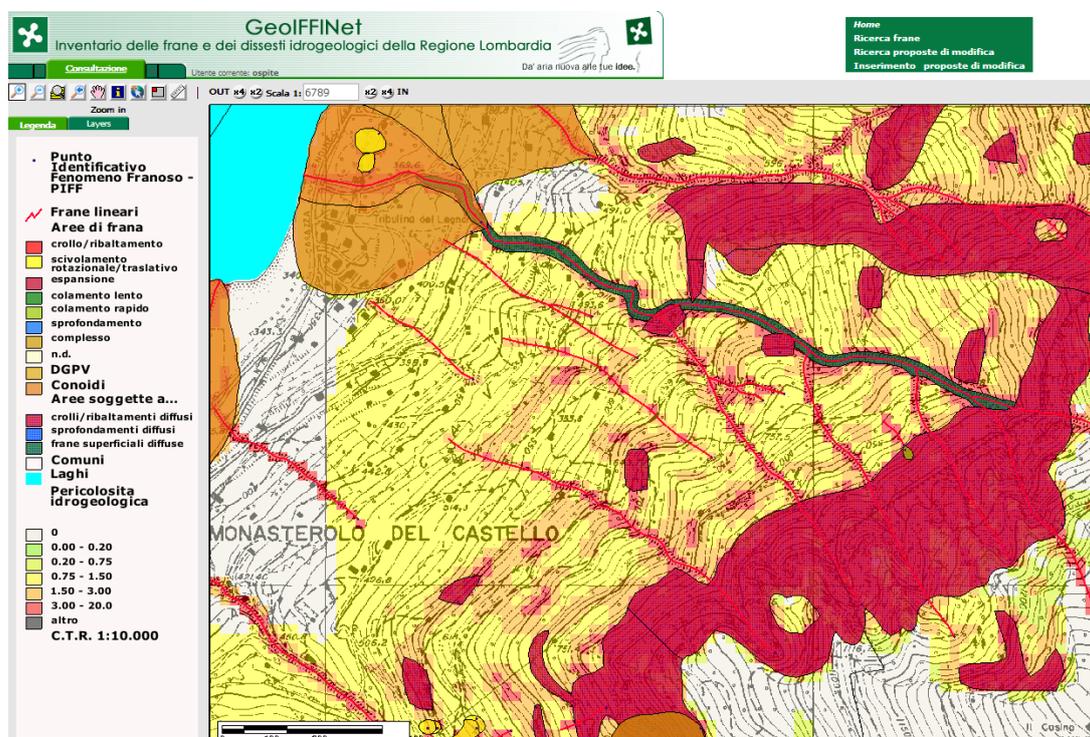
Non sono ad oggi chiaramente visibili, forse per la drastica riduzione delle pratiche di allevamento e pascolo che un tempo ampiamente caratterizzavano i prati sommitali dei

Colli di S. Fermo, i segni di erosioni superficiali indicati su un'ampia area a nord del crinale del M. Gremalto.

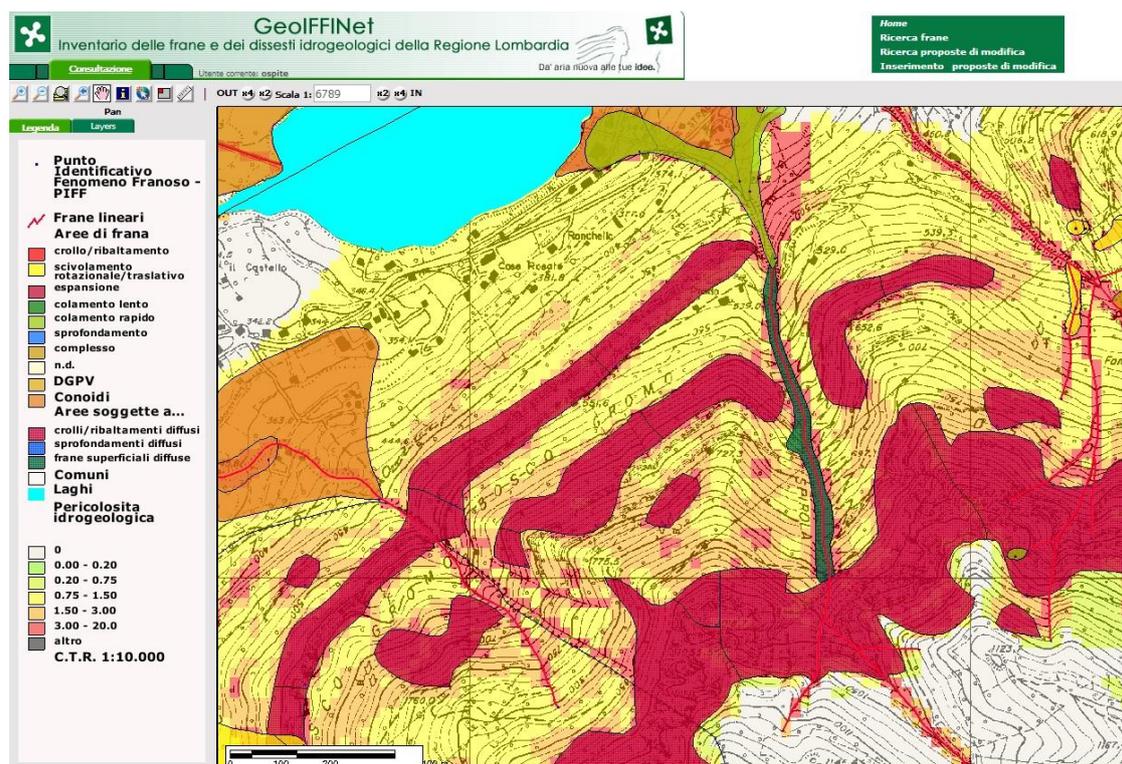


Nella nuova proposta di carta PAI vengono dunque confermate, classificandole come aree “attive” Fa, le pareti rocciose che sovrastano il litorale lacustre e che ancora alimentano, con uno stillicidio saltuario, ma piuttosto continuo nel

tempo, settori alternati della coltre detritica sottostante, ormai ampiamente vegetata e consolidata, dove frequentemente si sono segnalati blocchi e massi rocciosi anche di recente caduta.



La cartografia del GeoIFFI, inoltre, ha offerto spunti interessanti e adeguato supporto alla scelta di introdurre, nel PAI con riscontro nella carta di fattibilità geologica, un'ampia fascia classificata "Fq" che comprende le aree a maggiore rischio di caduta massi, determinata in prima istanza da osservazioni su terreno e dall'applicazione del metodo del "cono d'ombra", descritto altrove nel dettaglio, e confermata dai valori più elevati ($> 1,50$) di "pericolosità idrogeologica" riportati anche arealmente sulle cartografie citate e qui allegate in stralci significativi.

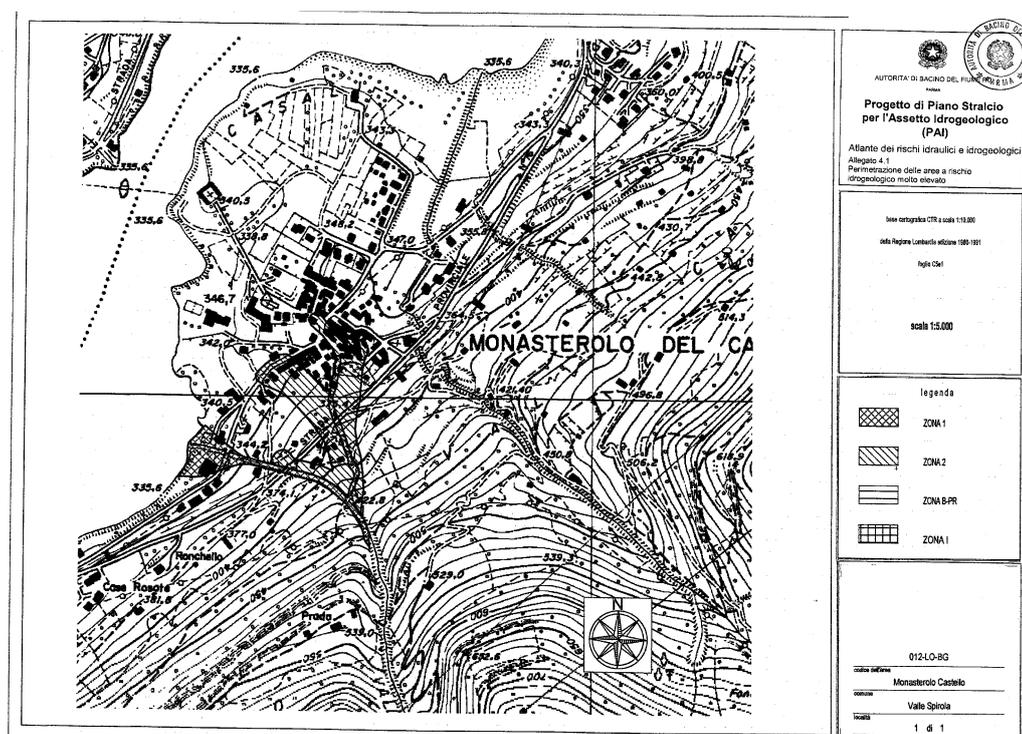


Estratto cartografia GeoIFFI con evidenziate le aree suscettibili a franosità

In generale, il grado di pericolosità da frana viene determinato sulla base di numerose e complesse variabili che tengono conto della "suscettibilità" dell'area – dove è probabile che possa verificarsi un evento –, della probabilità temporale e della probabilità dimensionale – quanto potrebbe essere "grande" il dissesto, e dipende da fattori quali, ad esempio, la morfologia, la litologia, la struttura del substrato roccioso, l'uso del suolo,

La Carta PAI, infine, conferma in gran parte quanto già rappresentato nella proposta allegata allo studio del 2002 per quanto riguarda le aree prossime al lago concentrate sulle conoidi alluvionali, fatti salvi, come detto, alcuni limitati aggiustamenti derivanti dalla diversa base cartografica, più aggiornata e dettagliata, e da più puntuali verifiche ed approfondimenti.

Confermata anche, e non poteva essere altrimenti considerata l'entità del fenomeno, le condizioni predisponenti e l'assetto attuale della valle soprastante, nonché il significato, anche psicologico, che l'evento ebbe ed ha nella popolazione di Monasterolo, l'area definita “a rischio idrogeologico molto elevato” allo sbocco della Valle Spirola, interessata, tra il 1948 e il 1953, da fenomeni di colata di detrito (“debris flow”) dagli effetti disastrosi sul centro storico del paese.



Estratto Cartografia Pai riferita all'area vincolata 267 allo sbocco della Valle Spirola

L'area vincolata è rappresentata nell'allegata scheda 012-LO-BG, ridisegnata nelle cartografie di piano, ma che deve tuttavia essere mantenuta come riferimento principale per la determinazione dell'estensione delle superfici coinvolte e tutelate ai fini idrogeologici.

21 IL RISCHIO RADON

Il gas radon, classificato come sostanza cancerogena, è causa in Lombardia di circa il 15% di tumori al polmone secondo i dati dell'Istituto Superiore della Sanità.

I radionuclidi delle famiglie radioattive naturali sono presenti nella crosta terrestre in tutte le rocce e nel suolo, in concentrazioni che dipendono dal tipo di formazione geologica, generalmente comprese fra 0,5 e 5 mg/kg. L'uranio, che genera il radio che a sua volta genera il radon attraverso il decadimento radioattivo, ha la tendenza a concentrarsi in alcuni tipi di roccia di origine vulcanica, e si trova spesso in

LITOLOGIE DEL COMPLESSO DELL'OGLIO (dati parziali – vedi note illustrative Carta Geologica della Provincia di Bergamo)	FREQUENZA SU: 500	%
<u>Granitoidi</u>	1	0,2
<u>Granodioriti</u>	3	0,6
Intrusive basiche	2	0,4
Gneiss e Micascisti	6	1,2
<u>Metamorfiti acide in genere</u>	3	0,6
<u>Metamorfiti basiche in genere</u>	2	0,4
Quarziti	9	1,8
Porfidi	2	0,4

concentrazioni elevate anche nelle rocce fosfatiche e sedimentarie.

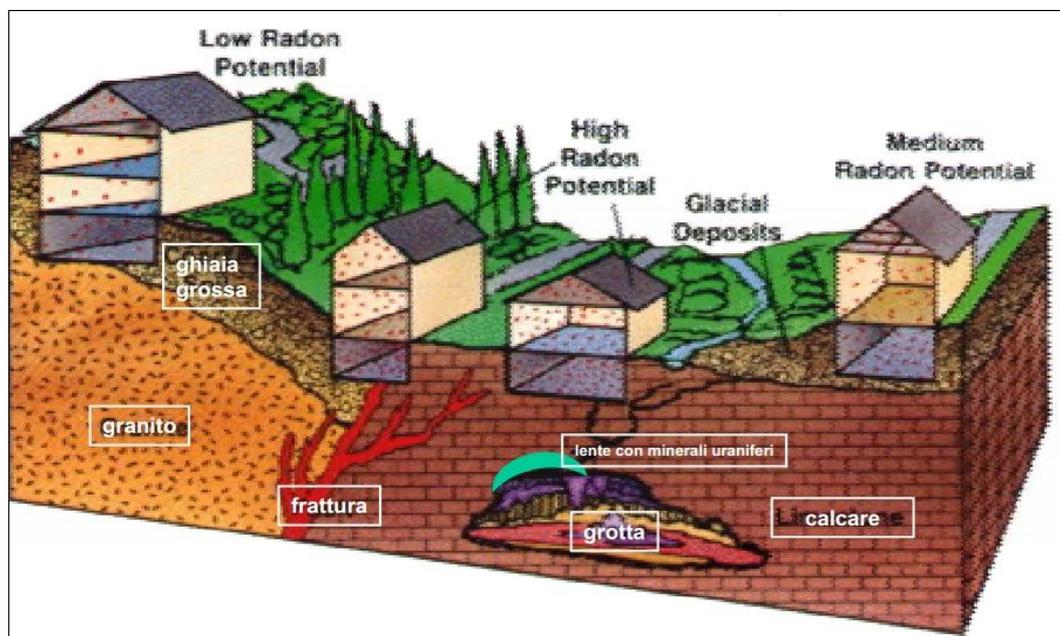
Non tutto il radon generato dal decadimento del radio nella roccia viene rilasciato nell'ambiente ma più i grani che costituiscono la roccia sono fini, maggiore è la possibilità di rilascio. Il radon, una volta uscito dalla roccia, può essere trasportato dai fluidi contenuti nel sottosuolo anche a grande distanza dall'origine.

Quando fuoriesce dal terreno, dai materiali da costruzione e anche dall'acqua, nell'atmosfera tende a disperdersi rapidamente, mentre tende ad accumularsi

negli ambienti chiusi, raggiungendo concentrazioni pericolose per la salute, se i ricambi di aria non sono adeguati.

Il radon si diffonde all'interno degli ambienti chiusi a causa della differenza di pressione fra gli edifici e il suolo: l'aria calda che sale nella casa provoca negli scantinati e nei piani inferiori una lieve depressione dando così luogo a un'aspirazione dal suolo, il cosiddetto effetto "camino". Oltre all'effetto camino, anche il vento o l'uso di dispositivi quali stufe, camini contribuiscono alla depressurizzazione dei locali e quindi all'ingresso del radon negli edifici.

Il radon può penetrare nelle abitazioni attraverso fessure e giunti di muri e pavimenti, canalizzazioni degli impianti idraulici, elettrici e di scarico.

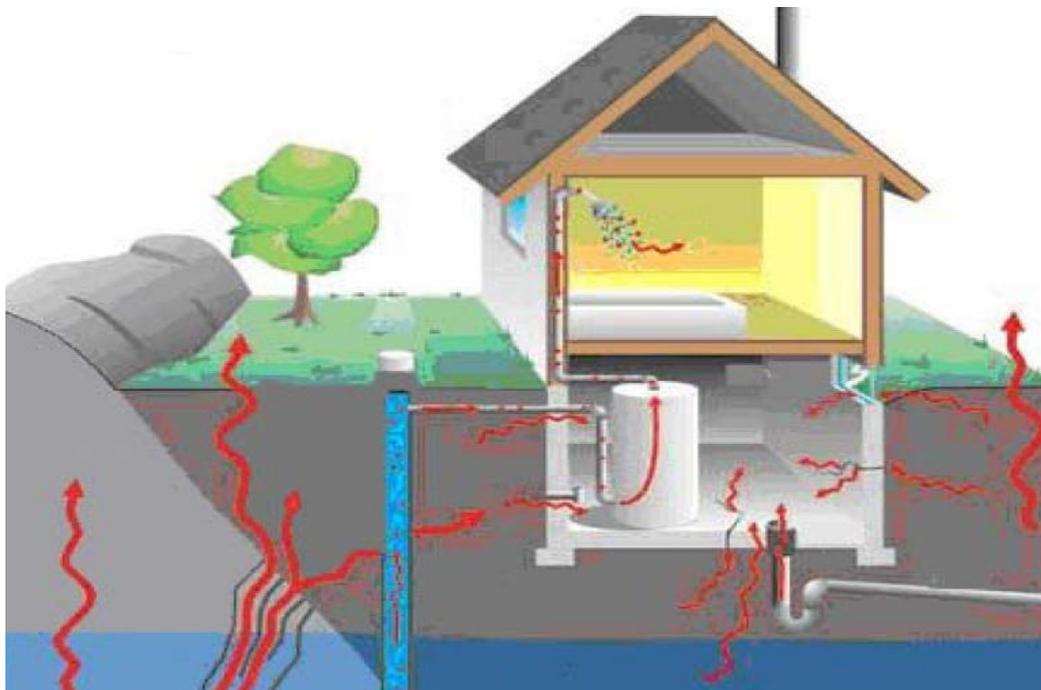


fonte: prof. Giovanni Zannoni, Univ. di Ferrara

A fini preventivi risulta quindi opportuno, o in taluni casi necessario, verificare la penetrazione e l'accumulo del gas Radon nelle abitazioni civili e nelle strutture pubbliche.

E' risaputo che la presenza del gas radon è collegata a determinate formazioni geologiche quali i graniti, il porfido, la fillade quarzifera, i tufi, ecc. che contengono maggiori concentrazioni di uranio o radio. Sebbene sia lecito immaginare che le concentrazioni di Radon siano maggiori nei materiali di origine vulcanica spesso si riscontrano elevati tenori di radionuclidi anche nelle rocce sedimentarie come marmi, marne, flysch etc. Perciò informazioni sulla geologia di una zona possono dare delle indicazioni molto utili a riguardo. Normalmente queste conformazioni sono abbastanza estese e permettono di individuare delle zone a rischio. In alcuni casi però questi minerali possono affiorare in spazi molto ristretti e causare solo in questi punti concentrazioni elevate. Attraverso larghe crepe e fenditure nel terreno le correnti d'aria possono trasportare elevate concentrazioni di radon in superficie. Il valore di radon in una casa non dipende solo dalla concentrazione di uranio/radio presenti nel terreno ma

anche, in modo decisivo, da altri fattori contingenti del sito quali la permeabilità del terreno, il modo in cui è costruita la casa ecc.



In generale, considerando il substrato geologico, gli elementi che influenzano la concentrazione di radon nel sottosuolo e il suo rilascio all'interfaccia suolo/fondazione possono essere così riassunti:

- natura delle rocce
- composizione mineralogica
- concentrazione degli elementi precursori (U, Ra, ...)
- posizione dell'atomo ^{226}Ra rispetto al margine del granulometria
- porosità e permeabilità
- contenuto d'acqua
- presenza di fratturazione e faglie
- presenza di cavità e carsismo.

Provenendo dal sottosuolo, il radon entra poi negli edifici:

- dalle fratture delle fondamenta degli edifici
- dalle giunture e connessioni delle costruzioni
- dalle crepe dei muri

- dalle sconessioni o fratture nelle superfici di calpestio
- da rotture e infiltrazioni nelle tubature di approvvigionamento dell'acqua
- dalle cavità sotto le fondazioni
- tramite le connessioni delle reti fognarie
- tramite ogni forma di continuità dell'ambiente esterno sotterraneo con quello interno
- dai materiali da costruzione.

Il Rischio Radon è dunque in definitiva un Rischio eminentemente Geologico e le aree di rischio, per fini di pianificazione urbanistico-territoriale, dovrebbero essere perimetrare non tanto o non solo su valutazioni indoor, ma anche su indicatori geologici e possibilmente corredate da misure di Radon nel suolo.

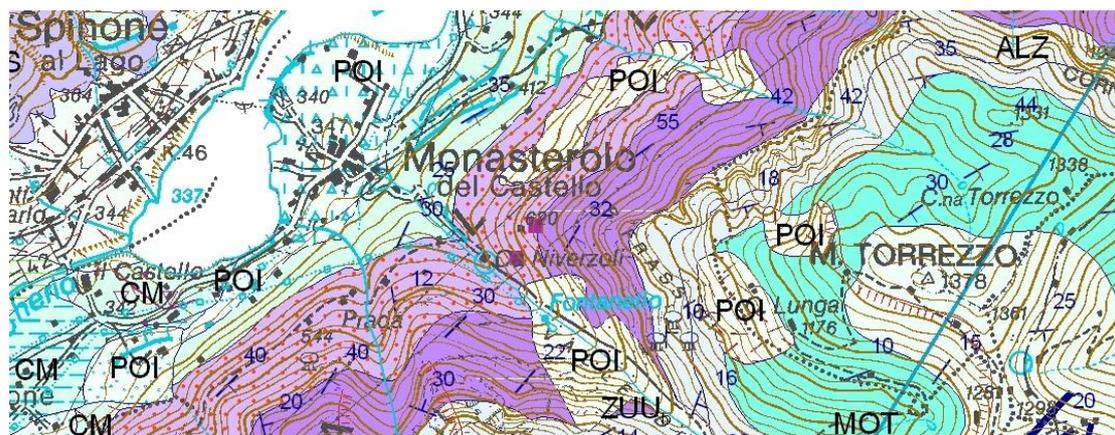
Pietra Ornamentale	Tipo	Provincia d'origine	Radon-226 in Bq/Kg
MONTE BIANCO	Gneiss	AO	166
PIETRA DI LUSERNA	Gneiss	CN	125
BEOLA GHIANDONATA	Beola	NO	68
BEOLA VERDE	Beola	NO	34
BEOLA GRIGIA	Beola	NO	101
BEOLA BIANCA	Beola	NO	48
ROSA BAVENO	Granito	NO	50
SERIZZO FORMAZZA	Serizzo	NO	35
SERIZZO ANTIGORIO	Serizzo	NO	24
BIANCO MONTORFANO	Granito	NO	72
SERIZZO SEMPIONE	Serizzo	NO	29
ROSA BAVENO	Granito	NO	65
SIENTE DELLA BALMA	Sienite	VC	375
SIENTE GRIGIA A GRANA FINE	Sienite	VC	364
GRANITO ROSATO S. PAOLO CERVO	Sienite	VC	239
GRANITO BIANCO DI CAMPIGLIO	Sienite	VC	269
ROSA CERVO	Granito	VC	348
ARDESIA	Ardesia	GE	46
PORTORO	Marmo	SP	4.02
SERIZZO VALMASINO	Serizzo	SO	42
SERIZZO GHIANDONE	Serizzo	SO	31
TONALITE	Gneiss	SO	30
PORFIDO DI ALBIANO	Porfido	TN	51
CEPPO DI POLTRAGNO	Ceppo	BG	63
GRANODIORITE	Gneiss	BS	30
MULTICOLOR	Granito	BS	29
PORFIDO	Porfido	BS	39
NUVOLERA	Marmo	BS	2
BOTTICINO	Marmo	BS	13

Tuttavia, come dimostrano anche recenti studi ed esperienze della Regione Piemonte, le cui considerazioni generali possono essere utili ed estese anche al nostro caso, la grande variabilità geologica e geomorfologica dei nostri territori “può a priori suggerire che l'ipotesi di una non uniforme distribuzione territoriale dei livelli di radon sia molto credibile. Le diverse formazioni rocciose presenti, con litologie assai differenziate, e le notevoli varietà che si incontrano tra strutture abitative poste in diverse zone del territorio (...), sono tutti fattori che rendono assai probabile una distribuzione non uniforme delle concentrazioni di radon”. Sono comunque note da tempo, grazie alla precoce e lungimirante attenzione al tema prestata da ARPA regionale e dalla ASL locale, che alcune aree del territorio bergamasco presentano più di altre concentrazioni anomale di radon e radioattività naturale, e ciò sulla base delle sole indagini eseguite, in numero contenuto rispetto alle necessità. Infatti, lo stato delle attuali conoscenze “non consente di derivare “mappe del rischio” a partire dalla conoscenza delle caratteristiche litologiche e geologiche del territorio a prescindere da una base dati sperimentale di misure di concentrazione radon negli edifici”. Pur con tutte le attenzioni e le consapevoli limitazioni del solo approccio geologico, condividendo comunque quanto bene espresso dalla Regione Piemonte, “la necessità di possedere una mappa radon del territorio resta comunque uno strumento necessario per attuare le corrette politiche di prevenzione e rendere più mirati ed efficaci gli interventi”, anche mediante misure e studi delle concentrazioni di radon nel suolo, per le quali esistono consolidate esperienze, necessariamente associate e confrontate con i risultati delle misure indoor, auspicabilmente estese al maggior numero possibile di abitazioni ed edifici, grazie alla sensibilizzazione degli enti pubblici territoriali.

Nel caso in esame, il quadro geologico di riferimento è rappresentato dalla estesa presenza di depositi di origine glaciale/fluvioglaciale che si appoggiano e parzialmente ricoprono il substrato geologico in buona parte rappresentato da formazioni carbonatiche o argillitiche triassiche e giurassiche.

Le lunghe ed articolate pendici di raccordo tra i rilievi montuosi e il bacino lacustre, con le emergenze glaciali su cui si colloca anche il centro storico di Monasterolo e il Castello, è praticamente costituito da materiali di recente origine alluvionale e

glaciale/fluvioglaciale, questi ultimi appartenenti al Complesso dell'Oglio. I depositi fluvioglaciali sono caratterizzati dalla presenza di ciottoli e blocchi di dimensioni quanto mai varie e di diversa natura litologica, che rispecchia in genere le aree di provenienza delle rocce "strappate" dal ghiacciaio e trasportate lontano, quali per es. verrucano, tonaliti, granodioriti della Valle Camonica, tutte rocce potenzialmente generatrici di radon.



In occasione di un convegno organizzato nel novembre 2012 dall'ASL di Bergamo, sono stati illustrati i dati relativi alle misurazioni dell'intensità di gas radon in numerosi comuni della Provincia, determinandone preliminarmente il grado di rischio.

GRADO DI RISCHIO	COMUNE	criterio seguito se il grado di rischio è stato modificato rispetto alla maglia	assenza di misure in territorio comunale	GRADO DI RISCHIO DELLA MAGLIA di appartenenza dei punti di misura (vedi foglio "dati per Comuni")
	Moio de' Calvi			rosso
	Monasterolo del Castello		no misure	
	Montello		no misure	

Il Comune di Monasterolo del Castello, per il quale non si dispone di misure, è definito, da fonti ASL, a rischio medio-alto, ma è evidente che per una migliore determinazione del grado di rischio sarebbero necessarie numerose altre misurazioni.

Si consideri infatti che in corrispondenza dei comuni contermini in qualche caso si sono riscontrati valori anche molto elevati di concentrazione di gas radon, che parrebbero dunque caratterizzare anche il contesto territoriale di riferimento; inoltre, i risultati elencati dalla stessa ASL nell'ambito della maglia di riferimento (corrispondente alla sezione CTR C5e1) mostrano valori molto variabili, ma spesso superiori ai limiti di salvaguardia, misurati nei comuni vicini.

Codice Maglia	Riferimento CTR	Comune	valore misurato (Bg/m ³)	valore misurato (Bg/m ³)	media annua singolo punto	Comune
C5e1	C5e1	FONTENO	274,48	368,26	321,37	FONTENO
C5e1	C5e1	FONTENO	53,71	123,41	88,56	FONTENO
C5e1	C5e1	FONTENO	39,35	57,02	48,19	FONTENO
C5e1	C5e1	FONTENO	237,28	259,91	248,59	FONTENO
C5e1	C5e1	GRONE	75,89	98,36	87,13	GRONE
C5e1	C5e1	GRONE	438,88	116,89	277,89	GRONE
C5e1	C5e1	GRONE	730,45	184,16	457,30	GRONE
C5e1	C5e1	GRONE	113,33		113,33	GRONE
C5e1	C5e1	GRONE	47,98	21,19	34,59	GRONE
C5e1	C5e1	GRONE	70,49	31,77	51,13	GRONE
C5e1	C5e1	GRONE	37,19	27,31	32,25	GRONE
C5e1	C5e1	GRONE	330,89	86,53	208,71	GRONE
C5e1	C5e1	GRONE	48,53	329,44	188,98	GRONE
C5e1	C5e1	GRONE	40,60	41,07	40,84	GRONE
C5e1	C5e1	GRONE	134,02	122,38	128,20	GRONE
C5e1	C5e1	GRONE	203,44	140,23	171,84	GRONE
C5e1	C5e1	GRONE	33,46	25,70	29,58	GRONE
C5e1	C5e1	GRONE	1402,71	226,66	814,69	GRONE
C5e1	C5e1	GRONE	34,38	26,85	30,61	GRONE
C5e1	C5e1	SPINONE AL LAGO	194,31	207,37	200,84	SPINONE AL LAGO
C5e1	C5e1	SPINONE AL LAGO	36,78	17,61	27,20	SPINONE AL LAGO

E' dunque ormai acquisita, dalle normative, dalle buone pratiche e dalla consapevolezza del rischio per la salute che può rappresentare una elevata concentrazione di gas radon, l'importanza di opportuni controlli, non solo nei locali pubblici, ma anche nelle residenze private, della presenza di gas radon, facendo riferimento in particolare alle normative vigenti in materia e alle note ed approfondimenti tecnici specifici, di cui al seguente elenco, solo esemplificativo:

- Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, “Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio, del 5 dicembre 2013, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla

protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti ...”

L13 17 gennaio 2014

- Raccomandazione del Sottocomitato Scientifico del progetto CCM “Avvio del Piano Nazionale Radon per la riduzione del rischio di tumore polmonare in Italia”, approvata il 10 novembre 2008
- Dlgs 17 marzo 1995, n. 230 e s.m.i.
- Ministero della Salute, 2002 - “Piano Nazionale Radon”
- Regione Lombardia, Direzione Generale Sanità, Decreto n. 12678 del 21.12.2011, “Linee guida per la prevenzione delle esposizioni al gas radon in ambienti indoor”
- raccomandazioni e circolari Regione Lombardia, ARPA Lombardia e ASL Bergamo
- APAT, 2004 - “Linee guida per le misure di radon in ambienti residenziali”
- Regione Veneto – ARPAV, 2000 - “Indagine regionale per l'individuazione delle aree ad alto potenziale di radon nel territorio veneto”
- ARPA Piemonte - “La mappatura del radon in Piemonte”
- Castelluccio M. ed al., Università di Roma, 2012 - “La classificazione della pericolosità radon nella pianificazione territoriale finalizzata alla gestione del rischio”
- Moroni M. - Geoex sas - “Determinazione del rischio radon geologico: dalla scala regionale a quella di cantiere”

In breve, in conclusione, si ricorda che operativamente la misurazione della concentrazione del gas radon in un luogo di lavoro e/o in un'abitazione dovrebbe essere valutata su due semestri consecutivi, in modo da avere un valore rappresentativo che tenga conto della forte fluttuabilità del radon (parametri atmosferici, variabilità stagionale, condizioni del suolo, clima, ecc.), ma possono essere eseguite anche misure più brevi, almeno 3 mesi, purché siano riconducibili a ben definiti periodi temporali ed eventualmente i valori ottenuti possano essere ricondotti ad una stima annua. Le misure di breve durata (fino a una-due settimane) dovrebbero essere eseguite possibilmente nelle condizioni più critiche (p.es. nei mesi invernali, nei locali ai piani più bassi, con il sistema di riscaldamento in funzione, mettendo in depressione la stanza, ...), favorevoli all'ingresso del radon, sia relativamente alle caratteristiche

dell'edificio e alla disposizione degli ambienti più a “rischio”, sia relativamente alle condizioni climatiche, per cui debbono essere preferite le stagioni fredde (dall'autunno alla primavera), in cui le abitazioni sono meno arieggiate e il riscaldamento è acceso (v. APAT, “Linee guida ...”).

In particolare, si fa riferimento alla sopra citata Direttiva dell'Unione Europea, nella quale, oltre a determinare in 300 Bq/mq la concentrazione massima ammissibile in ambienti chiusi, nell'elenco degli “elementi da considerare nell'elaborazione del piano d'azione nazionale per affrontare i rischi di lungo termine derivanti dall'esposizione al radon ...” (Allegato XVIII), al punto 1 si raccomandano gli stati membri di adottare “strategie per l'esecuzione di indagini sulle concentrazioni di radon in ambienti chiusi o concentrazioni di gas nel suolo al fine di stimare la distribuzione delle concentrazioni di radon in ambienti chiusi, per la gestione dei dati di misurazione e per la determinazione di altri parametri pertinenti ...”.

22 LA CARTA DEI VINCOLI

La fase di sintesi/valutazione è stata definita inizialmente tramite la carta dei vincoli, che individua le limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative in vigore di contenuto prettamente geologico, e la successiva carta di sintesi, che propone una zonizzazione del territorio in funzione dello stato di pericolosità geologico-geotecnica e della vulnerabilità idraulica e idrogeologica. La carta dei vincoli è stata redatta su tutto il territorio comunale e vi sono state rappresentate le limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative e piani sovraordinati in vigore di contenuto prettamente geologico con particolare riferimento a:

Vincoli da pianificazione di bacino e da quadro dei dissesti

Si rappresentano i vincoli derivanti dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, per il quale valgono prioritariamente le normative di cui alle relative Norme di Attuazione (NdA), che si richiamano esplicitamente. Per quanto riguarda in particolare il Quadro del dissesto regionale, le analisi di terreno e la verifica della documentazione

cartografica esistente (consistente sostanzialmente nelle tavole di PTCP, nella Cartografia Geoambientale, nelle cartografie prodotte dalla ex Comunità Montana della Valle Cavallina, dal precedente studio geologico e da nuove verifiche e valutazioni sul campo), hanno portato ad una parziale revisione ed aggiornamento di alcune situazioni segnalate. Tale aggiornamento ha naturalmente una importante ricaduta, combinando le tipologie dei dissesti con le classi di fattibilità all'interno degli schemi proposti nella d.g.r. 2616/2011, sulla Carta di fattibilità finale.

Vincoli di polizia idraulica

Ai sensi della originaria d.g.r. 25 gennaio 2002, n. 7/7868 e successive modificazioni, fino alla recente d.g.r. n. 883/2013, sono riportate le fasce di rispetto individuate nello studio finalizzato all'individuazione del reticolo idrico minore, così come definite dalla legge 5 gennaio 1994, n. 36, e relativo regolamento, e sono evidenziati i vincoli disposti dall'art. 96, lettera f), del regio decreto 25 luglio 1904, n. 523.

A proposito del reticolo idrico minore, si segnala che ai sensi della normativa vigente in materia, lo studio finalizzato all'individuazione di tale reticolo deve essere preventivamente sottoposto alla Sede Territoriale Regionale competente per l'espressione di parere vincolante e che, fino all'espressione del parere sopra menzionato e al recepimento dello studio mediante variante urbanistica, sulle acque pubbliche, così come definite dalla legge 5 gennaio 1994, n. 36, e relativo regolamento, valgono le disposizioni di cui al regio decreto 25 luglio 1904, n. 523, e in particolare il divieto di edificazione ad una distanza inferiore ai 10 metri.

Il Comune di Monasterolo del Castello ha prodotto lo studio per la determinazione del reticolo idrico minore ai sensi della citata d.g.r. 883/2013, attualmente al vaglio dello Ster regionale. *Si sottolinea che per quanto riguarda la definizione del reticolo idrico e delle relative fasce di rispetto vale prioritariamente lo studio verificato e validato dallo Ster territoriale, al quale direttamente si rimanda per qualsiasi applicazione delle normative di polizia idraulica e che prevale su quanto riportato nella presente carta dei vincoli.*

Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile

Sono state riportate le aree di tutela assoluta e di rispetto, ai sensi del d.lgs. 258/2000, art. 5, comma 4. Si ricorda che le aree di rispetto individuate con i criteri idrogeologico e temporale ai sensi della d.g.r. n. 6/15137 del 27 giugno 1996 diventano efficaci solo a seguito del rilascio del relativo atto autorizzativo da parte dell'Autorità competente; per il comune di Monasterolo del Castello i relativi vincoli sono stati applicati sull'ambito individuato con criterio geometrico.

Le norme relative alle captazioni ad uso idropotabile, alle aree di rispetto e di tutela assoluta devono essere adeguate alle disposizioni previste dalla Circolare 38/SAN/83 della Regione Lombardia e dalla d.g.r. n. 6/15137 del 27.6.1996, dal D.P.R. del 24/05/1988 n.236 e dal D.Lgs. 152/2006, nonché della d.g.r. n. 7/12693 del 10 aprile 2003 e del **r.r. n. 2 del 24 marzo 2006**.

In particolare si richiamano di seguito alcune indicazioni relative alle opere di captazione per approvvigionamento idropotabile contenute nella citata delibera regionale (n. 7/12693 del 10 aprile 2003).

Nella zona di rispetto sono vietati l'insediamento dei seguenti centri di pericolo e lo svolgimento delle seguenti attività:

- a) dispersione di fanghi e acque reflue, anche se depurati;
- d) dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche provenienti da piazzali e strade;
- e) aree cimiteriali;
- f) apertura di cave che possono essere in connessione con la falda;
- g) apertura di pozzi a eccezione di quelli che estraggono acque destinate al consumo umano e di quelli finalizzati alla variazione dell'estrazione e alla protezione delle caratteristiche quali-quantitative della risorsa idrica;
- h) gestioni di rifiuti;
- i) stoccaggio di prodotti ovvero sostanze chimiche pericolose e sostanze radioattive;
- l) centri di raccolta, demolizione e rottamazione di autoveicoli;
- m) pozzi perdenti;

Eventuali nuovi tratti di fognatura da collocare nell' area di rispetto devono:

- costituire un sistema a tenuta bidirezionale, e recapitare esternamente all' area
- ai fini della tenuta tali tratti potranno essere realizzati con tubazioni a cunicolo interrato dotato di pareti impermeabilizzate, corredato di pozzetti rompitratta opportunamente ispezionabili.

Nella zona di rispetto di un acquifero non protetto:

- ▲ non è consentita la realizzazione di fosse settiche, pozzi perdenti, bacini di accumulo liquami, e impianti di depurazione.
- ▲ È in generale opportuno evitare la dispersione di acque meteoriche, anche provenienti da tetti e la realizzazione di vasche di laminazione.
- ▲ Per tutte le nuove fognature (principali, secondarie) è richiesta la verifica di collaudo.

Per gli insediamenti o le attività preesistenti, ove possibile e comunque ad eccezione delle aree cimiteriali, sono adottate le misure per il loro allontanamento: in ogni caso deve essere garantita la loro messa in sicurezza.

I comuni al fine di proteggere le risorse idriche captate, attraverso gli strumenti di pianificazione urbanistica favoriscono la destinazione delle aree di rispetto a verde pubblico.

Nelle zone di rispetto:

- ▲ per la progettazione e realizzazione di edifici non possono essere eseguiti sondaggi e indagini di sottosuolo che comportino la creazione di vie preferenziali di possibile inquinamento della falda.
- ▲ I volumi interrati delle nuove abitazioni dovranno avere una di stanza di 5 metri dalla superficie freatica

In tali zone non è inoltre consentito:

- realizzazione di depositi di materiali pericolosi
- insediamento di condotte per il trasporto di sostanze pericolose non gassose
- utilizzo di diserbanti e pesticidi in parchi e giardini.

Pratiche agricole:

Nelle zone di rispetto sono consigliate coltivazioni biologiche, nonché bosco o prato stabile

E' vietato:

- a) pascolo e stabulazione di bestiame che ecceda i 170 chilogrammi per ettaro di azoto presente negli effluenti, al netto delle perdite di stoccaggio e distribuzione. È comunque vietata la stabulazione di bestiame nella zona di rispetto ristretta.
- b) accumulo di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi;
- c) spandimento di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi, salvo che l'impiego di tali sostanze sia effettuato sulla base delle indicazioni di uno specifico piano di utilizzazione che tenga conto della natura dei suoli, delle colture compatibili, delle tecniche agronomiche impiegate e della vulnerabilità delle risorse idriche.

La **zona di tutela assoluta di 10 metri**: deve essere delimitata secondo le indicazioni delle regioni per assicurare la protezione del patrimonio idrico.

Esse devono essere adeguatamente protette ed adibite esclusivamente alle opere di captazione ed ad infrastrutture di servizio.

23 ADEGUAMENTO AI SENSI DELLA d.g.r. 2616/2011 RELATIVAMENTE ALLA COMPONENTE SISMICA DELLO STUDIO GEOLOGICO

La Regione Lombardia, in ottemperanza all'art. 57 della l.r. 12/2005, ha approvato, dapprima con la d.g.r. n. 1566/2005 e con successivo aggiornamento con la d.g.r. n. 7374/2008, ed infine con la recente d.g.r. 2616/2011, le nuove linee guida per la prevenzione del rischio idrogeologico attraverso una pianificazione territoriale compatibile con l'assetto geologico, geomorfologico e con le condizioni di sismicità del territorio a scala comunale. I criteri contenuti nella d.g.r. perfezionano le precedenti direttive in materia, dettate dalle citate deliberazioni della Giunta Regionale e puntualizzano, in particolare, gli aspetti del rischio sismico, a seguito della nuova classificazione sismica del territorio nazionale secondo l'O.P.C.M. 3274 e secondo il d.m. 14 settembre 2005 "Norme tecniche per le costruzioni".

Antecedentemente al 1998 il territorio comunale di Monasterolo del Castello (Bg), non era classificato come comune “sismico”, le successive revisioni operate anche e soprattutto dalla recente O.P.C.M. 3274, hanno invece classificato il territorio comunale di Monasterolo del Castello come Zona Sismica 3:

In base alla Classe Sismica del territorio comunale vengono attribuiti valori dell’accelerazione sismica attesa, secondo quanto riportato nella seguente tabella:

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [a _g /g]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a _g /g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

Le risultanze dello studio sismico del territorio comunale sono riassunte nella “Carta della pericolosità sismica locale”.

Zonazione sismica del territorio comunale

Lo studio per la zonazione sismica del territorio comunale, così come indicato nell’Allegato 5 della d.g.r. n. 2616/2011, prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente, in adempimento a quanto previsto dal d.m. 14 gennaio 2008 «Norme tecniche per le costruzioni», dalla d.g.r. n. 14964 del 7 novembre 2003 e dal d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003.

Dal punto di vista della normativa tecnica associata alla nuova classificazione sismica, dal 5 marzo 2008 è in vigore il d.m. 14 gennaio 2008 «Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni», pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008, che sostituisce il precedente d.m. 14 settembre 2005, fatto salvo il periodo di monitoraggio di 18 mesi, di cui al comma 1 dell’art. 20 della l. 28 febbraio 2008, n. 31. Fanno eccezione le nuove progettazioni degli interventi relativi agli edifici e alle opere infrastrutturali di cui al decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile 21

ottobre 2003, per le quali si applicano da subito le disposizioni del d.m. 14 gennaio 2008.

Le procedure da seguire ed i livelli di approfondimento da adottare sono riportati, in funzione della Zona sismica di appartenenza e della fase progettuale, nella seguente tabella:

	<i>Livelli di approfondimento e fasi di applicazione</i>		
	<i>1° livello fase pianificatoria</i>	<i>2° livello fase pianificatoria</i>	<i>3° livello fase progettuale</i>
Zona sismica 2-3	obbligatorio	<i>Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili</i>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale;</i> - <i>Nelle zone PSL Z1 e Z2.</i>
Zona sismica 4	obbligatorio	<i>Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale;</i> - <i>Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.</i>

PSL = Pericolosità Sismica Locale

Si specifica a questo proposito, che, ai sensi del d.m. 14 gennaio 2008, la determinazione delle azioni sismiche in fase di progettazione non è più valutata riferendosi ad una zona sismica territorialmente definita, bensì sito per sito, secondo i valori riportati nell'Allegato B al citato d.m.; la suddivisione del territorio in zone sismiche (ai sensi dell'o.p.c.m. 3274/03) individua unicamente l'ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in fase pianificatoria.

I primi due livelli sono obbligatori (con le opportune differenze in funzione della zona sismica di appartenenza,) in fase di pianificazione, mentre il terzo è obbligatorio in fase di progettazione sia quando con il 2° livello si dimostra l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da effetti di amplificazione, sia per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione e contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse.

• **1° livello:** riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti. *Questo livello, obbligatorio per tutti i Comuni, prevede la redazione della Carta della pericolosità sismica locale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale (e lineare per gli scenari Z3a, Z3b e Z5) delle diverse situazioni tipo, riportate nella Tabella 1 dell'Allegato 5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a Pericolosità Sismica Locale – PSL).*

• **2° livello:** caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella carta di pericolosità sismica locale, che fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa). L'applicazione del 2° livello consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (Fa calcolato superiore a Fa di soglia comunali forniti dal Politecnico di Milano). Per queste aree si dovrà procedere alle indagini ed agli approfondimenti di 3° livello o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con 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.

Il secondo livello è obbligatorio, per i Comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3, negli scenari PSL, individuati attraverso il 1° livello, suscettibili di amplificazioni sismiche morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4 della Tabella 1 dell'Allegato 5) interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica. Per i Comuni ricadenti in zona sismica 4 tale livello deve essere applicato, negli scenari PSL Z3 e

Z4, nel caso di costruzioni di nuovi edifici strategici e rilevanti di cui al d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003.

Per le aree a pericolosità sismica locale caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione (zone Z1 e Z2 della Tabella 1 dell'Allegato 5 – d.g.r. 2616/2011) non è prevista l'applicazione degli studi di 2° livello, ma il passaggio diretto a quelli di 3° livello, come specificato al punto successivo.

Non è necessaria la valutazione quantitativa al 3° livello di approfondimento dello scenario inerente le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (zone Z5), in quanto tale scenario esclude la possibilità di costruzioni a cavallo dei due litotipi. In fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo tale da avere un terreno di fondazione omogeneo. Nell'impossibilità di ottenere tale condizione, si dovranno prevedere opportuni accorgimenti progettuali atti a garantire la sicurezza dell'edificio.

• **3° livello:** definizione degli effetti di amplificazioni tramite indagini e analisi più approfondite. Al fine di poter effettuare le analisi di 3° livello la Regione Lombardia ha predisposto due banche dati, rese disponibili sul SIT regionale, il cui utilizzo è dettagliato nell'allegato 5 della d.g.r. 2616/2011.

Tale livello si applica in fase progettuale nei seguenti casi:

– quando, a seguito dell'applicazione del 2° livello, si dimostra l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale all'interno degli scenari PSL caratterizzati da effetti di amplificazioni morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4 della Tabella 1 dell'Allegato 5);

– in presenza di aree caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione (zone Z1 e Z2), nelle zone sismiche 2 e 3 per tutte le tipologie di edifici, mentre in zona sismica 4 nel caso di costruzioni di nuovi edifici strategici e rilevanti di cui al d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003, ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici.

Nel caso di sovrapposizione di più scenari sul medesimo ambito territoriale si dovrà procedere con il grado di approfondimento più cautelativo.

Applicazione del 1° Livello

Il 1° livello è obbligatorio per tutti i comuni ed è esteso a tutto il territorio comunale. Nel caso specifico, in considerazione delle conoscenze del territorio e dei dati geotecnici e stratigrafici disponibili, non si è ritenuto necessario eseguire nuove indagini originali di carattere geotecnico e/o geofisico di approfondimento, ma si sono acquisite le risultanze di indagini di carattere geotecnico eseguite sul territorio comunale a supporto di interventi di sistemazione del dissesto idrogeologico e/o di opere pubbliche. Per il territorio comunale di Monasterolo del Castello lo studio è quindi consistito nell'analisi dei dati esistenti già inseriti nella cartografia di analisi e inquadramento (carta geologica, carta geomorfologica, ecc. dello studio geologico a supporto della pianificazione) e nella redazione di un'apposita cartografia (a scala 1:5.000), rappresentata dalla Carta della pericolosità sismica locale, derivata dalle precedenti carte di base, in cui viene riportata la perimetrazione areale delle diverse situazioni tipo, in grado di determinare gli effetti di amplificazione sismica locale.

Gli scenari di pericolosità sismica locale proposti dalla normativa vigente, ed i relativi effetti, sono illustrati nella tabella sottostante:

Lo studio di PRIMO LIVELLO, propedeutico ai successivi livelli di approfondimento, consiste nell'analisi dei dati contenuti nella cartografia di inquadramento del presente studio geologico (carte geologica, geomorfologica, idrogeologica e Carta Geomorfologica con Legenda Uniformata P.A.I.) e nella redazione della "*Carta degli scenari di pericolosità sismica*".

Quest'ultima riporta perciò la perimetrazione areale e gli elementi lineari delle diverse "*situazioni-tipo*" in grado di determinare effetti sismici locali, come indicato nella sottostante tabella che è stata modificata con i criteri più recenti (Allegato 5 della d.g.r. IX/2616 del 30 novembre 2011):

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone 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	Comportamenti differenziali

Dal punto di vista degli scenari di pericolosità sismica locale, per il territorio comunale di Monasterolo del Castello (Bg), sono stati considerati gli scenari relativi alle categorie Z1a, Z1b, Z2a, Z3b, Z4a, Z4b, Z5, in grado di rappresentare tutte le possibili condizioni potenzialmente in grado di determinare fenomeni di amplificazione, riconosciute sul territorio comunale.

Pertanto anche per il Comune di Monasterolo del Castello, come per tutti i comuni in Zona Sismica 3, sono obbligatori il 1° ed il 2° Livello di approfondimento, mediante la predisposizione della Carta della Pericolosità Sismica Locale estesa a tutto il territorio comunale.

Scenario Z1

In questa ampia categoria rientrano tutte le *aree in frana*, attive o quiescenti, individuate secondo i criteri P.A.I.. In tali ambiti un sisma potrebbe generare o riattivare forme di instabilità dei pendii, sia direttamente, imprimendo un'accelerazione alle singole particelle del terreno, sia indirettamente, aumentando la pressione dell'acqua nei pori (pressione neutra).

Aree di frana attiva o quiescente (rispettivamente zona Z1a e Z1b) si trovano sul versante del monte Torezzo-Gremalto: in dettaglio lungo il fianco orografico destro

della Valle Torezzo, in corrispondenza del tratto intermedio, sono presenti scenari di frana attiva (Z1a) localizzati lungo le rupi rocciose, mentre più in generale lungo tutta l'ossatura territoriale di monte da nord a sud alle quote indicative di 700-900, è presente una fascia ricompresa in Z1a per caduta massi, a cui viene fatta seguire una fascia sottostante in frana quiescente Z1b, sempre per caduta massi.

Scenario Z2

Lo scenario Z2 ricomprende quelle aree dove è nota la presenza di terreni di natura granulare fine dotati di condizioni geotecniche particolarmente scadenti, scarso addensamento e saturazione. Si tratta di terreni che, per le proprie caratteristiche intrinseche riguardanti le proprietà geotecniche dei materiali, possono indurre nel caso di una manifestazione sismica, problematiche di cedimenti e liquefazioni dei terreni con conseguenze sulle strutture antropiche.

In base alle informazioni note dalla bibliografia e dalle numerose indagini effettuate, lo scenario in parola è stato localizzato lungo la fascia litoranea a lago a valle della strada provinciale: a partire da Loc. Moi comprende l'ambito territoriale prossimo al lago fino a Loc. Casai con parte dell'abitato storico. In questi settori lo scenario Z2 a causa di un'articolata dinamica morfologica legata alle conoidi, può dirsi in "eteropia" con lo scenario Z4b, dove localmente prevale per via di una maggiore azione della dinamica lacustre a discapito delle pulsazioni delle conoidi.

Scenario Z3

I cigli delle scarpate alte più di dieci metri (Z3a) e le creste rocciose (Z3b) sono suscettibili ad *amplificazioni* di tipo "topografico", cioè legate alla particolare morfologia e alle aspre irregolarità del terreno, che determinano una sorta di focalizzazione delle onde sismiche, per fenomeni di riflessione e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto.

In questo caso la cartografia di pericolosità sismica evidenzia le culminazioni e le convessità irrilevanti. Non sono prese in considerazione le scarpate dei terrazzi

fluvioglaciali, poiché in questi casi il fattore di amplificazione litologico (cfr. Z4) è maggiore di quello topografico e, poiché l'amplificazione topografica dovrebbe essere considerata a riguardo degli ammassi rocciosi (elevata velocità delle onde sismiche). Queste morfologie sono limitate in Loc. Brione dove sono presenti rilievi di natura glaciale.

La cartografia individua e distingue le creste appuntite e creste arrotondate (Z3b), anche ai fini della realizzazione dell'approfondimento di II livello. Le creste compaiono soprattutto nelle zone sud orientali del territorio senza peraltro interagire direttamente con gli ambiti antropizzati.

Scenario Z4

In quest'ampia categoria rientrano quei terreni di varia origine che possono generare effetti di *amplificazione* di tipo "litologico" (legate alle proprietà meccaniche del materiale che costituisce il sedimento stesso) e/o geometrico (legate a forma e geometria del corpo sedimentario - lenti, eteropie, ecc). Si possono avere amplificazioni locali, fenomeni di risonanza tra l'onda sismica incidente e il moto sismico proprio del terreno e fenomeni di doppia risonanza tra il periodo fondamentale del moto sismico incidente e quello del terreno e le eventuali sovrastrutture presenti. Lo scenario Z4a (fondovalle con terreni granulari alluvionali e/o fluvioglaciali e/o coesivi) coincide con il settore centrale dell'abitato storico.

La classe Z4b (zona pedemontana di falda di detrito), che è assegnata in prevalenza in corrispondenza alle principali conoidi note sul territorio, allo sbocco della Valli Spirola, Torezzo. In tale ambito sono perimetrare anche buona parte delle aste vallive, con particolare riguardo al Torezzo e Spirola dove gli spessori della falda di detrito raggiungono localmente i 15 metri di spessore.

Scenario Z5

Le zone Z5 sono soggette ad *amplificazioni* locali complesse e difficilmente modellizzabili, legate a differenze sostanziali di proprietà meccaniche dei terreni lungo

una fascia o un determinato settore del territorio. Sulla “*Carta degli scenari di pericolosità sismica*” sono indicati con tratto lineare verde i passaggi (contatti) tra le rocce e i terreni sciolti (alluvionali, fluvioglaciali, di versante, ecc.). Per questi casi non è comunque necessaria una valutazione quantitativa con approfondimento d’indagine a livello superiore (studi di secondo e terzo livello), poiché questo scenario tenderebbe ad escludere la possibilità costruire in appoggio su litotipi in condizioni differenti.

Gli elementi lineari e le “zone” perimetrate sulla “*Carta degli scenari di pericolosità sismica*” sono riportate con retinatura trasparente anche sulle carte di fattibilità geologica, come prescritto dai *Criteri* regionali. La zonazione sismica non influisce sull’attribuzione delle classi di fattibilità, ma fornisce indicazioni utili sullo spettro di risposta elastica da utilizzare in fase di progettazione delle strutture, come previsto dal già citato Testo Unificato sulle Costruzioni (D.M. 14.01.2008).

Applicazione del 2° Livello - Stima dei valori di Fa

Il 2° livello, implementato in presenza dello scenario Z3 (amplificazioni topografiche) e Z4 (amplificazioni litologiche), è obbligatorio per le aree che interferiscono con l’edificato/edificabile; per gli scenari Z1 e Z2 si passa invece direttamente, in fase di progettazione al 3° Livello.

Si basa su metodi quantitativi semplificati, che prevedono il confronto tra un fattore di amplificazione sismica locale (Fa) e un valore soglia calcolato per ciascun comune.

Il 2° livello, per i comuni classificati in Zona Sismica 3, è obbligatorio per le zone caratterizzate da PSL Z3 e Z4, laddove interferenti con l’urbanizzato.

Amplificazione litologica (Scenari Z4)

Per le procedure semplificate di questo livello è richiesta la conoscenza di alcuni parametri geofisici (andamento delle velocità delle onde di taglio (Vs) con la profondità; spessore e Vs di ogni unità geofisica) necessari alla definizione del modello geofisico del sottosuolo.

La procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle Vs con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s;
- spessore e velocità di ciascun strato;
- sezioni geologiche, conseguente modello geofisico - geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

Sulla base di intervalli indicativi di alcuni parametri geotecnici, quali curva granulometrica, parametri indice, numero di colpi della prova SPT, si individua la litologia prevalente presente nel sito e per questa si sceglie la relativa **scheda di valutazione di riferimento**.

Una volta individuata la scheda di riferimento è necessario verificarne la validità in base all'andamento dei valori di Vs con la profondità; in particolare si è verificato l'andamento delle Vs con la profondità partendo dalla scheda tipo 1, nel caso in cui non fosse verificata la validità per valori di Vs inferiori ai 600 m/s si passerà all'utilizzo della scheda tipo 2.

All'interno della scheda di valutazione è stata scelta, in funzione della profondità e della velocità Vs dello strato superficiale, la curva più appropriata (indicata con il numero e il colore di riferimento) per la valutazione del valore di Fa nell'intervallo 0.1-0.5 s (curva 1, curva 2 e curva 3 e relative formule) e nell'intervallo 0.5-1.5 s (unica curva e relativa formula), in base al valore del periodo proprio del sito T.

Il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n Vs_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

dove h_i e V_{si} sono lo spessore e la velocità dello strato i -esimo del modello.

Il valore di F_a determinato è stato approssimato alla prima cifra decimale ed è utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di F_a ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e valido per ciascuna zona sismica (zona 2, 3 e 4) e per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s.

Il parametro calcolato per ciascun Comune della Regione Lombardia è riportato nella banca dati della Regione Lombardia e rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

La procedura prevede pertanto di valutare il valore di F_a con le schede di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di ± 0.1 che tiene in conto la variabilità del valore di F_a ottenuto dalla procedura semplificata.

Si possono presentare quindi due situazioni:

- *il valore di F_a è inferiore o uguale al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa (classe di pericolosità H1);*
- *il valore di F_a è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia (classe di pericolosità H2).*

Classificazione sismica dei terreni nel comune di Monasterolo del Castello

Sulla scorta delle precedenti indicazioni, è stata condotta l'analisi dei dati litologici, stratigrafici e geofisici disponibili per il territorio comunale di Monasterolo del Castello, al fine di pervenire alla classificazione sismica dei terreni e per consentire le successive elaborazioni per definire i valori del fattore di amplificazione sismica locale F_a .

Dall'analisi delle sezioni stratigrafiche disponibili per il territorio comunale di Monasterolo del Castello, nonché dai dati forniti dalle indagini geotecniche in sito, messe a disposizione dall'Amministrazione Comunale, è stato possibile stimare, attraverso metodi indiretti di conversione, la velocità delle onde S e sono stati ricavati gli andamenti principali dei depositi sciolti granulari che caratterizzano il sottosuolo indagato. Tali depositi presentano valori di velocità prevalentemente comprese tra 360 e 800m/s in funzione del grado di consolidazione. Dai valori delle velocità sismiche delle onde di taglio calcolate e riportate, è possibile valutare il valore di V_{s30} attraverso le formule più note ed usuali in letteratura.

Per la ricostruzione delle sezioni stratigrafiche del territorio comunale si è fatto riferimento ai dati forniti dall'Amministrazione Comunale e dalle conoscenze assunte dallo scrivente in occasione della redazione dello studio geologico ai sensi della ex l.r. 41/2007, relativi a numerose indagini geotecniche eseguite sul territorio, a supporto della realizzazione di opere edilizie.

Dal punto di vista topografico/morfologico, la situazione risulta abbastanza complessa; per necessità di sintesi si è dovuta operare una semplificazione nell'individuazione delle tipologie morfologiche da inquadrare secondo gli scenari di pericolosità sismica locale.

Sono state riconosciute zone di ciglio, di scarpata/terrazzo e zone di creste rocciose/cocuzzolo con morfologie appuntite/arrotondate, così come individuato nella Carta della Pericolosità Sismica Locale.

Dalle sezioni stratigrafiche/geotecniche e dalle relative correlazioni empiriche per la stima dei parametri geofisici, è stato ricavato il parametro V_{s30} (velocità media nei

primi 30 m di sottosuolo), variabile da 360 a circa 800 m/s, che colloca i terreni in categoria A e B dei suoli di fondazione secondo la distinzione indicata dal O.P.C.M. 3274/03. In ragione di tali evidenze si può ritenere che i terreni di sottofondo del territorio comunale di Monasterolo del Castello sia classificabili, dal punto di vista sismico, in senso generale e prevalente, come terreni:

Classe	Descrizione
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30, compresi fra 360 m/s e 800 m/s (N _{spt} >50 o coesione non drenata >250 kPa).
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 compresi fra 180 e 360 m/s (15<N _{spt} <50, 70<cu<250 kPa).
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti caratterizzati da valori di V _{s30} <180 m/s (N _{sp} <15, cu<70 kPa).
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali non litoidi (granulari o coesivi), con valori di Vs30 simili a quelli delle classi C o D e spessore compreso fra 5 e 20 m, giacenti su un substrato più rigido con V _{s30} >800 m/s.

In generale il fenomeno dell'amplificazione sismica diventa più accentuato passando dalla classe A alla classe E.

Sulla base delle informazioni raccolte, il territorio comunale di Monasterolo del Castello è classificabile cautelativamente come **Classe B per l'ampia area terrazzata di origine glaciale e per la fascia pedemontana; come Classe A per la porzione del territorio dove più superficiale è il substrato roccioso; come classe C (localmente classe D) dove i terreni sono più scadenti (aree prossime al lago o dove maggiore è lo spessore della coltre eluvio-colluviale).**

Tale classificazione vale naturalmente in senso generale; per ogni caso particolare, soprattutto per opere ed interventi di particolare complessità e rilevanza, dovrà essere verificata attentamente la classificazione sismica del sito, che potrebbe essere localmente più sfavorevole.

Si segnalano infatti situazioni ove prevalgono depositi di natura eluvio-colluviale o di maggiore alterazione del substrato argillitico in cui gli spessori delle coperture possono

essere localmente rilevanti (categoria suoli C e D); nella maggior parte dei casi, tuttavia, gli spessori delle coperture non superano i tre metri di spessore.

Caratterizzazione geotecnica qualitativa dei terreni

I dati stratigrafici, geotecnici e geofisici, in termini di valori di Vs, utilizzati nella procedura di 2° livello sono stati desunti principalmente dalle numerose stratigrafie di trincee esplorative/scavi eseguite sia sul territorio comunale di Monasterolo del Castello, sia in comuni limitrofi, nonché sulla base di numerose indagini geotecniche in sito che hanno interessato gli orizzonti superficiali del suolo (indicativamente inferiori ai 10 m da p.c.).

I dati geofisici sono invece stati ottenuti attraverso relazioni empiriche di correlazione con i dati stratigrafici e geotecnici.

Il grado di attendibilità per ciascuna tipologia di dato utilizzato è rappresentato nella seguente tabella:

Dati	Attendibilità	Tipologia
Litologici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio su campioni e da prove in sito
Stratigrafici (spessori)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)
	Alta	Da indagini dirette (sondaggi/stratigrafie pozzi)
Geofisici (Vs)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)

Il rilevamento geologico ha permesso di suddividere i depositi superficiali che ricadono nel territorio comunale in unità geologiche e di distinguere, al loro interno, litofacies omogenee dal punto di vista litologico.

Ciò consente di associare, sia pure in modo qualitativo, alcuni parametri geotecnici indicativi alle diverse litofacies come riassunto nel seguente prospetto:

Depositi detritici/conoide stabilizzata - I depositi superficiali sono prevalentemente riferibili, anche per analogia nelle caratteristiche granulometriche e geotecniche, ai

depositi detritici e di conoide stabilizzata. Sono terreni con componente clastica variabile, spesso prevalente, e una matrice a tessitura limosa e sabbiosa e/o, solo subordinatamente, argillosa. Si tratta di sedimenti dotati di buone proprietà meccaniche. Sulla base delle indagini geotecniche disponibili è stato possibile procedere ad una correlazione con i dati geofisici attribuendo valori elevati sia per le Vs superficiali (mediamente attorno a 400 m/s), che per le Vs30 (comprese tra 530 e 740 m/s), tali da comportare in prima istanza – e fatte salve più approfondite indagini locali - l'attribuzione di tali terreni alla classe B dei suoli di fondazione.

Depositi di versante – depositi eluvio/colluviali - Si tratta di depositi clastici con matrice da sabbiosa a limoso sabbiosa, a comportamento granulare. Possono essere ritenuti terreni di buona qualità geotecnica, con elevato modulo elastico. Anche per tali sedimenti sono possibili correlazioni con i dati stratigrafici/geofisici, sulla base di trincee esplorative, scassi stradali, scavi per fondazioni e indagini geotecniche in sito. Tali depositi sono caratterizzati per lo più da debole spessore, inferiore ai 10 m per i depositi di versante ed inferiori ai 5 m per i depositi eluviali.

In generale, i terreni che ricadono nel territorio comunale di Monasterolo del Castello presentano caratteri di qualità geotecnica da buona ad elevata, per le litofacies di origine alluvionale/detritica che per quelle fluvioglaciali, mentre decisamente più scadenti sono le litofacies limoso-argillose di origine lacustre.

Depositi morenici – (Loc. Brione) Sono riferibili ai sedimenti connessi con le ultime pulsazioni dell'apparato glaciale camuno e sono caratterizzati da depositi incoerenti granulari eterometrici privi di cassazione e gradazione. Si tratta di sedimenti dotati di buone proprietà meccaniche. Sulla base delle indagini geotecniche disponibili è stato possibile procedere ad una correlazione con i dati geofisici attribuendo valori elevati sia per le Vs superficiali (mediamente attorno a 400 m/s), che per le Vs30 (comprese tra 530 e 740 m/s), tali da comportare l'attribuzione in prima istanza – e fatte salve più approfondite indagini locali - di tali terreni alla classe B dei suoli di fondazione, quella più elevata nell'ambito dei terreni non rocciosi.

Depositi lacustri – Si riferiscono ai depositi di origine lacustre, caratterizzati da granulometrie limoso-argillose organiche, localmente con componente sabbioso ghiaiosa. Complessivamente sono depositi dotati di scadenti caratteristiche geotecniche e si caratterizzano per un andamento delle Vs 30 compreso tra 200 e 400 m/s (Loc. Moi, Casi, Cimitero, Loc. Castello)

Applicazione del secondo livello

La metodologia seguita per l'approfondimento sugli effetti di amplificazione litologica è quella descritta nel precedente studio, al quale si rimanda. Entrando nel dettaglio si osserva che l'assunzione dei dati stratigrafici è ricavata da stratigrafie già disponibili di pozzi e sondaggi, mentre i dati geofisici non sono stati integrati con ulteriori indagini dirette, ritenendo quelle disponibili nella bibliografia sufficienti a definire il quadro generale degli andamenti delle Vs30 nel substrato..

La scelta delle stratigrafie (spessori delle diverse unità), dei caratteri geotecnici (granulometria) e di quelli geofisici (andamento di Vs con la profondità e periodo caratteristico del sito T_0), utilizzati per la valutazione sismica di secondo livello del territorio di Monasterolo del Castello è di **attendibilità media**, poiché la maggior parte dei dati proviene da prove e indagini dirette, come si ricava dalla “*Tabella dei livelli di Attendibilità*“ della procedura di analisi normativa (d.g.r. n. 2616/2011, ALLEGATO 5).

2° livello determinazione di Fa (fattore di amplificazione)

Il 2° livello si applica a tutti gli scenari qualitativi suscettibili di amplificazioni sismiche (morfologiche Z3 e litologiche Z4) e per quanto attiene alla pianificazione, si applica, per comuni inseriti in Zona Sismica 3, ai soli ambiti interferenti con l'edificato e/o edificabile.

Amplificazione litologica (Scenari Z4a e Z4b)

Per il territorio comunale di Monasterolo del Castello, in relazione ai possibili effetti di amplificazione litologica, si é fatto riferimento alle caratteristiche geotecniche/geofisiche dei terreni considerati, cosi come riportato nei paragrafi precedenti. La procedura operativa é illustrata nell' Allegato 5 dei "Criteri ed Indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di Governo del Territorio, in attuazione dell' art. 57 della L.R. 12/2005.

La scheda litologica piu opportuna é risultata essere la scheda per la litologia ghiaioso-sabbiosa. Il periodo proprio di sito é risultato pari a 0,258 s, pertanto:

Calcolo periodo proprio del sito: $T = 0,258$

Calcolo F_a (0.1 – 0.5s): $F_a = 1,40 (+ 0.1) = 1,5$

Calcolo F_a (0.5 – 1.5s): $F_a = 1,7 (+ 0.1 \text{ arr}) = 1.8$

I parametri di riferimento di F_a per Monasterolo, presi dal database regionale, sono:

	Intervallo	B	C	D	E
MONASTEROLO DEL CASTELLO	0.1 - 0.5	1,4	1,8	2,2	2,0
	0.5 - 1.5	1,7	2,4	4,2	3,1

Amplificazione topografica/morfologica (Scenario Z3a)

In relazione all' amplificazione topografica, nell' ambito comunale é stato individuato lo scenario PSL Z3a, che riguarda le zone di ciglio (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica). La procedura per questo scenario é illustrata nell' integrazione all' Allegato 5 dei "Criteri ed Indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di Governo del Territorio, in attuazione dell' art. 57 della L.R. 12/2005", scaricabile dal portale web della Regione Lombardia. Secondo l' allegato, sono da considerarsi scarpate le morfologie che soddisfano i seguenti criteri: criteri geometrici:

- H (distanza verticale dal piede al ciglio del fronte principale) > 10 m;

- inclinazione del fronte principale) 10° ;

l' estensione del fronte superiore (distanza tra il ciglio del fronte principale e la prima evidente irregolarità morfologica) deve essere paragonabile al dislivello altimetrico massimo (H) o comunque non inferiore ai 15-20 m e, se inclinato, deve rispondere ai seguenti requisiti:

- scarpate in pendenza (pendenza concordante con quella del fronte principale);
- l'inclinazione (β) del fronte superiore deve essere $\leq 1/5 \alpha$
- scarpate in contropendenza (pendenza opposta a quello del fronte principale): il dislivello altimetrico minimo (h) deve essere $\leq 1/3H$.

Criteri litologici: attualmente il campo di validità della procedura è limitato a terreni di classe A (bedrock), identificati, secondo la definizione dell' O.P.C.M.

n. 3274/03, sulla base dell' impronta sismica ($V_s > 800$ km/s). Un' ulteriore limitazione della procedura deriva dal fatto che il suo campo di validità è limitato al periodo (T) 0,1 - 0,5 s, perché i risultati per l' intervallo 0,5 - 1,5 s appaiono eccessivamente influenzati dalla variabilità del moto di input e quindi non sufficientemente adatti a rappresentare in modo univoco la risposta sismica al sito. Nel territorio comunale gli elementi rispondenti, in prima approssimazione, ai criteri geometrici sono rappresentati dai versanti a monte dell' abitato di fondovalle.

Dal punto di vista litologico, le scarpate sono strutturate su litotipi carbonatici e su conglomerati fluviali, litologicamente assimilati al substrato roccioso. La procedura comporta il confronto tra i valori di H e α ottenuti per le varie tipologie di scarpata con una tabella che riporta, per classi altimetriche e di inclinazione, il valore di F_a di sito e l'estensione della relativa area di influenza (A_i), che indica l' ampiezza del settore in prossimità del ciglio di scarpata in cui si risente maggiormente dei fenomeni di amplificazione sismica.

<i>Classe altimetrica</i>	<i>Classe di inclinazione</i>	<i>Valore di Fa</i>	<i>Area di influenza</i>
10 m < H ≤ 20 m	10° ≤ α ≤ 90°	1.1	A _i = H
20 m < H ≤ 40 m	10° ≤ α ≤ 90°	1.2	A _i = $\frac{3}{4}$ H
H > 40 m	10° ≤ α ≤ 20°	1.1	A _i = $\frac{2}{3}$ H
	20° < α ≤ 40°	1.2	
	40° < α ≤ 60°	1.3	
	60° < α ≤ 70°	1.2	
	α > 70°	1.1	

Infine, i valori Fa di sito vengono confrontati con il valore Fa soglia per terreni di classe A, fornito dal Politecnico di Milano. Per il comune di Monasterolo del Castello il valore di soglia, in tutte le situazioni analizzate, risulta sempre Fa sito < Fa soglia; non si escludono naturalmente variazioni in situazioni più localizzate.

Per il territorio comunale di Monasterolo del Castello (Bg), i valori di Fa di sito sono inferiori a Fa soglia definito per il territorio in esame e per il tipo di suolo considerato, pertanto la normativa è in linea di massima da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione morfologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa (classe di pericolosità H1).

24 CARTA DI SINTESI

3.2 Indicazioni per l'attribuzione delle classi di fattibilità

Tabella 1 – classi di ingresso

Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti	
Aree soggette a crolli di massi (distacco e accumulo). Da definire in base all'estensione della falda di detrito e alla distanza raggiunta dai massi secondo dati storici (vengono delimitate le effettive aree sorgenti e le aree di accumulo dei crolli)	4
Aree interessate da distacco e rotolamento di blocchi provenienti da depositi superficiali (vengono delimitate le effettive aree sorgenti e le aree di accumulo dei crolli)	4
Aree di frana attiva (scivolamenti; colate ed espansioni laterali)	4
Aree di frana quiescente (scivolamenti; colate ed espansioni laterali)	4
Aree a franosità superficiale attiva diffusa (scivolamenti, soliflusso)	4
Aree a pericolosità potenziale per grandi frane complesse (comprendenti aree di distacco ed accumulo)	4
Aree in erosione accelerata (calanchi, ruscellamento in depositi superficiali o rocce deboli)	4
Aree interessate da trasporto in massa e flusso di detrito su conoide	4*
Aree a pericolosità potenziale per crolli a causa della presenza di pareti in roccia fratturata e stimata o calcolata area di influenza	4
Aree a pericolosità potenziale legata a orientazione sfavorevole della stratificazione in roccia debole e stimata o calcolata area di influenza	3
Aree a pericolosità potenziale legata a possibilità di innesco di colate in detrito e terreno valutate o calcolate in base alla pendenza e alle caratteristiche geotecniche dei terreni	3
Aree di percorsi potenziali di colate in detrito e terreno	4*
Aree a pericolosità potenziale legate alla presenza di terreni a granulometria fine (limi e argille) su pendii inclinati, comprensive delle aree di possibile accumulo (aree di influenza)	3
Aree interessate da valanghe già avvenute	4
Aree a probabile localizzazione di valanghe potenziali	4
Aree protette da interventi di difesa efficaci ed efficienti	3
Aree estrattive attive o dismesse non ancora recuperate, comprendendo una fascia di rispetto da valutare in base alle condizioni di stabilità dell'area	3
Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico	
Aree ad elevata vulnerabilità dell'acquifero sfruttato ad uso idropotabile e/o del primo acquifero	3
Aree con emergenze idriche diffuse (fontanili, sorgenti, aree con emergenza della falda)	4
Aree a bassa soggiacenza della falda o con presenza di falde sospese	3
Aree interessate da carsismo profondo (caratterizzate da inghiottitoi e doline)	4
Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico	
Aree ripetutamente allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali o frequentemente inondabili (indicativamente con tempi di ritorno inferiori a 20-50 anni), con significativi valori di velocità e/o altezze d'acqua o con consistenti fenomeni di trasporto solido	4
Aree allagate in occasione di eventi meteorici eccezionali o allagabili con minore frequenza (indicativamente con tempi di ritorno superiori a 100 anni) e/o con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua, tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità di edifici e infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche	3
Aree potenzialmente inondabili individuate con criteri geomorfologici tenendo conto delle criticità derivanti da punti di debolezze delle strutture di contenimento quali tratti di sponde in erosione, punti di possibile tracimazione, sovralluvionamenti, sezioni di deflusso insufficienti anche a causa della presenza di depositi di materiale vario in alveo o in sua prossimità ecc.	4
Aree già allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali nelle quali non siano state realizzate opere di difesa e quando non è stato possibile definire un tempo di ritorno	4
Aree soggette ad esondazioni lacuali	3
Aree protette da interventi di difesa dalle esondazioni efficaci ed efficienti, dei quali sia stato verificato il corretto dimensionamento secondo l'allegato 3 (con portate solidoliquide aventi tempo di ritorno almeno centennale)	3
Aree interessabili da fenomeni di erosione fluviale e non idoneamente protette da interventi di difesa	4
aree potenzialmente interessate da flussi di detrito in corrispondenza dei conoidi pedemontani di raccordo collina-pianura	3
Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche	
aree di possibile ristagno, torbose e paludose	3
aree prevalentemente limo-argillose con limitata capacità portante (riportare gli spessori)	3
aree con consistenti disomogeneità tessiture verticali e laterali (indicare le ampiezze)	3
aree con riporti di materiale, aree colmate	3

*classe di fattibilità non modificabile

Come richiesto dalla normativa regionale, “la carta di sintesi deve rappresentare le aree omogenee dal punto di vista della pericolosità riferita allo specifico fenomeno che la genera. Pertanto tale carta sarà costituita da una serie di poligoni che definiscono una porzione di territorio caratterizzata da pericolosità omogenea per la presenza di uno o più fenomeni di dissesto in atto o potenziale (...) o da vulnerabilità idrogeologica”. Da essa “verrà desunta la carta di fattibilità attribuendo un valore di classe di fattibilità a ciascun poligono definito dalla carta di sintesi”, avendo

come riferimento indispensabile le tabelle contenute nella d.g.r. 2616/2011 che forniscono, per ciascuna area omogenea, le classi di ingresso della fattibilità geologica. Nel caso specifico, sono state identificate, raggruppando per semplicità diverse condizioni di “pericolo” legate a caratteristiche geologiche, morfologiche,

idrografiche, ecc., alcune classi a diverso grado di pericolosità; non tutte le classi di “pericolosità” sono state identificate sul territorio comunale di Monasterolo del Castello: nella carta di sintesi, alla quale si rimanda, sono state opportunamente rappresentate le situazioni effettivamente riscontrate.

Nella costruzione della carta di sintesi sono state tenute in considerazione tutte le informazioni raccolte nelle precedenti fasi d’indagine e dal confronto con l’amministrazione comunale (in merito alle condizioni di rischio e agli eventi alluvionali o franosi più recenti); in particolare, per quanto riguarda le valli di Spirola e di Torrezzo ci si è attenuti – pur confrontandole con i risultati degli approfondimenti descritti nelle presenti note - alle considerazioni espresse nelle relazioni redatte a cura del Genio Civile (ora Ster) di Bergamo, nelle quali sono stati approfonditi gli aspetti legati alle condizioni di dissesto e alla loro stabilizzazione mediante opere ad ora già in gran parte realizzate con fondi regionali.

25 I BENI GEOLOGICI ED AMBIENTALI

Si vuole a questo proposito sottolineare come il territorio comunale di Monasterolo del Castello possieda un'elevata valenza ambientale proprio nel suo complesso, nella scansione e nella stretta interrelazione tra le diverse "componenti" geografiche che in esso si sono riconosciute e che sono state descritte.

Oltre al crinale dei Colli di S. Fermo, alla rupe in Dolomia a Conchodon che fascia tutto il versante da nord a sud, alla piana prossima al Cherio o alle testimonianze delle avanzate glaciali, tanti sono i dettagli che meriterebbero una considerazione e una valorizzazione, quando non addirittura una salvaguardia: così i muretti, con elementi combinati tra pietra locale e blocchi di origine fluvioglaciale, o i terrazzi artificiali che a volte risalgono i versanti; i piccoli terrazzi morfologici con sparsi massi erratici.

La stessa rete idrografica, che pure induce localmente fenomeni di dissesto e di pericolosità geologica, possiede una sua valenza ambientale, soprattutto per le relazioni che essa ha avuto con lo sviluppo degli abitati e la presenza delle case sparse e con l'uso del territorio; la stessa ubicazione del paese di Monasterolo, alla coalescenza di due conoidi alluvionali di particolare bellezza per la regolarità della forma e, soprattutto tra il paese, il torrente Torrezzo e il lago, per la conservazione dell'assetto tradizionale del territorio; il cordone morenico del Castello e la successione di conoidi coalescenti tra Monasterolo e Moj.

Tutto ciò deve essere considerato nel pensare lo "sviluppo" urbanistico del territorio comunale, come devono essere salvaguardate le viste all'esterno, i "cannocchiali" visivi, le panoramiche, da e verso il territorio di Monasterolo del Castello.

26 CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO

Le indicazioni relative alla fattibilità geologica e gli indirizzi per la pianificazione sono stati desunti dalla valutazione analitica e incrociata degli elementi contenuti nelle carte precedentemente descritte.

L'esame dei suddetti fattori ha consentito di sviluppare un processo diagnostico che ha permesso di zonizzare l'intero territorio comunale e di formulare proposte operative sulla base delle classi di fattibilità geologica di appartenenza

Pertanto, non essendo limitata la carta alle sole aree interessate dalle nuove azioni di piano, ma comprendendo essa stessa l'intero territorio comunale, si è voluto attivare e proporre una nuova politica di gestione del territorio che, pur all'interno di un modello di sviluppo consolidato, consenta di operare correttamente su di esso e di attivare tutti gli interventi necessari per il recupero di situazioni già compromesse.

La classificazione adottata fornisce inoltre utili indicazioni in ordine alla destinazione d'uso, alle cautele generali da adottare per gli interventi, agli studi ed alle indagini da effettuare per gli approfondimenti del caso, ed infine alle opere necessarie per la riduzione ed il controllo del rischio geologico ed idrogeologico.

Secondo quanto disposto dalla normativa, la presente relazione, redatta ai sensi della l.r. 12/2005, in sostituzione della precedente l.r. 41/1997 alla quale è conforme lo studio geologico di base, dovrà essere integralmente compresa negli strumenti urbanistici comunali.

La normativa prescrive inoltre che prima dell'adozione del nuovo strumento urbanistico comunale (PGT) debba essere ottenuto il parere della Regione Lombardia sull'aggiornamento della Carta dei dissesti con legenda uniformata PAI e che anche il precedente studio geologico venga nuovamente adottato contestualmente al Piano di Governo del Territorio, ai sensi della l.r. 12/2005. Nel caso presente, tuttavia, considerato che lo studio geologico riprende complessivamente e fa proprie le conclusioni e le analisi dello studio precedente, si ritiene che lo stesso possa efficacemente sostituire in toto lo studio ex l.r. 14/1997.

In particolare, la Carta della Fattibilità geologica per le azioni di piano deve fornire indicazioni relative alle limitazioni e destinazioni d'uso del territorio.

Le indicazioni relative alla fattibilità geologica e gli indirizzi per la pianificazione territoriale sono stati desunti dalla valutazione analitica e incrociata degli elementi ricavati dallo studio geologico redatto per l'aggiornamento previsto dalla l.r. 12/2005 e dallo studio geologico originario, come più volte accennato.

L'esame dei dati ha consentito di sviluppare un processo diagnostico che ha permesso di suddividere e classificare l'intero territorio comunale di Monasterolo del Castello dal punto di vista della fattibilità geologica e di formulare proposte operative in relazione alla classe di appartenenza.

Per quanto riguarda il territorio di Monasterolo del Castello, la specifica conoscenza dei caratteri del territorio porta ad escludere la presenza di aree classificate in classe di fattibilità 1.

La carta della Fattibilità geologica per le azioni di piano in particolare fornisce utili indicazioni in ordine alla destinazione d'uso, alle cautele generali da adottare per gli interventi, agli studi ed alle indagini da effettuare per gli approfondimenti del caso, ed infine alle opere necessarie per la riduzione ed il controllo del rischio geologico ed idrogeologico.

Ai sensi delle normative vigenti, si specifica che le indagini e gli approfondimenti prescritti per le classi di fattibilità 2, 3 e 4 (limitatamente ai casi consentiti) devono essere realizzati prima della progettazione degli interventi in quanto propedeutici alla pianificazione dell'intervento e alla progettazione stesse.

Copia delle indagini effettuate e della relazione geologica di supporto deve essere consegnata, congiuntamente alla restante documentazione, in sede di presentazione dei Piani attuativi (l.r. 12/05, art. 14) o in sede di richiesta del permesso di costruire (l.r. 12/05, art. 38)

Si ricorda ancora che gli studi condotti nell'attuazione della ex l.r. 41/97 e della l.r. 12/2005 e dei "criteri relativi alla componente geologica nella pianificazione comunale", **non devono essere in alcun modo sostitutivi, anche se le possono comprendere, delle indagini geognostiche e geofisiche di maggior dettaglio prescritte dalla normativa vigente in materia di edilizia sia per la pianificazione**

attuativa che per la progettazione esecutiva (NTC 2008 Norme Tecniche per le Costruzioni).

Sul territorio comunale di Monasterolo del Castello (Bg), per gli scenari di pericolosità sismica Z3 e Z4 direttamente interferenti con l'edificato/edificabile, il confronto tra i valori di Fa ottenuti dalla valutazione di 2° livello ed i valori di soglia, adottando quanto previsto dall'Allegato 5 della d.g.r. 2616/2011 e delle relative integrazioni per gli effetti morfologici, nonché le indicazioni fornite dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, ha consentito di verificare che: per tutti gli scenari individuati i valori di Fa di sito sono inferiori a Fa soglia definiti per il territorio in esame e per il tipi di suoli considerati, pertanto la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica e morfologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa (classe di pericolosità H1).

In fase di progettazione si dovranno adottare i riferimenti normativi previsti per la Zona sismica 3 e si dovranno prevedere gli approfondimenti sismici di 3° LIVELLO, solo per gli ambiti Z1 e Z2 così come individuati dal Decreto n. 19904 del 21 novembre 2003, al di fuori del centro abitato e delle perimetrazioni di cui alla carta di fattibilità geologica/sismica, allegata:

Si evidenzia che sulla base dei risultati emersi per la valutazione degli effetti di sito di amplificazione sismica per tutte le condizioni geologiche e geomorfologiche considerate ed estrapolabili all'urbanizzato di Monasterolo del Castello (applicazione del 2° Livello) non sono emerse condizioni geologiche, strutturali e morfologiche che comportino un particolare incremento del rischio sismico.

Si ritiene la che il grado di attendibilità delle valutazioni eseguite, sulla base di dati geotecnici disponibili, sia MEDIO, secondo le indicazioni per la valutazione del grado di giudizio previste dalla normativa.

Su tutto il territorio comunale, come previsto dalla suindicata normativa antisismica 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", si dovrà prevedere l'applicazione delle norme tecniche specifiche previste per la ZONA 3.

Ne consegue che non sono necessarie ulteriori prescrizioni oltre quelle di legge; fatto riferimento alle precedenti considerazioni, la normativa è in generale da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche possibili effetti di amplificazione litologica e morfologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla legislazione regionale e nazionale (Classe di pericolosità H1).

Seguendo dunque le indicazioni riportate nei criteri approvati e proposti dalla Regione Lombardia, sono state individuate dal punto di vista delle condizioni e delle situazioni geologiche tre classi di fattibilità, che sono riconoscibili per numero e colore sulla carta che costituisce **parte integrante della normativa del Piano di Governo del Territorio unitamente alle norme specifiche del PAI (Piano di Assetto Idrogeologico) che si riportano in allegato, e del Reticolo Idrico Minore, al quale si rimanda per gli approfondimenti del caso e per l'applicazione delle relative normative.**

Classe II – Fattibilità con modeste limitazioni

In questa classe ricadono le aree nelle quali sono state rilevate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti d'indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa.

Si ritiene che per tutte le aree di Classe II sulle quali è prevista una consistente modificazione della destinazione d'uso o la costruzione di nuovi insediamenti, debbano essere richieste da parte dell'Amministrazione Comunale indagini geologiche-geotecniche ed eventualmente geofisiche con diversi livelli di approfondimento a seconda della situazione locale; l'indagine geologico-geotecnica sarà comunque obbligatoria anche nel caso di P.I.I., P.I.P., piani urbanistici particolareggiati o attuativi in genere, strade, insediamenti industriali, opere pubbliche. Tali indagini dovranno evidenziare, sulla base della tipologia d'intervento e delle condizioni locali, i mutui rapporti con la geologia, con la geomorfologia e l'idrogeologia del sito oltre al buon governo delle acque di scorrimento superficiale;

dovranno inoltre fornire la caratterizzazione sismica del sito, secondo quanto previsto dalla normativa tecnica in materia.

Si dovranno valutare pertanto, secondo i casi, le interferenze prodotte da eventuali scavi e/o riporti nei confronti della stabilità locale e generale del pendio ed in relazione al grado di permeabilità dei terreni, dovranno essere opportunamente valutati e dimensionati i sistemi di drenaggio, di raccolta e di smaltimento delle acque superficiali, facendo attenzione ad evitare lo scarico nel sottosuolo di agenti inquinanti. Le suddette indagini, sulla base dell'entità dell'intervento e a discrezione del professionista incaricato e/o su indicazione dello strutturista, potranno essere costituite o da una semplice relazione geologica o richiedere specifici approfondimenti geotecnici attraverso l'effettuazione di prove penetrometriche in sito, sondaggi diretti, indagini geofisiche, analisi geostrutturali degli ammassi rocciosi potenzialmente instabili, ecc.; l'area di studio si dovrà estendere per un intorno significativo rispetto all'intervento edificatorio proposto.

Anche per interventi di piccola entità, l'Amministrazione Comunale dovrà chiedere la relazione geologica, con particolare riferimento ai casi in cui l'intervento possa interferire significativamente con edifici vicini o con le condizioni geologiche locali.

In particolare si ritiene opportuno, per la realizzazione di qualsiasi nuovo edificio, di mantenere una distanza di sicurezza di almeno 10 metri dal ciglio di scarpate morfologiche di qualsiasi origine.

Nel caso di realizzazione di edifici in prossimità di cigli di scarpata si ritiene necessaria la predisposizione di verifiche di stabilità della scarpata sottostante che tengano in considerazione l'applicazione del sovraccarico che comporta la realizzazione dell'edificio.

Nel caso che la realizzazione dell'edificio comporti la formazione di un fronte di scavo a monte e/o ai lati (es: realizzazione di un edificio su un pendio inclinato, esecuzione di box e di locali interrati in fregio a edifici esistenti e magari di vecchia costruzione), si ritiene necessaria la predisposizione di verifiche di stabilità del pendio in relazione alla realizzazione del fronte di scavo previsto. Questo per predisporre un progetto adeguato in merito alle opere di sostegno necessarie evitando così che l'esecuzione di scavi in prossimità di edifici esistenti possano indurre lesioni nelle strutture adiacenti.

Classe III – Fattibilità con consistenti limitazioni

La Classe III comprende zone in cui sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.

Il professionista dovrà, in alternativa:

- se dispone fin da subito di elementi sufficienti, definire puntualmente per le eventuali previsioni urbanistiche le opere di mitigazione del rischio da realizzare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori, in funzione della tipologia del fenomeno che ha generato la pericolosità/vulnerabilità del comparto;
- se non dispone di elementi sufficienti, definire puntualmente i supplementi di indagine relative alle problematiche da approfondire, la scala e l'ambito territoriale di riferimento e la finalità degli stessi, al fine di accertare la compatibilità tecnico-economica degli interventi con le situazioni di dissesto in atto o potenziale e individuare di conseguenza le prescrizioni di dettaglio per poter procedere o meno all'edificazione.

L'utilizzo di queste zone sarà pertanto necessariamente subordinato alla realizzazione di **indagini dettagliate** finalizzate all'acquisizione di una maggiore conoscenza geologico-tecnica dell'area e del suo intorno, mediante campagne geognostiche, prove in situ e di laboratorio, nonché mediante studi specifici di varia natura (geologici, geofisici, idrogeologici, idraulici, ambientali, pedologici, ecc.).

Ciò dovrà consentire di precisare le idonee destinazioni d'uso, le volumetrie ammissibili, le tipologie costruttive più opportune, nonché le necessarie opere di sistemazione ed eventualmente, se è il caso, di bonifica. Per l'edificato esistente dovranno essere fornite indicazioni in merito alle indagini da eseguire per la progettazione e la realizzazione delle opere di difesa, sistemazione idrogeologica e degli eventuali interventi di mitigazione degli effetti negativi indotti dall'edificato. Potranno essere inoltre predisposti, qualora necessario, idonei sistemi di monitoraggio

geologico che permettano di tenere sotto controllo l'evoluzione dei fenomeni in atto o indotti dall'intervento.

L'utilizzo di queste zone sarà pertanto subordinato alla realizzazione d'indagini mirate all'acquisizione di una maggiore conoscenza geologico-tecnica e/o idrogeologica e/o idraulica dell'area e di un suo immediato intorno. Tale approfondimento tecnico dovrà essere attuato attraverso l'effettuazione di approfonditi studi geologici-geotecnici, idrogeologici e l'esecuzione di campagne geognostiche, prove di laboratorio, verifiche di stabilità, etc., determinati secondo la tipologia dell'intervento, la collocazione, le condizioni del contorno, le specifiche richieste dello strutturista; dovranno inoltre fornire la caratterizzazione sismica del sito, secondo quanto previsto dalla normativa tecnica in materia.

Nel caso di problematiche di tipo idraulico, gli studi saranno necessari non solo in corrispondenza dei principali corsi d'acqua, ma anche dei corsi d'acqua minori che nel passato hanno manifestato significative forme di dissesto.

Il risultato delle indagini condotte dovrà valutare la compatibilità dell'intervento edificatorio e la portata massima che esso può avere in relazione alle caratteristiche del sito.

Gli interventi di bonifica idraulica o idrogeologica dovranno, ove possibile, essere eseguiti con tecniche di bioingegneria forestale.

Pur tenendo conto del fatto che *sarebbe opportuno limitare nuovi consistenti insediamenti nelle aree appartenenti alla Classe III*, si ribadisce naturalmente che in questo caso le relazioni geologiche e geologico-tecniche andranno eseguite sui nuovi fabbricati singoli, sui fabbricati esistenti e su tutti quegli interventi che presentano un significativo impatto sul territorio (es. viabilità, reti tecnologiche, ecc.).

Anche in questo caso si ritiene opportuno, nel caso della realizzazione di qualsiasi edificio, di mantenere una distanza di sicurezza di almeno 10 metri dal ciglio di scarpate morfologiche.

Nel caso di realizzazione di edifici in prossimità di un ciglio di scarpata si ritiene necessaria la predisposizione di verifiche di stabilità della scarpata sottostante che tengano in considerazione l'applicazione del sovraccarico che comporta la realizzazione dell'edificio.

Nel caso che la realizzazione dell'edificio comporti la formazione di un fronte di scavo a monte e/o ai lati (es: realizzazione di un edificio su un pendio inclinato, esecuzione di box e di locali interrati in fregio a edifici esistenti e magari di vecchia costruzione), si ritiene necessaria la predisposizione di verifiche di stabilità del pendio in relazione alla realizzazione del fronte di scavo previsto. Questo per predisporre un progetto adeguato in merito alle opere di sostegno necessarie evitando così che l'esecuzione di scavi in prossimità di edifici esistenti possano indurre lesioni nelle strutture adiacenti.

Prescrizioni particolari:

- nelle aree indicate con il simbolo **3***, indicativamente collocate, per tutto lo sviluppo del territorio comunale dal confine con Casazza al confine con Endine Gaiano, a valle delle più basse scarpate rocciose definite a rischio caduta massi, oltre alle indicazioni sopra suggerite devono anche essere verificate, per qualsiasi nuova costruzione o ampliamento, le reali condizioni del sito in rapporto al suddetto rischio di caduta massi, con opportuni approfondimenti, analisi, indagini e metodologie riconosciute dalla normativa tecnica di riferimento, che portino alla definizione della necessità o meno di realizzazione di opere di difesa e/o di contenimento; si consiglia a questo proposito la predisposizione di uno studio complessivo del grado di rischio delle aree indicate con le indicazioni per la riduzione/mitigazione del rischio stesso in rapporto alle aree già edificate o alle nuove previsioni edificative.

Nei casi in cui nella Carta del dissesto con legenda uniformata PAI siano comprese aree che ricadono nella Classe III di fattibilità geologica, si rimanda per esse all'art. 9 delle N.d.A. del PAI: queste ultime verranno considerate prevalenti, nel caso fossero più restrittive, su quelle delle classi di fattibilità attribuite. Lo stralcio completo della normativa PAI citata è allegato alla presente relazione e ad esso si rimanda per qualsiasi approfondimento.

Classe IV – Fattibilità con gravi limitazioni

In questa classe ricadono tutte quelle aree per le quali la situazione di alto rischio comporta gravi limitazioni per la modifica della destinazione d'uso delle particelle.

L'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso. Deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al monitoraggio, al controllo e alla manutenzione del territorio nelle aree a rischio idrogeologico, al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti sono consentite esclusivamente le opere relative ad interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti dall'art. 27, comma 1, lettere a), b) e c) della l.r. 12/2005, senza aumento di superficie o volume e senza aumento del carico insediativo. Sono consentite le innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica.

Eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico possono essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili, purché ne sia dimostrata la compatibilità con lo stato di rischio; dovranno comunque essere puntualmente e attentamente valutate in funzione della tipologia di dissesto e del grado di rischio che determinano l'ambito di pericolosità/vulnerabilità omogenea. A tal fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale deve essere allegata apposita relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave rischio idrogeologico.

Nei casi in cui nella Carta del dissesto con legenda uniformata PAI siano comprese aree che ricadono nella Classe IV di fattibilità geologica, si rimanda per esse all'art. 9 delle N.d.A. del PAI: queste ultime verranno considerate prevalenti, nel caso fossero più restrittive, su quelle delle classi di fattibilità attribuite.

Lo stralcio completo della normativa PAI citata è allegato alla presente relazione e ad esso si rimanda per qualsiasi approfondimento.

Norme per le aree ad elevato rischio idrogeologico

Per esse si rimanda al Titolo IV delle Norme di Attuazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, allegato alla presente relazione.

Grassobbio (Bg), 10 gennaio 2014

Dott. Geol. Andrea Gritti

Iscriz. Ordine dei Geologi della Lombardia n. 1461

Dott. Geol. Fabio Plebani

Iscriz. Ordine dei Geologi della Lombardia n. 884

(collaborazione Andrea Visconti)

-
- 1 *Da "Le catastrofiche alluvioni di Monasterolo del Castello" redatto dall'Ispettore Generale Forestale Dr. T. Boncompagni*
 - 2 *Da "Le catastrofiche alluvioni di Monasterolo del Castello" redatto dall'Ispettore Generale Forestale Dr. T. Boncompagni*
 - 3 *Da "Le catastrofiche alluvioni di Monasterolo del Castello" redatto dall'Ispettore Generale Forestale Dr. T. Boncompagni*
 - 4 *Comunicato ufficiale Comune di Monasterolo del Castello del 25.9.1979*
 - 5 *Comunicato ufficiale Comune di Monasterolo del Castello del 1.3.1987*
 - 6 *Comunicato ufficiale Comune di Monasterolo del Castello del 14.11.1994*
 - 7 *Relazione Ufficio Tecnico Comunità Montana Val Cavallina del 3.11.1997*
 - 8 *Da "Progetto preliminare: interventi di sistemazione valle Torrezzo Comune di Monasterolo del Castello" STAP BG- STRUTTURA GENIO CIVILE Ing. R. Serra- Geol. M. Gargantini*