



COMUNE DI TAVERNOLA BERGAMASCA
PROVINCIA DI BERGAMO

STUDIO GEOLOGICO
PER LA VARIANTE N.1
DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

(L.r. 11 marzo 2005, n°12 – D.g.r. 22 dicembre 2005, n° 8/1566 -
D.g.r. n.8/7374 del 28 maggio 2008 - D.g.r. 30 novembre 2011 n.IX/2616)

REVISIONE E INTEGRAZIONE
DELLA DOCUMENTAZIONE GEOLOGICA



GeoTer

INDICE

1. PREMESSA	pag.	1
2. PRESENTAZIONE DEL TERRITORIO	“	4
4. DESCRIZIONE DELLE CARTE TEMATICHE DI ANALISI	“	6
3.1. Carta litostrutturale	“	6
3.2. Sezioni geologiche e stratigrafie	“	14
3.3. Carta geomorfologica e dei processi geomorfici in atto	“	19
3.4. Carta idrogeologica	“	32
3.4.1. Osservazioni climatologiche	“	36
3.5. Carta geologico-tecnica	“	39
4. GEOMORFOLOGIA E IDROLOGIA	“	42
5. CARTA DEL DISSESTO CON LEGENDA UNIFORMATA P.A.I.	“	59
5.1. Premessa	“	59
5.2. Articolazione del lavoro	“	63
6. CARTA DEI VINCOLI	“	77
7. SISMICA DEL TERRITORIO TAVERNOLESE	“	78
7.1. Carta di pericolosità sismica di I livello	“	81
7.2. Studio di II livello	“	83
8. CARTA DI SINTESI	“	95
9. CARTA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA	“	104
10. CONCLUSIONI E RICHIAMI NORMATIVI	“	112
ALLEGATI		
A.1. - Prescrizioni geologiche per il Piano delle Regole	pag.	I – VII
A.2. – Sintesi dello Studio dei principali dissesti del Territorio Tavernolese; GeoTer, 1997		



1. PREMESSA

Lo studio descritto nelle pagine seguenti è indirizzato alla stesura della Variante n.1 del Piano di Governo del Territorio (P.G.T.) del Comune di Tavernola Bergamasca (Provincia di Bergamo), secondo le disposizioni della L.r. 11 marzo 2005, n.12 ed in conformità con i “*Criteri e 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*”, contenuti nella D.G.R. 22 dicembre 2005, n.8/1566 e integrati dalla D.G.R. 28 maggio 2008, n.8/7374 e dalla D.G.R. 30 novembre 2011 n.IX/2616.

Il Comune di Tavernola Bergamasca è già dotato di uno studio geologico in appoggio alla sua pianificazione urbanistica (*Comune di Tavernola Bergamasca - Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio ai sensi della d.g.r. 28 maggio 2008 n. 8/7374* - GEO.TE.C., 2010) approvato con Delibera del Consiglio Comunale n.20 del 18.11.2010 e pubblicato sul B.U.R.L. n.8 del 23.02.2011. Tale documento dovrebbe rappresentare un aggiornamento e un accorpamento di precedenti studi, quali:

RAVAGNANI D., 1994 - “*Studio Geologico di Supporto al Piano Regolatore Generale del Comune di Tavernola Bergamasca*”, redatto ai sensi della D.g.r. 18 maggio 1993 n 5/36147;

GEO.TE.C., 1997 - “*Studio dei principali dissesti idrogeologici del territorio tavernolese*”;

GEO.TE.C., 2002 - “*Studio Geologico di Supporto al Piano Regolatore Generale - Quadro del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I.*”, redatto ai sensi della D.G.R. 11 dicembre 2001, n.7/7365.

GEO.TE.C., 2004 - “*Studio di definizione del Reticolo Idrico Minore*”.

Partendo da questi studi e da sopralluoghi che hanno «*permesso di verificare la situazione geologica complessiva*», GEO.TE.C. (2010) ha mantenuto valide le analisi territoriali precedenti, cioè gli «*aspetti stratigrafici, litologici, morfologici, idrogeologici, climatici ed idrologici*», ma ha modificato le conseguenti definizioni di pericolosità geologica formulate in precedenza, approfondendo «*localmente il dettaglio soprattutto in riferimento alla valutazione degli aspetti sismici*».

Nella sostanza l’aggiornamento della geologia comunale effettuato nel 2010 (GEO.TE.C.) è costituito da un approfondito studio sismico (Carta di pericolosità di I livello e studio di II livello), ma anche da una stesura, diversa dalla precedente, del Quadro del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I. dalla quale derivano una diversa Carta di Sintesi della pericolosità geologica e una diversa proposizione della Carta di Fattibilità per le Azioni di Piano.

Ora, in occasione della stesura della Variante n.1 del P.G.T., il Comune di Tavernola Bergamasca, esperite alcune verifiche, ha ravvisato la necessità di provvedere alla revisione anche dello studio geologico in suo possesso onde adeguarlo i *Criteri* regionali più recenti (D.G.R. 30 novembre 2011, n.IX/2616). affidandone l’incarico a GEO.TE.C. - Studio Associato con determinazione del Responsabile del Servizio Gestione Territorio n.55/SGT/19 del 08/10/2015.

Si è infatti constatato che la corrente analisi geologica comunale (GEO.TE.C., 2010) non tiene adeguatamente conto dei dettagliati studi sui dissesti che interessano in modo molto importante il territorio tavernolese (GEO.TE.C., 1997) e, di conseguenza, nel P.G.T. non c’è la necessaria attenzione per alcune situazioni di seria pericolosità geologica e di rischio, mancandone la corretta delimitazione e l’indicazione delle precauzioni utili per la prevenzione e la difesa dello stesso centro abitato di Tavernola.



Anche lo “*Studio di definizione del Reticolo Idrico Minore*” (GEO TER, 2004) non è adeguatamente accolto nell’attuale cartografia del P.G.T.; infatti è omessa la rappresentazione di alcune significative aste del reticolo idrico superficiale comportando una pericolosa sottovalutazione delle dinamiche idrauliche e geomorfologiche, che possono interferire anche con le aree abitate. La stessa rappresentazione del R.I.M. non è stata riportata sulla Carta dei Vincoli, come invece è richiesto dalla normativa, limitandosi ad un semplice rimando nella relazione illustrativa, insufficiente per una corretta presa d’atto del vincolo dei limiti che esso pone e dell’attenzione che richiede.

Per altro, a proposito del R.I.M., si è evidenziata in questi frangenti anche una significativa carenza sotto il profilo formale e amministrativo, poiché lo stesso studio di definizione del R.I.M., seppure acquisito e approvato da Regione Lombardia - S.Ter. di Bergamo, a tutt’oggi non è stato adottato dal Comune di Tavernola, né lo strumento urbanistico è stato adeguato agli esiti di detto studio, come necessario e doveroso.

I sopralluoghi effettuati tra agosto e settembre del 2015 per verificare la congruità delle perimetrazioni e delle classificazioni contenute nella “*Carta Geomorfologica con Legenda Uniformata P.A.I.*” (Studio geologico a supporto del P.G.T., tavola n.8 - GEO.TE.C., 2010) hanno fatto emergere numerose e significative difformità di tale documento rispetto alla reale situazione sul terreno e anche rispetto al precedente “*Quadro del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I.*” (GEO TER, 2002). Questi riscontri hanno reso evidente la necessità ridefinire correttamente lo stato delle forme di dissesto geologico, realizzando in via preliminare una “*Proposta di Revisione della Cartografia PAF*” (GEO TER, 2015) da sottoporre rapidamente al parere di Regione Lombardia come condizione vincolante per procedere alla revisione dell’intero studio geologico comunale.

Da questa analisi geomorfologica è emersa una sostanziale riproposizione del quadro dei dissesti descritto nel 2002 e ciò consente di confermare la parte di analisi dello studio geologico effettuata nel 1994 e dettagliata sulle principali situazioni di dissesto nel 1997. A esito del parere regionale ottenuto (29.04.2016) è modificata la Carta di pericolosità sismica di I livello, per la parte riguardante i dissesti franosi (zone “Z1a” e “Z1b”), mentre per le aree con amplificazione litologica e topografica rimangono generalmente valide, con alcune precisazioni, le definizioni dello studio sismico di I e II livello del 2010 (GEO.TE.C.). Le modifiche al quadro del dissesto P.A.I. e la corretta acquisizione del R.I.M. (GEO TER, 2004) comportano la revisione della Carta dei Vincoli, della Carta di Sintesi e della Carta di Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano.



Lo studio geologico a supporto del P.G.T. di Tavernola Bergamasca è quindi composto dalle seguenti parti:

a) RELAZIONE ILLUSTRATIVA

contenente:

- il quadro descrittivo del territorio e di analisi ripreso dallo studio originario (RAVAGNANI D., 1994) e dallo studio di dettaglio dei dissesti (GEO TER, 1997);
- la proposta di revisione alla cartografia P.A.I. (parere regionale del 29.04.2016);
- l'analisi sismica del territorio comunale (GEO.TE.C., 2010) aggiornata con la nuova definizione dei dissesti franosi;
- una nuova sintesi di pericolosità geologica, una revisione degli aspetti vincolistici geologici, e di quelli di pericolosità sismica, una nuova fattibilità geologica.

b) CARTOGRAFIA TEMATICA:

Tavola 1a e 1b	Carta litostrutturale	RAVAGNANI D., 1994	scala 1:5.000
Tavola 2	Sezioni geologiche e stratigrafie	RAVAGNANI D., 1994	scala 1:5.000
Tavola 3a e 3b	Carta geomorfologica e processi geomorfici in atto	RAVAGNANI D., 1994	scala 1:5.000
Tavola 4a e 4b	Carta idrogeologica	RAVAGNANI D., 1994	scala 1:5.000
Tavola 5a e 5b	Carta geologico tecnica	RAVAGNANI D., 1994	scala 1:5.000
Tavola 6	Carta geomorfologica con legenda uniformata P.A.I.	GEO TER, 2017	scala 1:10.000
Tavola 7	Carta dei vincoli	GEO TER, 2017	scala 1:10.000
Tavola 8	Carta di pericolosità sismica locale (1° livello)	GEO.TE.C. 2010 GEO TER, 2017	scala 1:10.000
Tavola 9	Carta di sintesi della pericolosità geologica	GEO TER, 2017	scala 1:5.000
Tavola 10	Carta della Fattibilità Geologica di Piano	GEO TER, 2017	scala 1:10.000
Tavola 10a, b, c	Carta di Fattibilità Geologica di Piano	GEO TER, 2017	scala 1:2.000

c) NORME GEOLOGICHE DI PIANO





2. PRESENTAZIONE DEL TERRITORIO

(*“Studio geologico di supporto al Piano Regolatore Generale di Tavernola Bergamasca”* – RAVAGNANI D., 1994)

Il Comune di Tavernola Bergamasca è ubicato lungo la sponda occidentale del Lago di Iseo, nella fascia compresa tra il Corno di Predore a Sud ed il monte Saresano a Nord (vedi fig.1). Tavernola confina amministrativamente con il Comune di Monte Isola a Est, con Predore a Sud, Vigolo ad Ovest e Parzanica a Nord.

Poiché del profondo solco vallivo che si insinua alle spalle del centro abitato il territorio comunale comprende solo la zona prospiciente il lago, le indagini conoscitive del territorio sono state spinte ben oltre i confini comunali e hanno interessato un'area di circa 21 kmq, limitata a Est dal lago d'Iseo, a Sud dalla congiungente Punta del Corno - Colle d'Oregia, a Ovest dallo spartiacque con la valle di Adrara (culminante nella vetta del monte Bronzone 1334 m s.l.m.), a Nord dal colle Cargadura e dal monte Pendola e a NE dalle cime disposte ad arco che isolano la valle di Parzanica.

Il territorio risulta geomorfologicamente molto vario: si passa infatti da aree con caratteri collinari o montuosi a pianori terrazzati, da zone di fondovalle ad aree litorali lacustri. Esso è compreso quasi completamente nel bacino idrografico del torrente delle Tombe, la cui parte iniziale ha decorso orientato N-S; nel tratto compreso tra Seradello e Trussano l'asse vallivo è orientato NO-SE, mentre più in basso ruota in direzione O-E. Lo sbocco a lago avviene in corrispondenza del centro storico di Tavernola Bergamasca; in quest'ultimo tratto la valle prende il nome dal torrente Rino, che nasce poco a monte del centro comunale di Vigolo.

Alcune valli minori affluiscono nell'asta della valle delle Tombe: sono quelle di La Vallina, Negrignana e Mondara sul versante destro orografico e quella del torrente Rino sul versante sinistro; la valle delle Pertiche costituisce infine l'unico bacino idrografico con propria individualità, sebbene con sviluppo alquanto limitato (1 km), ubicato a SE della valle principale.

L'attuale conformazione del territorio è frutto dell'azione nel tempo di diversi fattori geologici combinati, primo fra tutti la natura litologica delle rocce qui affioranti ed il loro assetto strutturale, acquisito quest'ultimo nel corso dell'orogenesi alpina (80-50 M.A.).

In questa zona delle Alpi Meridionali vi sono estesi affioramenti di rocce di età tardo triassica e giurassica (200-180 M.A.), in analogia con tutta la fascia collinare che si estende dal lago di Como al lago d'Iseo. Tali rocce sono caratterizzate da una spiccata tendenza alla deformazione plastica, con la formazione di ampie pieghe vergenti a Sud; dove l'effetto delle deformazioni è più accentuato le pieghe si sono spezzate lungo superfici variamente inclinate, dando luogo a faglie o a veri e propri sovrascorrimenti. La distribuzione delle creste rocciose, delle cime montuose e gli allineamenti vallivi sono in gran parte controllati dalla giacitura dei banchi rocciosi e delle unità strutturali e dal loro diverso comportamento meccanico nei riguardi dell'erosione.

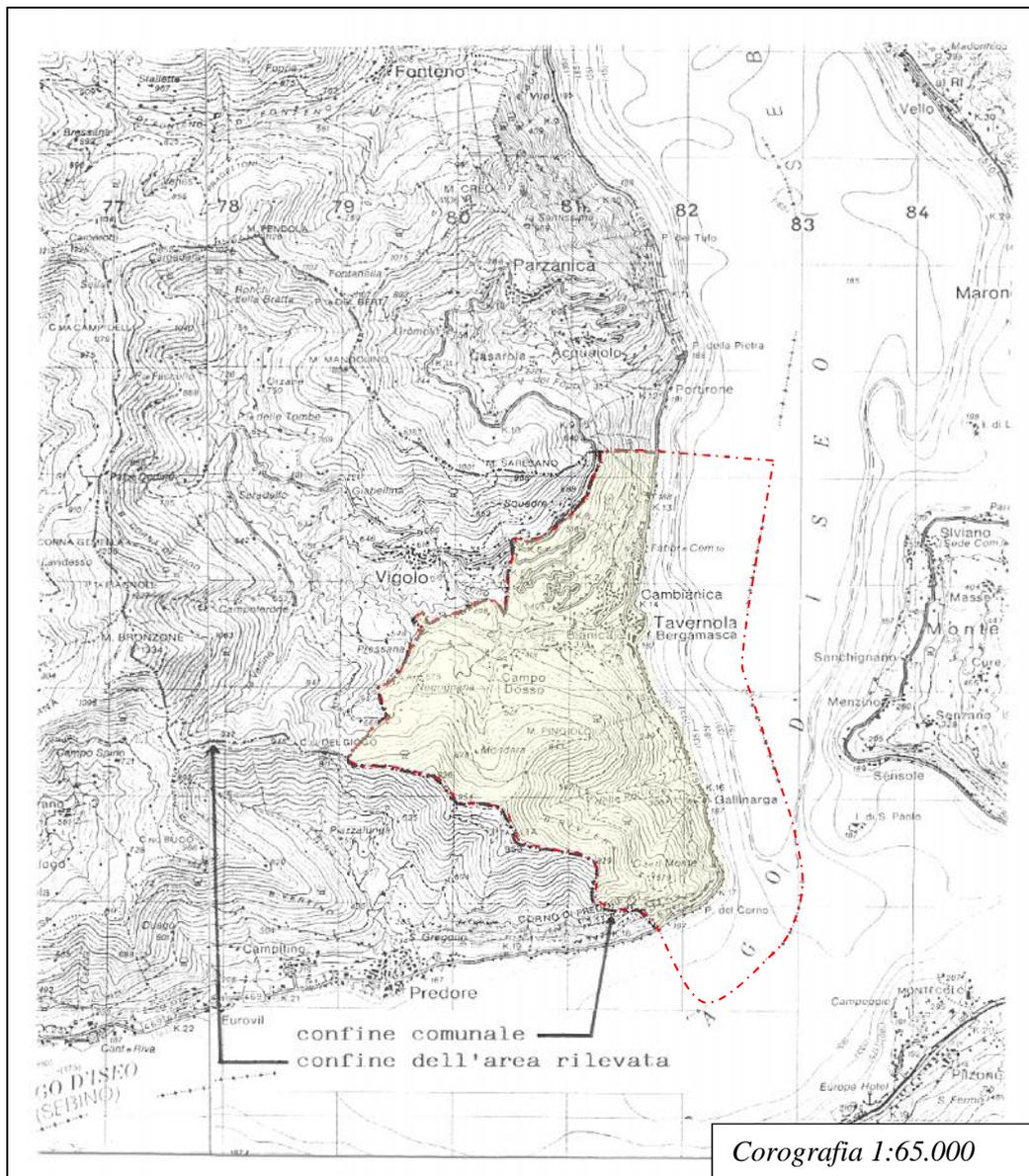
A questa originaria impronta geostrutturale si sono sovrimposti il modellamento glaciale quaternario, che ha contribuito ad addolcire le pendenze dei versanti e ad arrotondare le culminazioni, ha creato pianori morenici terrazzati e modellato la conca lacustre, l'erosione dei corsi d'acqua antichi e recenti che ha inciso profondamente la valle del Rino soprattutto nel tratto terminale, i processi pedogenetici con la formazione di suoli generalmente poco maturi e di limitato spessore e, non da ultimo in ordine



di importanza, l'azione antropica che ha portato alla completa urbanizzazione di aree prospicienti il lago o ubicate sui terrazzi.

Gli assetti geostrutturale e geomorfologico del territorio sono strettamente collegati a quello idrogeologico: i bacini di alimentazione delle falde sotterranee e le zone di recapito delle stesse sono infatti condizionati dalla natura e dalla struttura dei terreni, nonché dalla presenza di particolari morfologie superficiali (zone pianeggianti, depressioni carsiche) e del bacino lacustre sebino.

Alla sponda lacustre e a particolari morfologie con essa interferenti e talvolta eccessivamente antropizzate sono legati fenomeni di instabilità, anche di notevole rilevanza. Il fattore climatico dell'area, che risulta differenziato in funzione della distribuzione altimetrica del territorio e dell'esposizione dei versanti, ha un grande peso nell'evoluzione geomorfologica attuale del territorio e nel determinarsi di alcune situazioni di dissesto: regime pluviometrico presenta valori di precipitazione media annua di 1650 mm.





3. DESCRIZIONE DELLE CARTE TEMATICHE DI ANALISI

(“Studio geologico di supporto al Piano Regolatore Generale di Tavernola Bergamasca” – RAVAGNANI D., 1994)

3.1 CARTA LITOSTRUTTURALE

(tavola n.1a, 1b, 1c, 1d)

Questo elaborato contiene le informazioni di carattere litologico e strutturale, elementi primari per la definizione del territorio; le rocce ed i terreni vengono distinti in base alla loro natura chimico fisica, al loro grado di suddivisione e viene indicata la posizione nello spazio delle loro principali discontinuità. Questi elementi sono la base per la comprensione dei lineamenti geomorfologici, idrogeologici dell'area e per formulare delle valutazioni tecniche sul suo utilizzo urbanistico.

Nella carta litostrutturale è rappresentata la distribuzione superficiale delle formazioni rocciose, secondo criteri litostratigrafici scientifici correnti; per quanto riguarda i terreni granulari, che rappresentano i supporti maggiormente interessati dalle attività antropiche ed edilizie in particolare, sono evidenziate distinzioni in base ai processi che li hanno generati, con ulteriori suddivisioni in funzione della successiva caratterizzazione geotecnica ed idrogeologica.

TERRENI DI COPERTURA

I terreni di copertura si possono distinguere in base ai fenomeni che hanno concorso alla loro formazione in DEPOSITI FLUVIALI, DEPOSITI LACUSTRI, DEPOSITI DI VERSANTE e DEPOSITI GLACIALI. Si aggiungono infine i RIPORTI E LE DISCARICHE connessi all'azione dell'uomo così come le AREE URBANIZZATE.

DEPOSITI FLUVIALI

Sono connessi all'azione delle acque incanalate; sono stati distinti:

- **alluvioni attuali (a)**: sono i sedimenti presenti negli attuali alvei fluviali e nelle zone di esondazione delle piene normali. Si tratta di depositi sciolti ghiaiosi o sabbiosi con blocchi, debolmente limosi, non colonizzati dalla vegetazione. Questi depositi sono in genere arealmente molto limitati, discontinui e presenti principalmente alla parte alta della valle delle Tombe e della Vallina; nelle valli Negrignana e di Mondara si osservano depositi analoghi con grossi blocchi trasportati durante le forti piene.

- **depositi travertinosi (tr)**: si tratta di depositi di brecce cementati da aragonite e travertini di limitata estensione, situati in prossimità di sorgenti. Essi si osservano nella zona della sorgente del Roggino e della sorgente a SO di Gallinarga.

- **depositi di conoide (co)**: presentano una tipica morfologia a ventaglio, si collocano allo sbocco delle valli sul lago. Sono costituiti da ghiaie sabbiose con lenti di sabbia e limo, solo localmente cementate. La disomogeneità che caratterizza questi depositi è stata osservata nel corso di perforazioni eseguite a seguito del più recente avvallamento verificatosi a Tavernola Bergamasca (vedi tavola 2): qui in particolare è stata messa in luce la presenza di lenti limoso-sabbiose. Lo



spessore di questi depositi varia da qualche metro ad oltre 70 m, come osservato nella perforazione eseguita per la realizzazione del pozzo di via Roma.

Le conoidi principali sono quella alla foce del torrente Rino (centro storico di Tavernola) e quella di Gallinarga. Di minor entità è la conoide ubicata in corrispondenza dello sbocco a lago della valle delle Pertiche; mentre analoghi depositi sono presenti a Sud della parete rocciosa del Corno di Predore.

Su questi depositi, a causa della loro moderata acclività rispetto ai terreni circostanti e della presenza di acqua da utilizzare come forza motrice, sono sorti in passato gli agglomerati urbani, i villaggi, gli opifici, i porticcioli e gli attracchi dei pescatori, successivamente circondati e inglobati dagli insediamenti residenziali, produttivi, commerciali e turistici più recenti. Sono i casi del centro storico e amministrativo di Tavernola sulla conoide del Rino e di Gallinarga su quella omonima.

DEPOSITI LACUSTRI

La deposizione di questi materiali avviene per erosione lungo le sponde rocciose e per rimaneggiamento dei depositi superficiali sciolti situati lungo la riva lacustre.

- **depositi litorali lacustri attuali (l)**: si tratta di ghiaie e sabbie sciolte ubicate in corrispondenza delle sponde ove il versante è meno acclive. Questi materiali presentano maggior estensione nelle zone a Sud delle conoidi principali.

DEPOSITI DI VERSANTE

La genesi dei depositi di versante è essenzialmente legata all'azione della forza di gravità e alla disgregazione fisico-chimica operata sulle masse rocciose dagli agenti atmosferici e climatici; in questa categoria sono stati distinti:

- **coperture eluviali (e)**: si tratta dei prodotti derivati dalla alterazione fisico-chimica in sito del substrato roccioso (*eluvium*). Questi terreni sono costituiti da argille e sabbie limose, prodotte da substrati calcareo-marnosi, e da sabbie più o meno grossolane derivate da rocce silicee; nell'ultimo caso sono presenti molti frammenti spigolosi della roccia sottostante. Si tratta di depositi di spessori generalmente ridotti, al massimo pochi decimetri; solo sul substrato calcareo marnoso possono raggiungere spessori di circa 1 m. Queste coltri di alterazione sono ovunque ricoperte da vegetazione boschiva a latifoglie o a conifere. Nelle aree a quote più elevate erano diffusi fino ad un recente passato i pascoli; ora essi stanno lentamente scomparendo lasciando posto ad incolti o a rimboschimenti.

A causa della predominanza delle rocce calcareo marnose nel bacino della valle di Tavernola l'estensione di questi terreni eluviali è notevole, in particolare a quote superiori a 650-700 m s.l.m. come nella zona più alta di valle delle Tombe, nell'area del monte Saresano, in quella di La Rolla e del Colle del Giogo e nella zona di monte Pingiolo e Punta Alta.



Gli *eluvium* di rocce silicee sono presenti nell'area di Dosso Brugo, dove si notano caratteristici prismi silicei di dimensione millimetrica, ed in corrispondenza di un orizzonte del Calcere di Domaro ricco in silice (orizzonte a Tripoli).

- **detriti di falda (dt)**: sono generati dal il lento agire della forza di gravità su pareti rocciose più o meno disgregate, ai piedi delle quali formano fasce e coni detritici. Sono costituiti da ghiaie e ghiaie sabbiose con clasti spigolosi e blocchi a volte di notevoli dimensioni.

Generalmente questi depositi nell'area esaminata hanno raggiunto un grado di stabilizzazione tale da permettere lo sviluppo di suolo e la crescita di vegetazione arboreo arbustiva nella quale prevalgono frassino e carpino nero; coni detritici sciolti, non colonizzati, sono stati osservati immediatamente a valle di pareti rocciose (campitura a triangoli), talvolta associati ad analoghi depositi cementati da aragonite. Il loro spessore varia da pochi decimetri ad alcuni metri.

Queste coltri detritiche costituiscono affioramenti limitati e confinati nella zona di Squadre, a monte di Predello, a Sud del Corno di Predore, sul versante orientale e nord-orientale del monte Bronzone e sul versante idrografico sinistro dell'alta valle delle Tombe.

- **accumuli di frana (af)**: si tratta di accatastamenti caotici di blocchi anche di dimensioni plurimetriche, in matrice grossolana o sabbioso-limosa, legati ad eventi gravitativi consistenti e ad evoluzione improvvisa. Gli accumuli possono essere associati a zone di rocce particolarmente fratturate e poste su versanti acclivi, talvolta interessate da attività estrattiva (miniera di Tavernola); generalmente le aree franose della zona sono state parzialmente o completamente bonificate.

Analoghi depositi dovevano essere ubicati lungo l'asta del torrente della valle delle Tombe e del Rino, come pure dei loro affluenti principali: così indicano le frequenti nicchie di stacco osservabili nel materiale morenico, sciolto e instabile, ai bordi dei terrazzi morfologici; la attuale esigua diffusione e cartografabilità di questi fenomeni è dovuta all'elevata capacità di erosione dei corsi d'acqua, che hanno completamente asportato il materiale franato.

DEPOSITI GLACIALI

Rappresentano gli accumuli frontali, laterali e di fondo connessi alla antica presenza di apparati glaciali quaternari. Questi sedimenti sono arealmente assai diffusi nella valle di Tavernola Bergamasca ed in quella delle Pertiche sino a quote inferiori a 650-700 m s.l.m.

La natura poligenica dei clasti denuncia la provenienza dei sedimenti dai settori più settentrionali del territorio orobico, e la probabile connessione del sistema locale con ghiacciai di maggior estensione ed importanza.

- **depositi morenici (mo)**: sono costituiti da ghiaie grossolane, sabbie, limo-argilloso con blocchi sparsi e grossi trovanti e presentano una buona compattazione. I blocchi ed i ciottoli sono di natura litologica assai varia, con una percentuale rilevante di rocce calcareo marnose provenienti dal bacino idrografico locale; sono stati osservati inoltre ciottoli tonalitici, gneissici e di conglomerati silicei. Questi depositi non presentano generalmente una stratificazione distante, così come si può osservare nelle stratigrafie di dettaglio di Calchere, S.Rocco e Cambianica (vedi tavola 2). Localmente vi possono essere variazioni riguardante la matrice che lega i ciottoli e i trovanti: dove essa è limoso-



argillosa si notano colorazioni bruno scure o grigie (S.Rocco), dove è sabbiosa le tonalità sono bruno giallastre (Calchere, Copiana).

Nelle porzioni prossime al substrato roccioso i depositi morenici sono dotati di una maggior coerenza dovuta a parziale o completa cementazione con aragonite (mc). L'orizzonte superficiale mostra in tutta l'area di aver subito un processo di pedogenizzazione che ha portato alla formazione di suoli ricchi in limo argilloso di colore bruno, spessi in alcuni casi fino a 60-70 cm; su questi terreni è particolarmente sviluppata l'attività agricola con coltivi, piantagioni di ulivi e rari vigneti.

Lo spessore complessivo delle coltri moreniche, varia da pochi decimetri in corrispondenza del versante rivolto a lago a più di 60-70 metri nelle zone di Vigolo, Clogna e Troal. Questi depositi sono particolarmente sviluppati sul territorio di Vigolo. All'interno dei confini comunali di Tavernola Bergamasca le aree con i maggiori spessori di morene (30-40 m) sono quelle della val Negrignana, di Trussano, della fascia tra Copiana e Calchere e della località "il Dosso" presso Gallinarga. Spessori minori si osservano nella zona di Bianica e Campo Dosso, così come in valle delle Pertiche. Nelle zone di Bianica, via S.Rocco e Caselle le morene quaternarie presentano stratificazione poco evidente, con immersione verso il lago: riteniamo che ciò sia la testimonianza del loro probabile rimaneggiamento entro una paleoconoide.

- **depositi morenici argillosi (ma)**: si tratta di materiali prevalentemente argillosi con rari ciottoli, blocchi e frammenti di selce; essi presentano colorazioni bruno rossastre e spessori inferiori a 10-15 m. Queste coltri sono diffuse a quote comprese tra i 650 ed i 750 m s.l.m. e sono ricoperte da coltivi o da pascoli. La natura prevalentemente argillosa di questi materiali, la rarità e la composizione mineralogica dei ciottoli e la posizione stratigrafica sottostante ai depositi morenici precedentemente descritti lasciano supporre che la loro deposizione sia da riferire ad una glaciazione precedente. Nell'area indagata queste litologie sono state osservate a NE del M.Saresano, a Nord di Vigolo, a monte delle località Prenide, Vasso e Mondara.

- **depositi lacustri interglaciali (mli)**: si tratta di depositi osservati unicamente in corrispondenza del pianoro di Mondara (vedi anche stratigrafia tavola 2) e costituiti da argille lacustri varvate di colore grigio o bruno-giallastro, con rarissimi ciottoli poligenici e con uno spessore superiore a 4 m. La loro presenza è da attribuirsi ad un antico sbarramento della parte superiore della valle di Mondara operata da una morena laterale. Analoghe condizioni potrebbero essersi verificate nella zona di Vasso e di Seradello.

RIPORTI ANTROPICI

Per quanto riguarda i depositi connessi alla attività dell'uomo sono stati distinti:

- **terreni di riporto e discariche (r)**: si tratta di materiali detritici grossolani e talora anche terrosi collegati ad attività estrattive e subordinatamente e scavi e demolizioni edili. In particolare nell'area mineraria di Tavernola (oggi CementirSacci) vi sono discariche minerarie e cumuli di tout-venant di "marna da cemento" di dimensioni considerevoli la cui morfologia varia in funzione dell'ubicazione della zona di estrazione e della produzione.

I terrapieni di maggiori dimensioni sono situati in corrispondenza del campo sportivo di Cambianica, di alcuni fabbricati e della strada statale n.469.



Tra le discariche di materiali inerti meritano di essere segnalate quelle lungo la strada che collega Ponte delle Tombe con Negrignana, quelle di Vigolo, Foppe e Bianica.

- **aree urbanizzate**: sono state evidenziate in carta solo con un tratteggio a maglia quadrata per non mascherare le campiture che indicano la natura litologica dei terreni sottostanti. Si tratta di terreni di varia natura, rimaneggiati e coperti da pavimentazioni e strutture edilizie.



Terreni alluvionali spigolosi in valle Mondara (A) e presso la foce del torrente Rino (B)



Terreni litorali lacustri vicino a Predello (C) e depositi glaciali con detriti di falda presso Moia (D)



FORMAZIONI ROCCIOSE

Le rocce presenti nell'area studiata appartengono a formazioni sedimentarie triassiche e giurassiche, comprendenti in gran parte termini carbonatici (calcari, dolomie e marne); queste unità litostratigrafiche fanno parte della cosiddetta "copertura permo-mesozoica delle Alpi Meridionali": elencate in ordine cronologico dalla più recente alla più antica sono:

- Formazione delle Radiolariti: selci grigie stratificate
- Formazione di Concesio: calcari con selci grigie stratificati
- Calcarea di Domaro: calcari marnosi con selci stratificati
- Calcarea di Moltrasio: calcari con selce nera stratificati
- Calcarea di Sedrina: calcari grigi stratificati
- Dolomia a Conchodon: calcari nocciola massicci
- Corna: calcari chiari massicci
- Calcarea di Zu: calcari e marne stratificati

"FORMAZIONE DELLE RADIOLARITI", Kimmeridgiano - Batoniano (?), (RA): affiora in una zona limitata compresa tra La Rolla e Dosso Brugo, sullo spartiacque superficiale tra la valle di Tavernola Bergamasca e quella di Predore, al limite sudoccidentale dell'area rilevata. L'unità è costituita da selci di colore grigio, con frattura prismatica, in strati di spessore decimetrici; esse danno origine ad un eluvium sabbioso e ghiaia minuta costituita da millimetrici prismi di selce. Lo spessore complessivo della formazione non è valutabile poiché nell'area di indagine non affiora l'unità geologica soprastante.

"FORMAZIONE DI CONCESIO", Baiociano - Toarciano (FC): affiora in una zona limitata sul versante meridionale della valle di Tavernola, al bordo sudorientale dell'area rilevata. Essa è costituita alla base da breccie calcareo silicee, ad elementi centimetrici o millimetrici, in strati dello spessore di 5-30 cm, con fossili di crinoidi; sopra stanno calcari marnosi grigi ben stratificati, tenaci, con locali interstratificazioni di marne arenacee giallo-verdastre e noduli di selce chiara. Queste rocce presentano una patina d'alterazione da grigio chiara a bianco giallastra ed hanno scarsa erodibilità. Lo spessore totale della formazione è valutabile in 200 m circa.

"CALCARE DI DOMARO", Domeriano - Carixiano (DO): è la formazione più diffusa nell'area, sia per motivi stratigrafici (ha uno spessore di circa 1100 m), sia per motivi strutturali; essa infatti affiora lungo tutta la valle di Tavernola, anche al di sotto delle coperture moreniche, e in tutta la valle delle Pertiche. Questa unità costituisce quasi interamente i rilievi del monte Saresano, del monte Cremona e del monte Mandolino e la parte sommitale della Punta del Bert, sul versante sinistro idrografico della valle principale; è presente inoltre sul monte Pingiolo, nella parte superiore di Punta Alta e nella conca di valle delle Pertiche.

La formazione è costituita da calcari marnosi, grigio bruni o grigio scuri alla base e bruno nocciola nella porzione superiore, con sottilissime intercalazioni di marne grigio giallastre o verdastre; la stratificazione è media o in banchi con spessori variabili da 20 a 80 cm. All'interno di questa successione sono stati osservati due orizzonti con un elevato contenuto in selce: il primo con lenti e liste di selce grigia ha uno spessore di circa 100 m, il secondo, caratterizzato quasi esclusivamente da selce farinosa tipo "Tripoli", raggiunge uno spessore massimo di 70 m tra Pressana e Vigolo. Oltre a questi litotipi alla sommità del Domaro sono presenti calcari fossiliferi in strati decimetrici di colore



nocciola e orizzonti arenaceo marnosi di colore bruno in banchi. Queste rocce hanno una coltre di alterazione superficiale talora di spessore considerevole, superiore al metro, diffusa soprattutto in alta valle delle Tombe e nella valle delle Pertiche.

Il substrato roccioso del territorio comunale di Tavernola, ad esclusione della sua porzione meridionale è interamente costituito da questa unità formazionale, che strutturalmente forma l'ossatura della sinclinale di Tavernola.

"CALCARE DI MOLTRASIO", Carixiano - Sinemuriano (**MO**): affiora tra Colle Dedine e la valle delle Tombe, tra Camerina e Bosco Traversa e a Sud del Corno di Predore sin quasi a Gallinarga. La formazione è costituita da calcari grigio scuri, ruvidi e tenaci, ben stratificati, a patina d'alterazione grigio chiara, con rari interstrati marnosi e livelli e noduli di selce nera alla base degli orizzonti calcarei; localmente vi sono interstrati marnosi. Generalmente queste rocce non sono coperte da eluvium molto sviluppati; solo nei pressi di Colle Dedine si osservano orizzonti di alterazione superficiale spessi circa 50 cm. La potenza di questa unità è di circa 150 m.

"CALCARE DI SEDRINA", Hettangiano (**CS**): l'area di affioramento è analoga a quella delle precedenti formazioni ed interessa il versante sudorientale del monte Bronzone, la zona compresa tra Parmerano e colle Dedine e una fascia di limitata estensione a Sud del Corno di Predore, sino a Pozzo Glaciale. Si tratta di calcari grigio scuri, debolmente marnosi, in strati di 30 - 70 cm, talvolta raggruppati in banconi nell'area del monte Bronzone; alla base della successione vi sono banchi ricchi di oncoliti e localmente sono presenti noduli di selce grigia. Nella parte basale ed in quella sommitale della formazione sono presenti due livelli fossiliferi dei quali il sommitale, più evidente, è stato visualizzato anche nella cartografia tematica.

A Sud del Corno di Predore, invece, il "Sedrina" è caratterizzato da calcare grigio in banchi con noduli di selce nera e piccole oncoliti. La differenza di litologie che distingue le due aree su citate indica la presenza di originarie diverse condizioni di sedimentazione, come si riscontra in modo anche più chiaro nelle formazioni tra loro eteropiche e stratigraficamente sottostanti (Dolomia a Conchodon e Corna); stesso significato hanno le differenze di spessore che il Calcare di Sedrina mostra: 150 m verso il Bronzone, tra 20 e 50 m verso Predore.

Sopra queste rocce le coperture eluviali non sono molto sviluppate ed i suoli raggiungono al massimo lo spessore di 30-40 cm.

"DOLOMIA A CONCHODON", Hettangiano - Retico superiore (**DC**): affiora in corrispondenza del monte Bronzone e sul versante nordorientale della Corna Gemella, in continuità stratigrafica con il sottostante Calcare di Zu. Si tratta di calcari di colore grigio chiaro a stratificazione massiccia, con intercalati banchi saccaroidi di dolomia di color grigio bruno nella parte inferiore dell'unità.

Questa formazione è strutturalmente coinvolta nell'anticlinale del monte Bronzone ed ha uno spessore che si aggira intorno ai 150 m in corrispondenza del fianco più settentrionale della piega, mentre sul versante sudorientale il suo spessore è inferiore a causa di una elisione tettonica di importanza regionale. In quest'ultima area di affioramento la Dolomia a Conchodon è particolarmente fratturata e presenta diffuse forme di dissoluzione carsica, con formazione di "terre rosse". Quest'unità è coperta raramente da suoli residuali discontinui spessi non più di una ventina di centimetri.



"**CORNA**", Hettangiano - Retico superiore (**CO**): affiora unicamente sul versante meridionale del Corno di Predore in continuità stratigrafica con il sottostante Calcarea di Zu. Questa formazione è costituita da calcari chiari massicci, o a stratificazione indistinta, che danno luogo a scarpate rocciose strapiombanti. La Corna è in eteropia (passaggio laterale) con la "Dolomia a Conchodon" verso N e NO ed ha uno spessore di circa 250 m.

"**CALCARE DI ZU**", Retico medio: (**ZU**): affiora sul versante nordorientale del monte Bronzone in corrispondenza della valle delle Acque Vive e a Sud del Corno di Predore tra Punta del Corno e la val Muradella. La formazione è costituita da calcari e calcari debolmente marnosi di colore grigio bruno, a stratificazione media, alternati a marne bruno nerastre e argilliti nere in strati sottili; superiormente si osservano banchi carbonatici di spessore metrico. Nell'area del monte Bronzone questa formazione appare fratturata per la presenza di sistemi disgiuntivi in corrispondenza della cerniera dell'anticlinale di cui questa unità rappresenta il nucleo. Lo spessore della formazione non è valutabile Poiché nell'area di studio non è stato osservato il limite con l'unità stratigraficamente sottostante; in letteratura viene indicata una potenza superiore ai 1000 m sulla sponda occidentale del Sebino.



Formazione della Corna (E e F): calcari i grossi banchi presso vecchia strada lungo lago di Tavernola



Form. di Domaro: calcari debol.marnosi stratificati lungo strada per Cambianica (G) e lacuale (H)



3.2. SEZIONI GEOLOGICHE E STRATIGRAFIE (tavola n.2)

Le sezioni geologiche sono degli "spaccati" del territorio costruiti a partire dalla carta geologica di superficie, assieme alla quale permettono la visione tridimensionale delle strutture geologiche.

Le quattro sezioni presentate in questo lavoro sono state scelte in modo da illustrare in modo chiaro sia l'assetto strutturale della masse rocciose sia i principali lineamenti morfologici del territorio di Tavernola Bergamasca. Le campiture e i simboli adottati sono gli stessi della carta litostrutturale.

Dall'osservazione delle sezioni geologiche e della carta litologica si comprende che l'assetto tettonico del territorio di Tavernola e Vigolo è dominato da una fascia di intensa deformazione con pieghe, faglie inverse e sovrascorrimenti con direzione ENE-OSO, larga circa un chilometro e mezzo compresa tra la dorsale Colle Giogo - monte Bronzone a occidente e la zona a lago a Nord del cementificio.

Questa fascia divide l'intera area in due settori: uno nordoccidentale, corrispondente all'alta valle delle Tombe, caratterizzato da una monoclinale lievemente ondulata impostata nel Calcere di Domaro, l'altro meridionale, ubicato a Sud della val Negrignana e della valle del Rino, dominato da una ampia sinclinale, nota in letteratura col nome di "Sinclinale di Tavernola".

La zona di deformazione, che presenta giaciture fortemente inclinate verso S o SSE, è caratterizzata da una piega anticlinale, la cui cerniera è ubicata tra Gombo (Nord del monte Bronzone) ed il monte Saresano, e da una successiva piega sinclinale ("Sinclinale di Tavernola"), che da Dosso Brugo si snoda verso il lago attraversando l'abitato di Cambianica. Due superfici di sovrascorrimento interessano l'intero territorio e hanno determinato una parziale sovrapposizione delle formazioni rocciose con movimento verso Sud del settore settentrionale. Il sovrascorrimento principale attraversa il versante meridionale del monte Bronzone, la valle delle Tombe tra Campolerone e Clogna e il versante meridionale del monte Soresano per poi addentrarsi nella valle di Parzanica; quello secondario, ubicato più a Sud, da La Rolla decorre verso NE attraversando le zone di Pressana, Trussano e l'area a valle di Squadre. In corrispondenza di queste due superfici di discontinuità gli strati rocciosi sono fortemente ripiegati, contorti e spezzati.

La sovrapposizione di queste unità strutturali è maggiormente accentuata verso Ovest, in corrispondenza del monte Bronzone; infatti in questa zona il contatto tra l'una e l'altra avviene tra il Calcere di Sedrina ed il Calcere di Domaro, con elisione del Calcere di Moltrasio e di gran parte della successione domeriana. A oriente, invece, si assiste alla sovrapposizione di rocce facenti parte della stessa formazione, quella del Calcere di Domaro.

La sinclinale di Tavernola, che lungo il lago presenta fianchi immergenti con inclinazione di 35-40 gradi, diviene inoltre molto più serrata a occidente, con strati addirittura verticalizzati (vedi sezioni X-X' e Y-Y').

Il settore più meridionale rispetto alla fascia di deformazione è interessato da fratture e faglie minori, di direzione analoga a quella delle strutture principali o ortogonali ad essa e che appaiono concentrate soprattutto nella zona compresa tra Campo Dosso, monte Pingiolo e la conoide del torrente Rino.



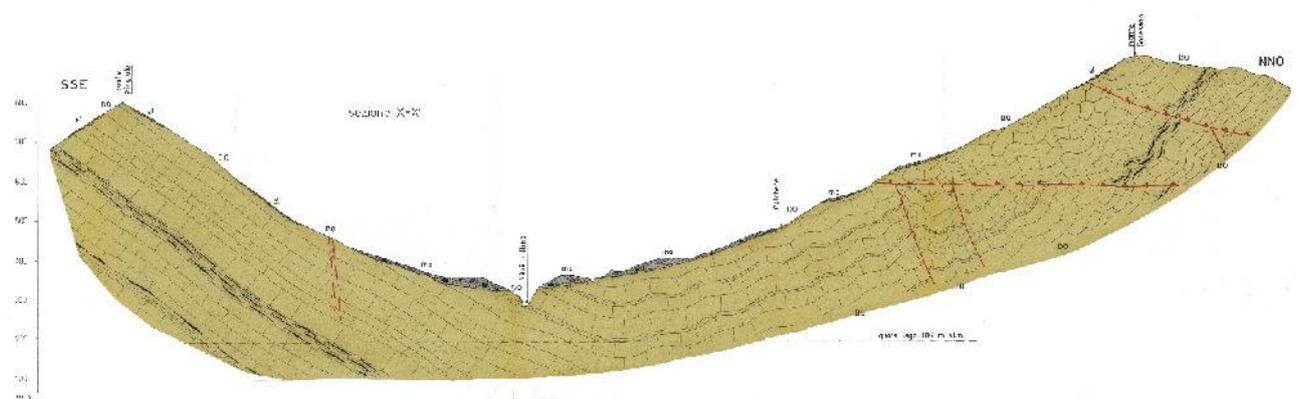
Le sezioni sono state realizzate anche per evidenziare i rapporti esistenti fra i vari depositi superficiali. Così nella sezione Y-Y' si nota il cordone morenico laterale che ha creato il piccolo bacino lacustre interglaciale di Mondara.

La sezione W-W' mette in evidenza il rapporto tra i detriti di falda e le coltri moreniche a monte di Predello ed inoltre mostra l'esistenza di un gradino morfologico roccioso tra la zona di Predello e quella a lago; la sezione Z-Z' permette di valutare invece lo spessore e la morfologia della conoide del torrente Rino.

Sulla sezione X-X' si nota come il profilo trasversale della valle di Tavernola sia legato prevalentemente alle superfici di strato e come i depositi morenici abbiano una distribuzione simmetrica su entrambe i versanti; gli stessi sedimenti invece sono presenti in modo ben diverso sui due versanti della valle delle Pertiche, con accumuli maggiori su quello meridionale. Infine si nota l'elevata acclività del versante meridionale del Corno di Predore.



sinclinale di Tavernola Bergamasca con asse presso i lavori di allargamento della strada litoranea



sinclinale di Tavernola Bergamasca e sovrascorrimenti del monte Saresano



Nella tavola delle sezioni geologiche vengono presentate anche undici colonne stratigrafiche le cui ubicazioni sono riportate nella carta litologica ed in quella geologico tecnica (vedi tavola 5). Le stratigrafie S5, S6, S7 sono state ricavate da dati di sondaggi geognostici, le rimanenti da osservazione diretta di fronti di sbancamento in cantieri edili o da scarpate naturali.

La **stratigrafia S1** relativa ad uno scavo in località Calchere è sviluppata interamente nei depositi morenici. Al di sotto di un orizzonte pedogenizzato con abbondante frazione sabbioso limosa, di circa 50 cm di spessore, si rinvengono dapprima un orizzonte metrico di sedimenti sciolti con ciottoli prevalentemente carbonatici in matrice sabbiosa, poi gli stessi materiali cementati da aragonite per uno spessore superiore a 4,5 m.

La **stratigrafia S2** in località S.Rocco riguarda uno scavo edile ed è caratterizzata da depositi morenici sciolti con ciottoli e blocchi poligenici in matrice sabbioso limosa di colore bruno; nella porzione inferiore si nota una colorazione grigia dovuta alla presenza di lenti di argilla.

La **stratigrafia S3** è stata ricavata da uno sbancamento realizzato lungo via Palazzo a Cambianica; essa mette in evidenza i rapporti tra i depositi superficiali di origine glaciale, sciolti e cementati, con una esigua coltre eluviale ed il substrato roccioso costituito da calcari marnosi con rare liste di selce.

La **stratigrafia S4** è stata ricavata da una parete naturale lungo via Rino; in questo caso al di sotto di un orizzonte pedogenizzato sono presenti banchi metrici (1,5 - 2,5 m) di depositi ghiaiosi e ciottolosi cementati, con alternanze di analoghi depositi sciolti. L'inclinazione dei banchi verso il lago lascia presupporre l'appartenenza di questi sedimenti ad una antica conoide.

La **stratigrafia S5** è ricavata dai dati di perforazione del pozzo di via Roma; l'esiguità di tali informazioni ha permesso di ricostruire questo spaccato con una certa approssimazione. I dati certi sono la profondità a cui è stato incontrato il substrato roccioso, pari a 70 m, la natura calcareo marnosa di quest'ultimo e la presenza di alternanze di ciottoli, sabbie e limi sabbiosi nella porzione superiore.

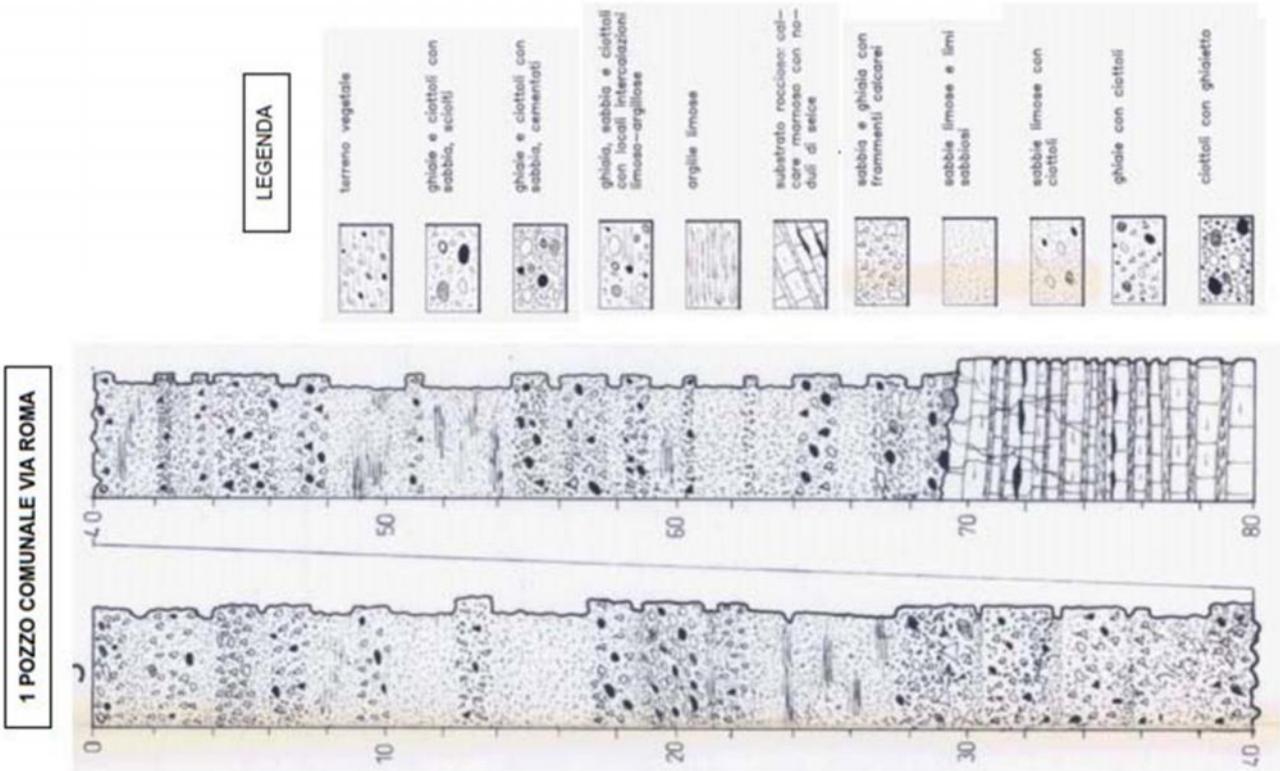
Le **stratigrafie S6 ed S7** sono relative a sondaggi geognostici e prove geotecniche eseguiti in seguito all'avvallamento dell'agosto 1993 nella zona antistante villa Fenaroli; nonostante la vicinanza delle perforazioni l'una dall'altra (circa 20 m) esse mostrano un'estrema variabilità nei depositi di conoide con prevalenza delle frazioni limoso-sabbiose.

La **stratigrafia S8**, ricavata da uno spaccato naturale nella zona di Bianica, evidenzia una situazione analoga a quella di via Roma con alternanze di depositi conglomeratici cementati e materiali sciolti.

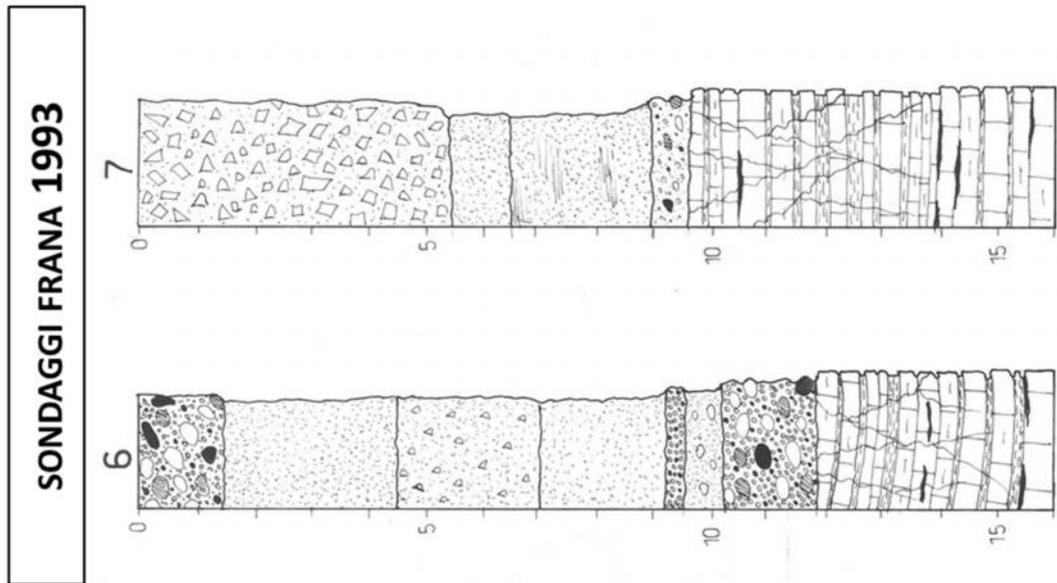
La **stratigrafia S9** è stata effettuata in corrispondenza del pianoro di origine glaciale di Mondara. Al di sotto di depositi morenici conglomeratici in matrice limoso argillosa, con una sottile coltre eluviale, si trovano argille varvate con alternanza di lamine millimetriche grigie e brune.

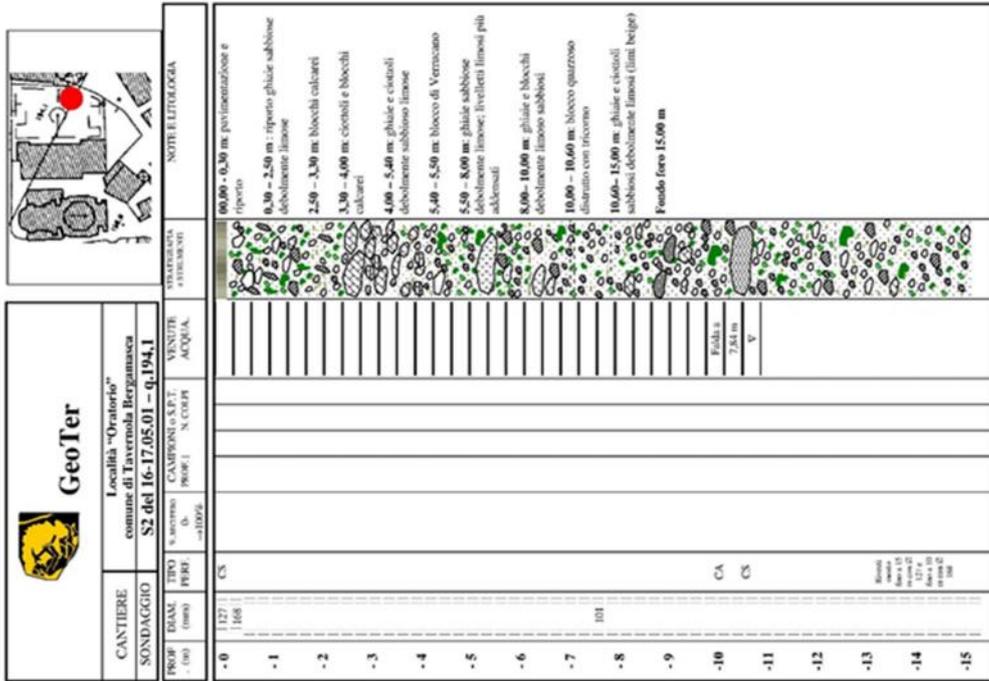
La **stratigrafia S10** è riferita ad uno sbancamento realizzato in vicinanza di via Clerano; al di sopra del substrato roccioso, rinvenuto a quota strada, si osservano limitate porzioni di materiale morenico con adagiati sopra materiali di riporto.

La **stratigrafia S11**, ricavata da una sezione naturale in corrispondenza della profonda incisione a Sud de "il Dosso", nelle vicinanze di Gallinarga, mostra invece una situazione analoga a quella di Bianica e di via Rino, con banchi di maggior spessore e inclinazione suborizzontale; notevole è lo spessore dei sedimenti, che supera i 24 metri.



STRATIGRAFIE
sondaggi pozzo via Roma e frana 1993





SONDAGGI ORATORIO



CS: carotaggio continuo a secco, CA: carotaggio continuo con acqua



3.3. CARTA GEOMORFOLOGICA E DEI PROCESSI GEOMORFICI IN ATTO (tavola n.3a, 3b, 3c, 3d)

Questa carta pone in evidenza i processi fisici e fisico-chimici che hanno agito e che tuttora agiscono sul territorio e che sono responsabili della sua attuale morfologia e della sua dinamica. La morfologia del territorio di Tavernola Bergamasca è il risultato della combinazione di diversi fattori geologici (litologia, tettonica), di fattori climatici (precipitazioni, temperatura, umidità, ecc.), di agenti esogeni del modellamento (forza di gravità, acque libere e incanalate, ghiaccio) e, talora in modo rilevante, dell'azione antropica.

Nella carta geomorfologica sono stati distinti, mediante campiture e simboli, gli elementi che compongono il paesaggio fisico e i processi geomorfici in atto, quiescenti o potenziali, raggruppati in base alla loro tipologia generativa:

- **aree urbanizzate**: con questo termine sono state indicate quelle zone soggette a movimenti di terra, sbancamenti, riporti, discariche, livellamenti, impermeabilizzazioni, edificazione e comunque azioni umane di significativa entità, a causa delle quali si è avuta una evidente modificazione della morfologia originaria; esse comprendono prevalentemente i centri abitati, con impermeabilizzazioni dovute all'edificazione, alla rete viaria, a piazzali o cortili. Come nella carta litostrutturale anche in questo caso è stata utilizzata una retinatura a righe per poter riconoscere anche la campitura riguardante l'agente modellatore del territorio prima dell'insediamento dell'uomo.

- **aree a prevalente morfologia strutturale (ST)**: si tratta di versanti prevalentemente rocciosi con pendenze da elevate a modeste. La morfologia è controllata dalle caratteristiche litologiche della roccia (competenza, erodibilità) e dal suo assetto strutturale (spaziatura e giacitura della stratificazione, stato di fratturazione). In questo contesto agiscono con maggiore evidenza i cicli di gelo e disgelo, la forza disgregante delle radici, la forza di gravità: azioni che si manifestano con stacchi di blocchi dagli orli di scarpate rocciose, ma anche fenomeni gravitativi che interessano le coltri eluviali, come piccoli smottamenti ed effetti dell'antropizzazione quali le terrazzette da pascolo.

Di non secondaria importanza in queste situazioni è il contributo dell'azione erosiva delle acque superficiali e della loro infiltrazione, che in alcuni casi genera tipiche dissoluzioni carsiche in rocce carbonatiche o con stratificazione suborizzontale. Quella a morfologia strutturale è sicuramente la tipologia più rappresentativa del bacino studiato e costituisce sia i versanti esposti verso il lago d'Iseo, sia quelli dei vari rilievi che contornano la valle del torrente Rino e quella delle Pertiche.

- **aree a prevalente morfologia gravitativa (GR)**: si tratta di versanti detritici con prevalenti terreni sciolti ed in minor misura cementati. In questa categoria sono compresi sia i detriti di versante, sia quella parte dei depositi morenici coinvolti, successivamente alla loro deposizione glaciale, in rimaneggiamenti e trasporti ad opera della forza di gravità. I versanti detritici sciolti sono in genere stabili su pendii con bassa inclinazione (minori di 30 gradi), mentre man mano aumentano la pendenza e il contenuto argilloso o limoso del deposito si manifestano decorticamenti superficiali, piccole erosioni, smottamenti e più evidenti si fanno i segni dei ruscellamenti.

Questa zonizzazione comprende soprattutto quelle aree ubicate lungo le scarpate incise nel tempo dai vari torrenti all'interno delle coltri moreniche, come lungo la valle delle Tombe, la val Negrignana e la valle del torrente Rino. Di minor estensione sono le fasce di detriti di falda; esse si osservano nella



zona di Squadre, a monte di Predello, lungo gli impluvi e la sponda lacustre a Sud del Corno di Predore e nell'incisione della valle delle Acque Vive, a NE del monte Bronzone. I versanti detritici sono in parte stati modificati dall'intervento antropico, con la costruzione di strade, piccoli insediamenti abitativi, terrazzamenti agricoli.

- **aree a prevalente morfologia glaciale (GL)**: si tratta in genere di aree a debole pendenza o pianeggianti costituite da terreni granulari sciolti e/o cementati di origine morenica; essi derivano la loro forma dagli apparati glaciali quaternari che hanno esplicato la loro azione sia attraverso l'esarazione dei rilievi (circhi, rocce montonate, profili vallivi arcuati...), sia con sedimentazione (morene, depositi lacustri interglaciali).

Queste aree normalmente sono stabili e risultano oggi almeno parzialmente modificate dall'antropizzazione mediante terrazzamenti agricoli; gli unici fenomeni di dissesto di un certo rilievo ai quali possono essere soggette sono rappresentati da erosioni lineari o diffuse, come si osserva sul versante settentrionale del monte Pingiolo a seguito di intense precipitazioni.

L'impronta della morfologia glaciale si riconosce lungo tutta la valle di Tavernola, delineata da pianori debolmente digradanti verso il lago a quote differenti tali da costituire una specie di gigantesca gradinata. I pianori più caratteristici sono quelli di Seradello, Vago, Marse, Parmerano, Seradina, Camerina, Vasso, Pressana, Negrignana, Mondara, Campo Dosso e Pizzone sul versante destro orografico della valle di Tavernola e Paullo, Prenide, Troal, Clogna, Trussano e Copiana sul versante sinistro. Anche l'area della valle delle Pertiche, di Predello, di via Moia e del Dosso è caratterizzata da analoga morfologia.

- **aree a prevalente morfologia delle acque superficiali (AS)**: si tratta di forme molto localizzate e prevalentemente impostate su roccia, dovute all'azione erosiva e di trasporto delle acque incanalate. Queste aree sono circoscritte ai torrenti, ai ruscelli e agli impluvi di secondo ordine; e ad esse possono essere associati fenomeni erosivi delle sponde con formazione di ripide scarpate di erosione e locali fenomeni di smottamento.

Il trasporto solido di alcuni torrenti in caso di portate di piena può divenire significativo e determinare l'ostruzione di alvei, esondazioni e interruzioni e danneggiamenti a sedi stradali, soprattutto nelle zone più esposte a lago. Queste aree, presenti su entrambi i versanti delle valli delle Tombe e del Rino, sono più sviluppate sul versante orografico sinistro nell'ultimo tratto del solco vallivo principale. Altre zone caratterizzate da analoghe morfologie sono la valle delle Pertiche ed i versanti esposti a lago, sia a Nord del centro abitato di Tavernola, sia a Sud del Corno di Predore; queste ultime località presentano fra l'altro impluvi caratterizzati da pendenze assai elevate.

- **aree di pertinenza fluviale (FL)**: in questa categoria si rappresentano gli alvei torrentizi caratterizzati a tratti da erosione accentuata (gole, forre) ed a tratti da sedimentazione e/o sovralluvionamento.

In questi ambiti è prevalente comunque l'azione erosiva, come dimostra la ampia diffusione di scarpate ed alvei incassati, soprattutto lungo il torrente Rino e nella parte inferiore della valle delle Tombe; forme meno frequenti sono date da piccole cascate e da marmitte.



In tutti gli impluvi compresi in questa zonazione (torrente Rino, valle delle Tombe, valle Negrignana, valle Mondara) è stata osservata una soglia in corrispondenza della quota 450 m s.l.m. circa, con formazione di cascatelle di 3-7 m di altezza precedute da un tratto d'alveo subpianeggiante. Questa particolare morfologia è probabilmente associata ad un antico improvviso abbassamento del livello del lago: questa è almeno l'ipotesi accreditata in letteratura dagli studi precedenti. Lo zero idrometrico del Sebino sarebbe stato circa 15 m più elevato dell'attuale.

Al profondo incassamento di queste aree vallive corrisponde in genere una esigua possibilità di esondazione; solo dove è intervenuta in modo non corretto o carente l'opera dell'uomo si possono verificare fenomeni con effetti anche pesantemente distruttivi, come nella zona della Madonna di Cortinica, in quella di Foppe e allo sbocco del torrente Rino sulla sua conoide.

- **aree di conoide (CO)**: si tratta di aree convesse dolcemente pendenti che si aprono a ventaglio allo sbocco dei torrenti principali nel bacino lacustre; esse sono originate dal trasporto solido delle correnti torrentizie e da queste stesse sono modellate; sono caratterizzate da depositi sciolti, dalla estrema variabilità degli alvei e della granulometria dei sedimenti che le costituiscono e da variazioni talvolta considerevoli della linea piezometrica. Esse rappresentano zone fortemente instabili, sedi di possibili sovralluvionamenti e cedimenti dovuti a eccessivi sovraccarichi. In particolare nel caso di Tavernola le conoidi sono state e possono essere ancora soggette a fenomeni franosi, avvallamenti, di notevole entità come è accaduto nel 1904 e nel 1993 per la conoide del torrente Rino. Ciò nonostante, per le blande pendenze del terreno e la presenza di acqua come forza motrice, sono state storicamente e sono tuttora le aree più interessate dalla urbanizzazione. Analoghe situazioni si descrivono per la conoide di Gallinarga, per la zona della Moia e a Sud del Corno di Predore.

Nel territorio studiato si osservano anche conoidi antiche ormai inattive: la presenza di questi apparati è testimoniata allo sbocco a lago delle valli principali da banconi conglomeratici più o meno cementati, alternati anche a materiali sabbiosi, la cui inclinazione media è di circa 15-20 gradi verso il lago. Nell'area di Tavernola queste aree sono limitate alla zona di Bianica e di via S.Rocco, ai lati dell'attuale torrente Rino, dal quale sono state profondamente incise. La forma di questo antica conoide è delimitata dalle due modeste incisioni a lato della valle principale: quella di Foppa a Sud e quella di Valzella a Nord. A causa dell'assenza di circolazioni idriche e della granulometria più grossolana i terreni di questa morfologia più antica presentano migliori condizioni di stabilità. Lo smantellamento di questo apparato, sul quale si è innestata la conoide attuale riteniamo si possa ancora riferire a quel repentino abbassamento del livello idrometrico del lago di cui si è detto in precedenza.

- **aree a morfologia litoranea (LI)**: sono le fasce al margine dello specchio d'acqua lacustre, caratterizzate da sedimenti sciolti più o meno grossolani, adagiati su versanti generalmente acclivi. Queste aree, modellate soprattutto dall'azione delle correnti lacustri e del moto ondoso, sono rappresentate fisicamente da una banchina sublitorale di qualche metro di larghezza (max 15 m) e con bassa pendenza; essa si raccorda con il fondale roccioso mediante una scarpata fortemente acclive. Anche in questo caso, come per le aree di conoide, i processi geomorfici più significativi sono di tipo gravitativo e possono manifestarsi con smottamenti della scarpata sommersa ed avvallamenti di sponda. Queste aree comprendono sia il litorale in comune di Tavernola Bergamasca sia quello sul territorio di Predore.



Morfologia strutturale con stratificazione a reggipoggio e inclinazione verso Nord (Gallinatga e Moia)



Morfologia glaciale con terrazzamenti antropici e piccoli smottamenti sulle scarpate (Copiana)



Morfologia di conoide e litoranea con evidenti avvallamenti lungo la banchina sublitorale al margine del conoide di Negrignana



Morfologia gravitativa con scarpate da cui si distaccano blocchi e detriti di falda colonizzata da vegetazione a monte di Predello



SIMBOLI GEOMORFOLOGICI

- **principali linee di crinale**: con questo simbolo sono indicate le zone di crinale, che coincidono in pratica con gli spartiacque superficiali, ovvero corrispondono alle linee di delimitazione dei bacini idrografici.

- **gradino di struttura litologica**: questa simbologia è stata utilizzata per mettere in risalto aree dove alternanze di banchi calcarei e calcareo-marnosi a differente erodibilità, con giacitura a reggipoggio, danno luogo ad una serie di gradini o addirittura a veri e propri solchi paralleli alle curve di livello; questa struttura è diffusa lungo il versante sudorientale del monte Bronzone e nella zona di Corna di Vago.

- **orlo di scarpata morfologica**, terrazzo glaciale: con questo simbolo si sono evidenziati i bruschi cambiamenti di pendenza dei versanti rocciosi, dove più efficace sono l'azione della forza di gravità e l'erosione delle acque incanalate e diffuse, favorite da preesistenti piani di fratturazione della masse rocciose. Questi orli sono in continuo arretramento e da essi si originano spesso distacchi di blocchi.

La medesima simbologia è stata utilizzata per delimitare gli orli di terrazzo glaciale; anche in questo caso si tratta di cigli in continua evoluzione, con arretramenti dovuti a fenomeni franosi.

- **orlo di erosione attivo in terreni**: è un fronte lungo il quale il terreno si trova in un accentuato stato di instabilità e tende periodicamente a franare. Queste situazioni possono essere connesse a diversi agenti, che agiscono da soli o in concomitanza tra loro: forza di gravità (in rosso), acque superficiali (in verde), azione antropica (in giallo). Si collegano ad essi fenomeni di instabilità generalmente limitati, in corrispondenza di intagli stradali o di modesti ruscamenti; solo alle forme associate all'azione delle acque incanalate, con intere scarpate in erosione, si può collegare livello di attenzione superiore.

- **decorticamento superficiale**: si tratta di interruzioni della continuità del suolo dovute a sradicamenti di alberi, piccoli scavi, scivolamenti del terreno. Queste forme sono particolarmente sviluppate laddove l'esigua coltre eluviale è adagiata su strati rocciosi a franapoggio con inclinazione analoga a quella del pendio e superiore a 30 gradi; così si nota sul versante settentrionale del monte Pingiolo e nella conca della valle delle Pertiche; in queste zone questi fenomeni di instabilità sono collegati ad intense precipitazioni con conseguenti deflussi superficiali disorganizzati.

- **smottamento**: con questo simbolo sono stati indicati fenomeni gravitativi che avvengono nei terreni, generalmente imbevuti d'acqua, e che sono caratterizzati da una traslazione improvvisa e rapida. In questo ambito permangono di regola elementi di instabilità che richiedono attenzione. Si tratta in genere di fenomeni limitati in estensione e connessi alle scarpate fluviotorrentizie o agli orli di terrazzo; la loro abbondanza invece indica la generale instabilità dei versanti detritici, in particolare lungo la valle Negrignana, sull'orlo del terrazzo glaciale di Mondara, alla confluenza di quest'ultima valle con la valle del Rino e lungo i tratti terminali della valle del Rino e di quella delle Pertiche.

In ogni caso il verificarsi di questi fenomeni è quasi sempre collegato a episodi di piena dei vari torrenti o a emergenze idriche; solo sul versante destro orografico della valle del Rino, tra il villaggio Bone e via Rino, gli smottamenti sono associati all'inclinazione del substrato roccioso.



- **scavernamenti**: questa simbologia è stata utilizzata per indicare la presenza di caverne all'interno delle coltri moreniche cementate. Esse si sono formate per l'asportazione di livelli o tasche di sedimenti fini meno coerenti presenti all'interno degli stessi banconi conglomeratici. Queste forme sono state osservate nella zona di Madonna di Cortinica e nell'area limitrofa a S.Rocco.

- **avvallamento lacuale** (avvallamento spondale): si tratta di cedimenti, talora di rilevante estensione, che coinvolgono le aree litorali o di conoide lungo la fascia costiera del Sebino. Tra le cause che favoriscono questi fenomeni geomorfici vi sono la presenza di livelli e lenti limoso sabbiose all'interno dei sedimenti di che si appoggiano alla scarpata lacustre in condizioni non drenate, l'apporto in certi periodi di rilevanti quantità di acqua dalle zone a monte, l'eccessivo sovraccarico dovuto all'edificazione e le oscillazioni del livello del lago, specialmente quelle rapide ed accentuate.

Avvallamenti sono diffusi lungo la sponda tra Tavernola Bergamasca e Gallinarga ed hanno interessato fino ad oggi sia la sede della strada statale, sia un certo numero di edifici che si affacciano a lago, sia la struttura portuale del centro storico. L'episodio più consistente di cui si ha memoria è quello della frana del 1904, la cui nicchia di frana ha raggiunto una ampiezza di oltre cento metri ed una freccia di trentacinque metri, coinvolgendo numerosi edifici e causando un morto. Non meno importanza è stato l'avvallamento dell'agosto del 1993 che ha interrotto la strada statale per un tratto di circa 30 m e distrutto in parte villa Fenaroli.

Segnalazioni di altri minori avvallamenti avvenuti nell'arco degli ultimi cinquant'anni ci sono state fornite dagli stessi abitanti di Tavernola; anche di questi fenomeni sono tuttora visibili almeno in parte gli effetti.



Avvallamento di Tavernola nell'agosto 1993



Tavernola prima e dopo l'avvallamento spondale del 3-4 marzo 1906





- **orlo di erosione attivo in roccia**: sono fronti lungo i quali le rocce si trovano in accentuate condizioni di instabilità, manifestate da stacchi di blocchi e, più raramente, da frane in roccia. Come per gli analoghi orli instabili nelle terre, queste forme possono essere connesse a diversi agenti: forza di gravità (rosso), acque superficiali incanalate (verde) e attività antropiche (giallo).

Le aree maggiormente interessate da questi fenomeni sono quelle dei versanti esposti verso il lago e la valle delle Acque Vive. In particolare, mentre nella zona mineraria possono prevalere orli creatisi a seguito della coltivazione della marna da cemento, a monte di Predello e sul versante meridionale ed orientale del Corno di Predore gli orli in erosione sono legati all'azione della forza di gravità, con evidenti fasce di detriti al piede delle scarpate. Quest'ultima zona è quella che presenta i maggiori problemi dal punto di vista statico, con il potenziale stacco di blocchi di dimensioni plurimetriche che si dirigono sulla strada statale o direttamente nel lago.

- **scivolamento di strati rocciosi superficiali**: con questo simbolo sono indicate zone ove porzioni limitate di roccia stratificata e fratturata, con inclinazione uguale o di poco inferiore a quella del pendio, scivolano lungo un giunto di strato. Queste forme di instabilità interessano il versante nordorientale di Punta Alta e soprattutto quello settentrionale del monte Pingiolo; anche in questo caso è stata osservata una concomitanza tra questi processi geomorfici e le precipitazioni atmosferiche. Lo scivolamento di strati può verificarsi anche sulla sponda destra del torrente Rino, nella zona a Nord di Bianica e nella zona sopra Calchere.

- **nicchia di stacco in roccia**: si tratta dell'area da cui ha inizio il franamento di una massa rocciosa fratturata; si tratta in genere di un'area limitrofa a un corso d'acqua e connessa con eventi di piena; è il caso della frana nelle vicinanze del villaggio Bone.

In altre occasioni questo tipo di frane è stato innescato dall'attività estrattiva, che ha determinato lo scivolamento di volumi rocciosi nell'area della miniera, con slabbrature sul versante rivolto verso il lago, come nel caso della frana di Scapioni.

- **“creep”**: questo fenomeno interessa masse di rocce molto pervasivamente e minutamente fratturate, quali ad esempio si hanno in concomitanza con orizzonti di sovrascorrimento. Queste, per uno spessore compreso tra 10 e 30 m, scivolano lentamente verso valle in una specie di colamento.

La zona di Tavernola interessata da questo fenomeno è compresa entro il perimetro della miniera CementirSacci, al di sotto della strada provinciale per Parzanica; essa è connessa ad una zona di elevata deformazione delle unità rocciose, nella quale una superficie di sovrascorrimento si interseca con alcune faglie. Il fenomeno ha interessato anche la strada di collegamento tra Vigolo e Parzanica e l'abitato di Squadre.

Una parziale stabilizzazione di questo dissesto è stata ottenuta diminuendo il sovraccarico del corpo franoso e realizzando drenaggi al limite della zona di stacco. Il monitoraggio continuo dell'area di bonifica permette oggi di notare come il movimento si sia arrestato quasi completamente.

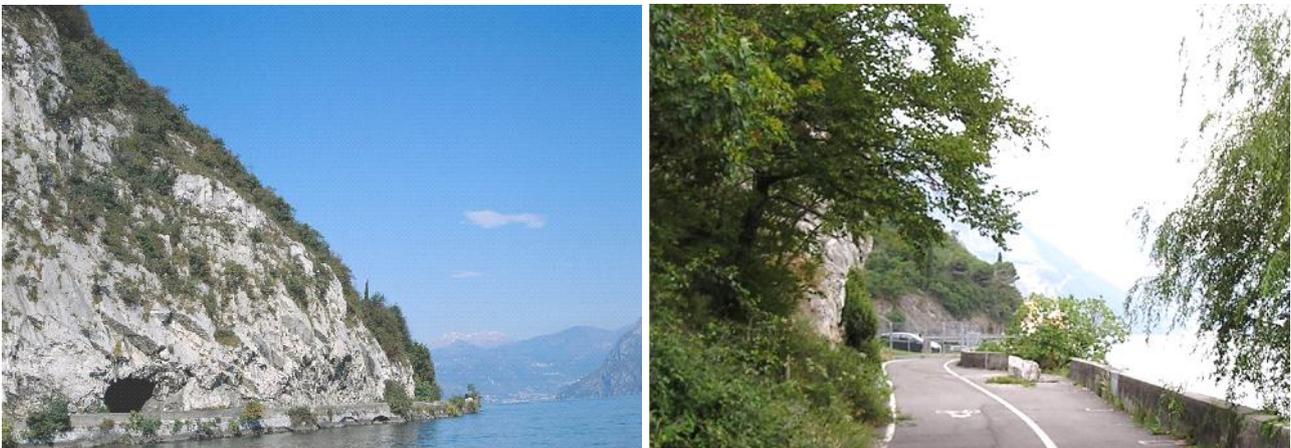
- **stacco di blocchi**: con questo simbolo sono indicati i punti ove sono stati osservati o sono possibili stacchi di singole frazioni da pareti rocciose o di trovanti e grossi ciottoli dalle coltri moreniche; i fenomeni sono favoriti dalla accentuata fessurazione della masse rocciose, dall'azione meccanica delle piante e dalla elevata pendenza del terreno sottostante.



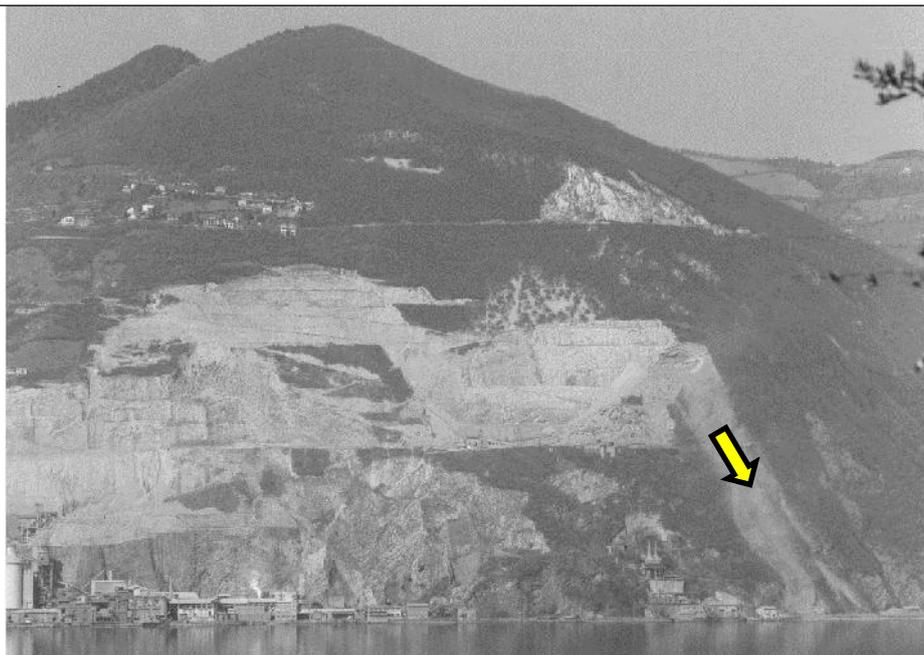
Anche l'azione dell'uomo porta sovente un contributo negativo in queste situazioni: così dicasi per l'eccessivo disboscamento, la mancata manutenzione dei boschi e delle strutture forestali collegate o l'esercizio dell'attività estrattiva. Le zone ove si manifesta più diffusamente questo processo geomorfico sono il versante meridionale ed orientale del Corno di Predore, le scarpate rocciose a monte di Predello e la zona in cui il torrente Rino è profondamente incassato.

- ***direzione di movimento del corpo di frana***: con questa simbologia viene indicata l'orientazione ed il verso del movimento dei principali fenomeni gravitativi corrispondenti alla frana Scapioni ed al movimento di Squadre.

- ***accatastamento di blocchi***: si tratta di aree in cui si rinvencono blocchi di roccia accatastati caoticamente. Queste forme derivano dallo stacco di blocchi dalle scarpate rocciose soprastanti; sono limitate alle aree a prevalente morfologia gravitativa.



Corno di Predore: fronte roccioso soggetto a stacco di blocchi e masso caduto sul tratto di strada litoranea ora dismessa



La frana del 1986 nel cantiere "Scapioni" della miniera cementifera



- **cordoni morenici**: sono delle strutture allungate parallelamente all'asse vallivo. Esse rappresentano le morene laterali ai ghiacciai quaternari; talvolta hanno provocato lo sbarramento di piccole valli laterali con la formazione di piccoli bacini lacustri interglaciali, come nel caso di Mondara. Cordoni morenici più sviluppati sono ubicati nella zona di Vasso, a Camerina, a Seradello e a monte di Vigolo.

- **grotta**: si tratta di cavità sotterranee presenti nelle rocce calcaree a causa dello svilupparsi di fenomeni carsici. Queste forme interessano unicamente la formazione del Calcarea di Domaro e sono rappresentate prevalentemente da pozzi verticali, impostatisi lungo fratture. Le grotte conosciute sono ubicate ad Est di Colle Martinazzo in un'area caratterizzata, fra l'altro, anche dalla presenza di doline.

- **doline**: con questo termine vengono indicate depressioni superficiali a contorno subcircolare e forma conica, corrispondenti agli inghiottitoi carsici; esse sono generate dalla dissoluzione di rocce carbonatiche ad opera di acque meteoriche, ricche in CO₂, che si infiltrano nel sottosuolo, originando circuiti sotterranei. Le doline, talvolta allungate e coalescenti, possono presentarsi allineate lungo sistemi di fratture; sono diffuse in corrispondenza di aree a stratificazione suborizzontale. Poiché queste condizioni hanno favorito in origine l'instaurarsi della fenomenologia carsica. Nel territorio indagato le doline sono limitate all'area compresa tra Vago, Paullo, Orzone e Colle Martinazzo in valle delle Tombe.

- **carsismo superficiale**: il termine è stato utilizzato per indicare quelle aree dove le forme superficiali di dissoluzione carsica sono diffuse, ma non si manifesta la tipica formazione di doline. Questo fenomeno è associato a una topografia caratteristica data da alternanze di dossi, avvallamenti e solcature, in assenza di un apparato idrografico ben delineato (monte Bronzone, Bosco di Vago).

- **inghiottitoio**: si tratta di zone lungo le aste torrentizie ove le acque scompaiono in sottosuolo lungo fratture, lasciando normalmente asciutto il tratto a valle. Nell'area di Tavernola Bergamasca questo fenomeno è stato osservato in valle delle Pertiche ed in valle Mondara.

- **sorgente**: si tratta delle emergenze delle acque sotterranee; nel territorio di Tavernola esse sono collegate con diverse tipologie di acquiferi e vengono descritte in modo più dettagliato nel paragrafo dedicato alla idrogeologia.

- **ristagno d'acqua**: si tratta di zone in cui i terreni sono intrisi d'acqua per effetto della presenza di emergenze diffuse e/o per la bassa permeabilità del terreno. Al fenomeno in genere consegue uno scadimento delle qualità geotecniche dei terreni e del loro grado di stabilità. Ristagni d'acqua sono stati osservati nella zona del cimitero di Tavernola, in località Moia e in vicinanza della confluenza tra la val Negrignana e la valle principale.

- **ruscellamento**: con questo termine vengono indicate solcature di piccola profondità dovute allo scorrimento disordinato delle acque superficiali non incanalate. Sono fenomeni diffusi in tutti i tipi di terreno, ma si accentuano là dove varie cause hanno determinato il venir meno di vaste porzioni di copertura vegetale. Questi processi sono presenti lungo tutte le scarpate al bordo dei terrazzi morenici e sono particolarmente pronunciati sul versante settentrionale del monte Pingiolo, nella valle delle Pertiche e sul versante compreso tra Gallinarga e Punta del Corno.

- **erosione lineare accelerata**: è l'effetto dell'azione di acque incanalate in alvei ad elevata pendenza. In questi tratti l'alveo si approfondisce rapidamente con conseguente instabilità delle sponde, che tendono a franare, mentre a valle si accentua un trasporto solido che può generare sovralluvionamenti.



Questo fenomeno si presenta in tutti gli alvei del territorio indagato, sia nelle valli principali come quella di Negrignana, di Mondara, del torrente Rino o delle Pertiche, sia in quegli impluvi che interessano i versanti tra Tavernola e Portirone e tra Gallinarga e Predore.

- ***cascate***: si osservano in corrispondenza di repentini dislivelli dei corsi d'acqua, in particolare allo sbocco delle valli secondarie nella valle principale.

- ***marmitte***: sono cavità di forma arrotondata che si formano in determinate situazioni idrauliche entro gli alvei rocciosi a causa del trascinarsi di ciottoli sul fondo da parte della corrente (Ponte delle Tombe, Ponte di Lughel, Ponte del Diavolo, valle delle Pertiche, pozzo glaciale del Corno di Predore).

- ***forra***, alveo incassato: con questo termine sono stati distinti quei tratti dei torrenti caratterizzati da gole strette e profonde. Data la loro ridotta sezione, essi possono essere luogo di sbarramenti con occlusioni temporanee degli alvei (tratto torrente Rino tra Seradina e la foce, tratti finali degli alvei principali); inoltre lungo le scarpate si possono verificare stacchi di blocchi.

- ***scarpata di erosione fluviotorrentizia***: questa simbologia contraddistingue le sponde dei corsi d'acqua con scarpate inferiori a 5 m in roccia (simbolo con quadrati) o in terreno (simbolo con triangoli). Si tratta di zone moderatamente instabili ove si possono accentuare processi erosivi in concomitanza ad eventi di piena.

- ***depositi in alveo***, sovralluvionamenti: si tratta di accumuli anomali di alluvioni e detriti nel letto di fiumi o torrenti a causa di trasporto in massa; sono limitati ad alcune zone delle valli principali.

- ***occlusione di alveo***: si tratta di punti in cui si verificano restringimenti più o meno accentuati dell'alveo per cause naturali (frane) o antropiche (discariche e ponti). Significativi esempi sono rappresentati dall'attraversamento lungo la valle di Mondara a monte della Madonna di Cortinica e lungo via Bone, da quelli nelle vicinanze di Il Pizzone e in località Foppa nella zona a Sud ed Est di Bianica, da quelli lungo il Trozzo degli Scapoli e lungo il canale Roggino, da quello di Foppa e dai vari punti in cui la strada Tavernola-Vigolo attraversa gli impluvi del versante sudorientale del monte Soresano. Da notare infine quello di Caselle ove l'alveo risulta deviato da un grosso edificio residenziale.

- ***punto e direzione di possibile esondazione***: punto dove è possibile la fuoriuscita del corso d'acqua dal proprio alveo a causa di occlusioni o per la presenza di tratti di sponda bassi; la zona più colpita risulta essere quella compresa tra Bianica e il centro di Tavernola; non è stata segnalata in carta la fascia di esondazione lacustre, ma si tenga presente che il livello di massima piena storica raggiunto il 13 settembre 1888 è di 2,37 m al di sopra dello zero idrometrico di Sarnico.

- ***terrazzette da pascolo***: si tratta di forme di dissesto dovute al passaggio del bestiame al pascolo o, meglio, all'eccessivo carico di stazionamento. Il cotico erboso viene tagliato e suddiviso in una serie di gradini ai quali si accompagnano decorticamenti che possono degenerare facilmente in erosioni più o meno diffuse. Questi fenomeni sono stati osservati soprattutto nell'alta valle delle Tombe.

- ***terrazzamenti agricoli***: sono terrapieni, sostenuti o meno da muri a secco, costruiti dall'uomo a scopo agricolo (vigneti). Attualmente la maggior parte di essi è ancora in discreto stato di conservazione. Queste forme sono particolarmente frequenti in corrispondenza dei terreni morenici.



- **discarica**, terrapieno: sono indicati con apposita simbologia quei riporti antropici che, data l'esigua estensione, non possono essere rappresentati in carta con campiture.
- **orlo di erosione di origine antropica**: sono collegati ad intagli stradali o a fronti di scavo per la realizzazione di edifici che possiedono un limitato grado di instabilità.
- **ciglio di cava**: questa simbologia è stata utilizzata per indicare il ciglio dei fronti di escavazione sia attuali che dismessi presenti nella zona mineraria. A queste forme antropiche possono essere associati fenomeni gravitativi quali lo stacco di blocchi e in generale un mediocre grado di stabilità dell'area.
- **reti addossate**: si tratta di interventi di consolidamento su pareti rocciose e scarpate atti ad evitare la caduta di massi o detriti. I principali interventi nel territorio esaminato sono stati effettuati nell'area mineraria CementirSacci, nei pressi del centro di Tavernola, sulla strada statale tra villa Sina e Predello, tra Gallinarga e Pozzo Glaciale e al confine col territorio di Predore.
- **reti paramassi**, barriere elastoplastiche: riguardano interventi di difesa della strada statale ubicati prevalente al limite con il territorio comunale di Parzanica e al confine con quello di Predore.
- **incanalamenti**, tombinature, protezioni spondali, briglie e opere di bonifica idraulica: in genere vengono segnalate le opere di contenimento e regimazione dei corsi d'acqua. Esse, pur essendo oggi un elemento di sicurezza, rappresentano in molti casi una modifica ed una forzatura delle condizioni naturali e pertanto devono indurre attenzione e sono destinate ad un continuo presidio umano. In qualche caso già queste opere risultano insufficienti o funzionanti solo parzialmente. Nella zona studiata sono state realizzate soprattutto nella zona compresa tra Madonna di Cortinica e Tavernola Bergamasca.
- **aree franose bonificate**: questa campitura è stata utilizzata per segnalare quelle zone di frana ubicate all'interno dell'area mineraria che sono state oggetto di bonifica e pertanto risultano caratterizzate da un miglior grado di stabilità.
- **consolidamenti con micropali**: si tratta di opere specialistiche di sostegno per fabbricati e opere civili realizzate a seguito dell'avvallamento dell'agosto 1993 e che hanno interessato la porzione di terreno antistante villa Fenaroli; oltre a questi consolidamenti occorre segnalare quelli realizzati con pali per la costruzione della strada statale con una corsia a sbalzo e per i pontili.



A sinistra: copertura del Trozzo degli Scapoli presso San Pietro; a destra: valle delle Pertiche alla foce



3.4. CARTA IDROGEOLOGICA (tavola 4a, 4b, 4c, 4d)

Questa carta riassume le principali caratteristiche idrogeologiche del territorio di Tavernola Bergamasca e di Vigolo. Per quanto riguarda i caratteri climatologici si veda la parte al termine di questo capitolo. Nella carta idrogeologica viene data una valutazione di massima della permeabilità superficiale delle diverse unità litologiche, distinguendo i terreni, per i quali la permeabilità è di tipo primario, dalle rocce con permeabilità prevalentemente secondaria. Per permeabilità primaria si intende quella dovuta alla porosità presente tra granulo e granulo del sedimento, mentre la permeabilità secondaria è essenzialmente connessa alla presenza di discontinuità (fratture e/o giunti di stratificazione) nella masse rocciose. Sono stati distinti:

- **terreni con permeabilità da elevata a buona (VP):** $K > 10^{-2}$ cm/sec. Si tratta di detriti di falda sciolti privi di suolo o con vegetazione pioniera, presenti soprattutto sui versanti esposti verso lago e nella valle delle Acque Vive, di accumuli di frana, di alluvioni ghiaiose dei corsi d'acqua attuali e di depositi lacustri sabbioso-ghiaiosi.

Dato il loro esiguo spessore e la limitata estensione questi terreni non hanno significativa importanza idrogeologica, contribuiscono comunque a favorire l'infiltrazione delle acque nel substrato roccioso, sottraendole rapidamente al ruscellamento superficiale.

L'elevata permeabilità costituisce un fattore di vulnerabilità nei confronti di eventuali fonti di inquinamento del sottosuolo (ad esempio stazzo di bestiame), per cui la presenza di questi terreni va tenuta in considerazione specie nel caso di attenzione verso le risorse idriche sotterranee.

- **terreni e rocce con permeabilità da buona a media (P):** $10^{-2} \geq K > 10^{-4}$ cm/sec. Questa categoria comprende gli accumuli di tout-venant, le morene a componente sabbioso-ghiaiosa, anche cementate, i depositi di conoide sciolti e cementati, le rocce calcaree, calcareo-marnose, selcifere e dolomitiche con stratificazione subverticale e/o fratturazione pervasiva.

I terreni inclusi in questa classe sono sviluppati in tutta la valle di Tavernola ed anche nella valle delle Pertiche e sono sede di manifestazioni sorgentizie di contatto, generalmente di portata limitata. Le rocce comprese in questa classe sono significativamente presenti lungo il torrente Rino, nella zona del monte Soresano e nei dintorni del monte Bronzone, in corrispondenza della fascia di deformazione tettonica precedente descritta.

- **terreni e rocce con permeabilità a media a scarsa (S):** $10^{-4} \geq K > 10^{-6}$ cm/sec. Sono raggruppati in questa classe i riporti antropici terrosi, le coltri eluviali con abbondanti frammenti delle rocce originarie, le rocce calcaree, calcareo-marnose o dolomitiche da massicce a stratificate con fratturazione poco pervasiva e/o con giacitura sfavorevole all'infiltrazione.

I riporti antropici presentano caratteristiche variabili, non sempre controllabili, perciò i loro valori di permeabilità possono variare da un estremo all'altro; in ogni caso questi ammassi sono di estensione contenuta e hanno scarsa importanza pratica dal punto di vista idrogeologico. I terreni di questa classe sono presenti soprattutto in qualità di *eluvium* di rocce calcaree o selcifere, caratterizzati sovente da spessori ridotti; essi sono sviluppati soprattutto nella zona di Dosso Brugo e nella zona di Gombo.



Le rocce appartenenti a questa categoria sono presenti in modo diffuso in tutta l'area, mascherate nel caso di quelle calcareo marnose dalle coltri eluviali prevalentemente argilloso-limose; possono manifestare tutta la gamma di valori di permeabilità in relazione al loro grado di fratturazione e al tipo di giacitura della stratificazione.

- **terreni praticamente impermeabili (W)**: $K \leq 10^{-6}$ cm/sec. Di questa categoria fanno parte i terreni eluviali di natura argillosa, con spessori superiori a 50 cm, che ricoprono vaste aree lungo i vari edifici montuosi costituiti dal Calcere di Domaro, i depositi morenici prevalentemente argillosi, limitati a specifiche aree (Prenide, N di Vigolo, Mondara, Bosco Traverso e Vasso) e le aree impermeabilizzate dall'urbanizzazione.

-----000000000000-----

Nella carta idrogeologica sono stati evidenziati con appositi simboli i principali elementi che caratterizzano la circolazione delle acque superficiali e sotterranee, le zone di alimentazione e di recapito, le captazioni e le fasce di rispetto delle sorgenti. In particolare con il tratto più sottile sono rappresentate le faglie e le fratture che conferiscono una permeabilità secondaria agli ammassi rocciosi: esse costituiscono le linee preferenziali del flusso idrico sotterraneo, che viene indicato con le frecce nere. Con il tratto più grosso sono evidenziati quei lineamenti strutturali che si ritiene abbiano funzione di soglie impermeabili: sono i sovrascorrimenti, la faglia NNO-SSE a oriente del monte Bronzone che disloca i sovrascorrimenti e le faglie presenti nell'area mineraria. I sovrascorrimenti presentano alla base livelli caratterizzati da una forte argillificazione che funzionano come livelli impermeabili.

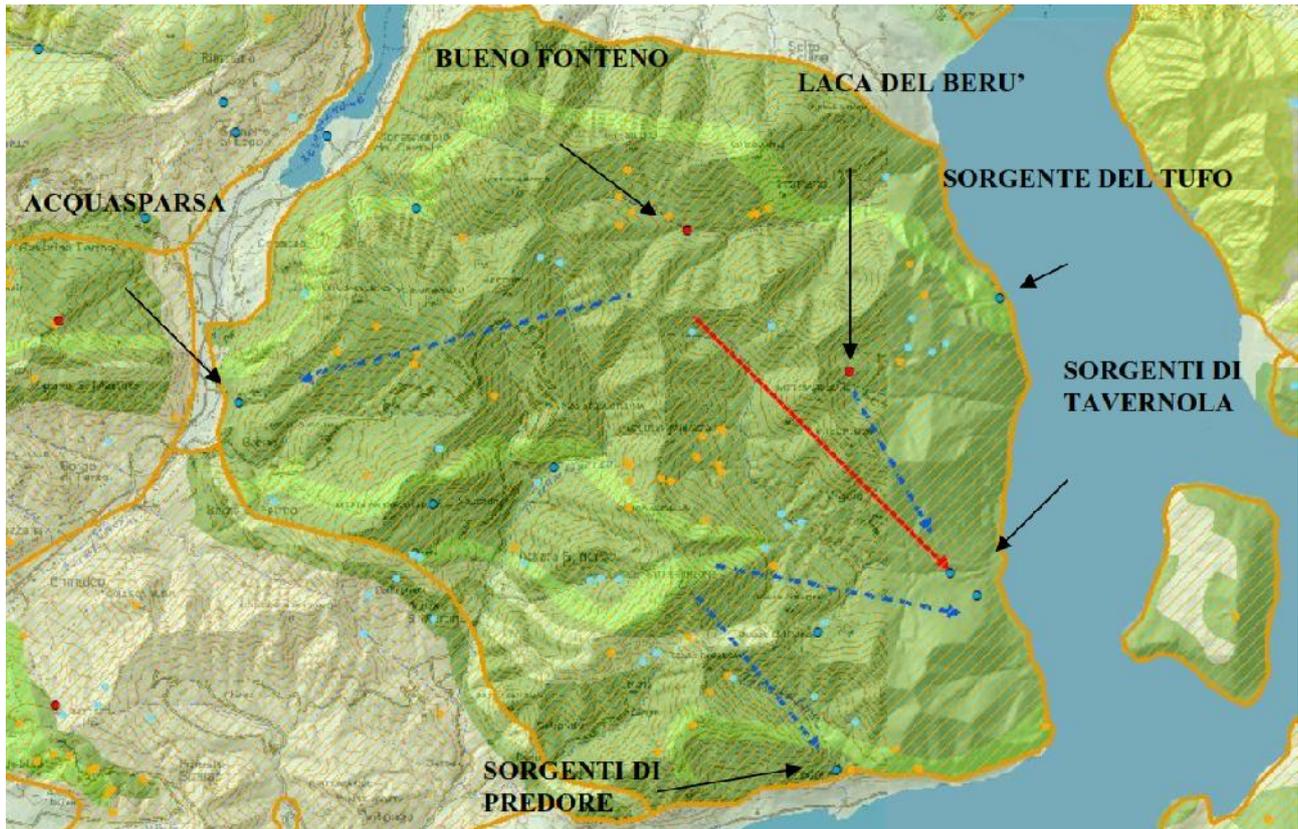
Gli assi di pieghe sinclinali e anticlinali sono stati qui evidenziati in quanto si tratta di strutture che possono contribuire al convogliamento delle acque sotterranee, analogamente ai sistemi di fratture. Un particolare ruolo idrogeologico è svolto dalla "sinclinale di Tavernola", che domina il settore centromeridionale dell'area rilevata. La piega, con asse diretto ENE-OSO ed inclinato verso ENE, coinvolge tutta la successione di rocce giurassiche, determinando a livello del Calcere di Domaro un potenziale acquifero sostenuto da alcune porzioni più marnose ed argillitiche presenti nella stessa unità litostratigrafica. Tale interpretazione è confermata dalla presenza di alcune sorgenti allineate lungo questa struttura in val Negrignana. Strutture analoghe di minor entità sono state osservate nell'area mineraria CementirSacci.

L'anticlinale ubicata tra il monte Bronzone e il monte Soresano, fagliata a causa del sovrascorrimento sul suo fianco meridionale, costituisce a nostro avviso un'altra struttura di particolare interesse idrogeologico. L'area di cerniera di tale piega in corrispondenza della valle delle Acque Vive è fagliata ed interessata da fratture distensive longitudinali; nel suo nucleo affiora la porzione inferiore del Calcere di Zu costituita da alternanze di marne e calcari marnosi dotati di scarsa permeabilità: questi agiscono come orizzonte impermeabile rispetto alle rocce fratturate soprastanti. Questo assetto permette l'emergenza di sorgenti, che vengono attualmente captate dal comune di Vigolo. Una struttura analoga è stata osservata nella zona di Vignane di alta valle delle Tombe dove lo stesso comune ha un'altra captazione.

Il settore meridionale dell'area rilevata, costituito dal fianco meridionale della "sinclinale di Tavernola" ha una immersione costante verso NNO o N interrotta solo localmente da alcune fratture.



Di particolare importanza idrogeologica è il settore compreso tra Campo Dosso, S. Rocco e Villa Sina ove sono ubicate le fonti di approvvigionamento idrico più importanti del comune di Tavernola Bergamasca: la sorgente Milesi con portate minime di 10 l/sec e la sorgente Roggino con portate attorno a 2-3 l/sec. Queste sorgenti sono legate a circolazioni sotterranee guidate dalla fratturazione ENE-OSO e NNO-SSE dell'ammasso roccioso; si ritiene dunque che la loro zona di alimentazione siano l'area del monte Pingiolo e quella che si estende verso il territorio di Vigolo e Fonteno. La stessa situazione, ma con un ruolo idrogeologico meno significativo, si ripete lungo la valle delle Pertiche.



*Schema delle circolazioni idriche sotterranee tra il lago d'Endine e il Basso Sebino
(da: "Il carsismo in Lombardia e nella Provincia di Bergamo" - TOGNINI P., 2014)*

I simboli di carsismo superficiale, di dolina e di inghiottitoio individuano nella carta idrogeologica zone di infiltrazione verticale delle acque; anche le grotte hanno qui analogo significato dal momento che sono costituite da cavità a prevalente sviluppo verticale.

Il simbolo di spartiacque superficiale delimita i vari bacini idrografici presenti nell'area indagata.

Con frecce viene indicata la direzione presunta dei flussi idrici sotterranei; sono stati distinti i flussi in roccia da quelli nelle coltri superficiali vista l'estensione e gli spessori in particolare dei depositi morenici. Questi ultimi depositi costituiscono un acquifero molto sviluppato, ma con emergenze idriche di contatto alquanto diffuse e di limitatissima portata; si può notare una serie di sorgenti di questo tipo soprattutto sul versante sinistro della valle di Tavernola al contatto fra queste coltri superficiali e il substrato roccioso.



I restanti simboli in tratto blu rappresentano le zone di ristagno d'acqua, le sorgenti distinte in libere, scomparse, captate ad uso privato, captate ad uso pubblico o con captazione abbandonata, i pozzi, i bacini di acqua potabile, le camerette di carico e le principali adduttrici di acquedotto.

Con la retinatura puntinata sono indicate le aree di salvaguardia delle sorgenti captate ad uso potabile ed immesse nell'acquedotto comunale di Tavernola Bergamasca. Per le "zone di rispetto" sono tracciati settori di cerchio di raggio minimo duecento metri come previsto dal D.P.R. 236/88. Lo stesso Decreto prevede prima ancora una "zona di tutela assoluta" avente un raggio di dieci metri intorno alla sorgente: tale zona non è stata rappresentata in carta per ovvi motivi di scala.

Le sorgenti ubicate nel territorio di Tavernola sono alimentate da acquiferi in fessura e/o da circuiti carsici; la loro emergenza è da collegarsi all'azione drenante e/o tamponante di faglie e/o fratture e di pieghe in concomitanza all'andamento dell'intersezione tra superficie topografica e falda in rete.

Dal punto di vista delle portate tutte le sorgenti si caratterizzano per una estrema variabilità legata all'andamento delle precipitazioni piovose, indicando con ciò una circolazione sotterranea rapida, spesso di tipo carsico o limitata alle coltri superficiali.

Il comune di Tavernola oltre alle sorgenti utilizza a scopo idropotabile anche due pozzi, l'uno sito in via Roma, nel centro storico, l'altro nella zona di Caselle. Il primo attraversa depositi di conoide sabbiosi a pochissima distanza dal lago: è quindi presumibile che la zona di alimentazione sia rappresentata soprattutto dall'invaso sebino ed in misura minore dalla conoide stessa. Le portate emunte possono essere molto elevate, ma a causa della vicinanza al centro abitato e al lago, queste acque hanno qualche problema di potabilità e vengono rese fruibili solo attraverso trattamento.

Il pozzo in località Casella sembra avere un contributo minore o addirittura nullo delle acque del lago; la sua zona di alimentazione e dunque la fascia di protezione vengono individuate a monte, verso SO, senza interessare lo specchio lacustre; le portate in questo caso sono decisamente inferiori e valutabili in 1-2 l/sec. Anche per questo pozzo il Comune ricorre ad un trattamento di potabilizzazione delle acque.



A sinistra: il pozzo di Casella; a destra: la sorgente "Roggino" (o "Rosino")



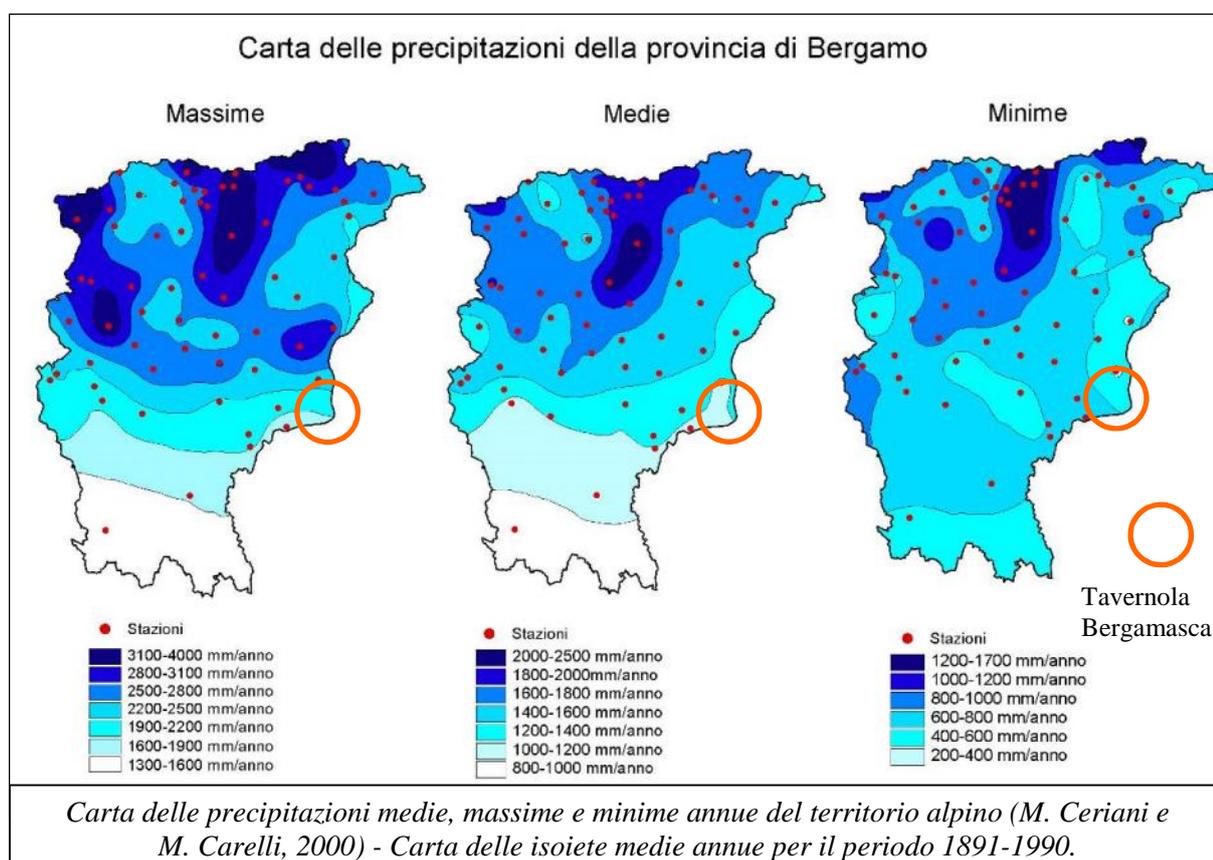
3.4.1. OSSERVAZIONI CLIMATOLOGICHE

Le fonti di rilevamento principali dei dati climatologici sono quelle ufficiali del Servizio Idrografico Italiano del Ministero dei Lavori Pubblici (Magistrato del Po, Parma) riferite agli anni 1970-1986 per la stazione pluviometrica di Sarnico (vedi tab. 1). Inoltre sono stati utilizzati dati pluvio-termometrici relativi alla stazione di Tavernola Bergamasca per il periodo 1985-1994 (vedi tab. 2). Sulla base dei dati raccolti la precipitazione media annua per la stazione di Sarnico risulta stimata intorno a 1105 mm valore che ben si confronta quello fornito dalla carta delle isoiete medie annue estratte dalla Carta delle Precipitazioni annue in scala 1:500.000 del S.I.I. per il trentennio 1921-1950.

Le misurazioni effettuate ormai da un decennio nella stazione di Tavernola mostrano invece un valore di precipitazione media annua ben più elevato e pari a 1671 mm con un numero medio di 91 giorni piovosi nell'arco di un anno.

Il regime pluviometrico è di tipo sublitoraneo padano con valori massimi di precipitazione nelle stagioni intermedie; occorre però evidenziare il verificarsi di precipitazioni di notevole intensità e breve durata durante la stagione estiva che paiono colpire soprattutto il versante settentrionale del monte Pingiolo. Le precipitazioni nevose sono scarse ed interessano solo le zone a quote elevate.

Il territorio di Tavernola Bergamasca è caratterizzato da un clima temperato subcontinentale con valori di temperatura media annua variabili tra 12,2 e 12,4 gradi Celsius con un'escursione media di 23 gradi tra il mese più caldo (Agosto con 25,5 gradi) e quello più freddo (Febbraio con 2,5 gradi). Lungo la riva del Sebino si risente l'effetto mitigatore del lago lungo il quale sono presenti venti con direzione N-S; nella valle di Tavernola si incontrano venti di tramontana.





DATI PLUVIOMETRICI DELLA STAZIONE DI SARNICO

PRECIPITAZIONI MENSILI (in mm), PERIODO 1970-1979

MESE/ANNO	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	MEDIA
<i>gennaio</i>	205,0	103,0	95,8	69,0	34,0	94,0	18,0	222,4	146,6	97,6	108,5
<i>febbraio</i>	28,0	34,8	144,0	40,0	106,0	47,5	24,0	149,8	115,8	67,0	75,7
<i>marzo</i>	93,0	72,0	118,0	8,0	75,0	131,0	12,0	112,6	58,6	211,6	89,2
<i>aprile</i>	82,0	61,0	134,0	86,0	87,0	41,0	82,0	79,2	93,4	156,6	90,2
<i>maggio</i>	115,0	199,0	126,0	38,0	65,0	128,0	82,0	257,8	146,2	23,8	118,1
<i>giugno</i>	91,0	204,0	222,0	129,0	59,0	187,0	60,0	91,0	77,6	95,8	121,6
<i>luglio</i>	50,0	79,0	110,0	188,0	25,0	81,0	270,0	243,6	38,8	52,4	113,8
<i>agosto</i>	141,0	53,0	53,0	78,0	95,0	96,0	304,0	185,4	90,0	210,0	130,5
<i>settembre</i>	8,0	9,0	127,0	82,0	106,0	189,0	199,0	115,4	6,6	255,0	109,7
<i>ottobre</i>	52,0	19,0	67,0	129,0	67,0	133,0	242,6	143,4	66,0	194,6	111,4
<i>novembre</i>	183,0	122,0	23,0	41,0	70,0	145,8	136,6	30,6	21,6	99,6	87,3
<i>dicembre</i>	44,0	15,0	90,0	71,0	19,0	85,0	50,6	45,6	86,2	106,4	61,3
TOTALE	1092,0	970,8	1309,8	959,0	808,0	1358,3	1480,8	1676,8	947,4	1570,4	1217,3

PRECIPITAZIONI MENSILI (in mm), PERIODO 1980-1986

MESE/ANNO	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	MEDIA	1970-1986
<i>gennaio</i>	44,0	2,6	21,2	0,6	17,0	0,4	52,2	19,7	72,0
<i>febbraio</i>	29,4	2,8	17,6	19,8	45,0	0,0	101,4	30,9	57,2
<i>marzo</i>	108,2	80,6	73,6	84,4	86,4	0,0	36,0	67,0	80,1
<i>aprile</i>	5,6	48,4	12,0	122,2	80,8	67,8	116,0	64,7	79,7
<i>maggio</i>	110,2	190,2	86,2	145,8	252,6	198,2	53,8	148,1	130,5
<i>giugno</i>	106,4	58,4	103,2	32,6	95,0	141,6	71,8	87,0	107,4
<i>luglio</i>	39,6	103,8	100,8	69,8	48,2	0,0	63,4	60,8	92,0
<i>agosto</i>	31,6	64,0	281,0	85,6	123,0	62,8	57,0	100,7	118,3
<i>settembre</i>	6,0	177,0	30,6	53,0	102,6	16,8	142,8	75,5	95,6
<i>ottobre</i>	250,8	123,0	243,2	36,0	67,6	0,0	13,2	104,8	108,7
<i>novembre</i>	103,4	1,4	160,0	0,8	84,2	75,0	67,4	70,3	80,3
<i>dicembre</i>	18,6	56,8	74,4	116,2	69,0	43,6	13,2	56,0	59,1
TOTALE	853,8	909,0	1203,8	766,8	1071,4	606,2	788,2	885,6	1080,7

PRECIPITAZIONI DI MASSIMA INTENSITA' NELLE 24 ORE (in mm), PERIODO 1978-1986

	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
05/08/78	24	40,6	50,2	50,2	50,2
21/09/79	37,2	89	155,6	201,2	220,4
26/05/81	20	24	38	61	96,8
06/08/82	51,6	53,2	.....	.....	.....
23/10/82	.....	.....	61	80	85,6
06/07/83	28,2	36,2	.....	.....	.....
21/10/83	.....	.....	.....	.....	54,6
06/05/85	.....	.....	.....	.....	68
13/05/85	.....	.....	55,9	65,6	.....
30/10/85	35,9	36,5	.....	.....	.....
09/09/86	50	80	105,2	107,2	.....

Tabella 1.- Dati pluviometrici della stazione di Sarnico.



DATI PLUVIOMETRICI DELLA STAZIONE DI TAVERNOLA BERGAMASCA

PRECIPITAZIONI MENSILI (in mm), PERIODO 1985-1994

MESE/ANNO	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	MEDIA
<u>gennaio</u>	50	55	24	110	4	96	96	53	2	243	73
<u>febbraio</u>	8	107	154	58	85	38	0	66	0	68	58
<u>marzo</u>	208	48	45	27	48	90	119	65	140	33	82
<u>aprile</u>	68	193	84	72	326	286	112	347	150		182
<u>maggio</u>	191	88	141	215	87	268	160	207	191		172
<u>giugno</u>	130	80	128	124	169	231	258	585	197		211
<u>luglio</u>	90	74	79	121	305	217	211	198	156		161
<u>agosto</u>	81	125	116	60	271	121	78	157	367		153
<u>settembre</u>	44	85	41	35	265	26	235	399	447		175
<u>ottobre</u>	30	13	182	176	40	280	321	372	617		226
<u>novembre</u>	125	65	57	5	72	280	158	92	110		107
<u>dicembre</u>	49	14	38	36	43	119	3	238	86		70
<u>TOTALE</u>	1074	947	1089	1039	1715	2052	1751	2779	2463	344	1671

N.B. Il 2 luglio 1990 si è registrato il valore massimo di precipitazione: 178 mm

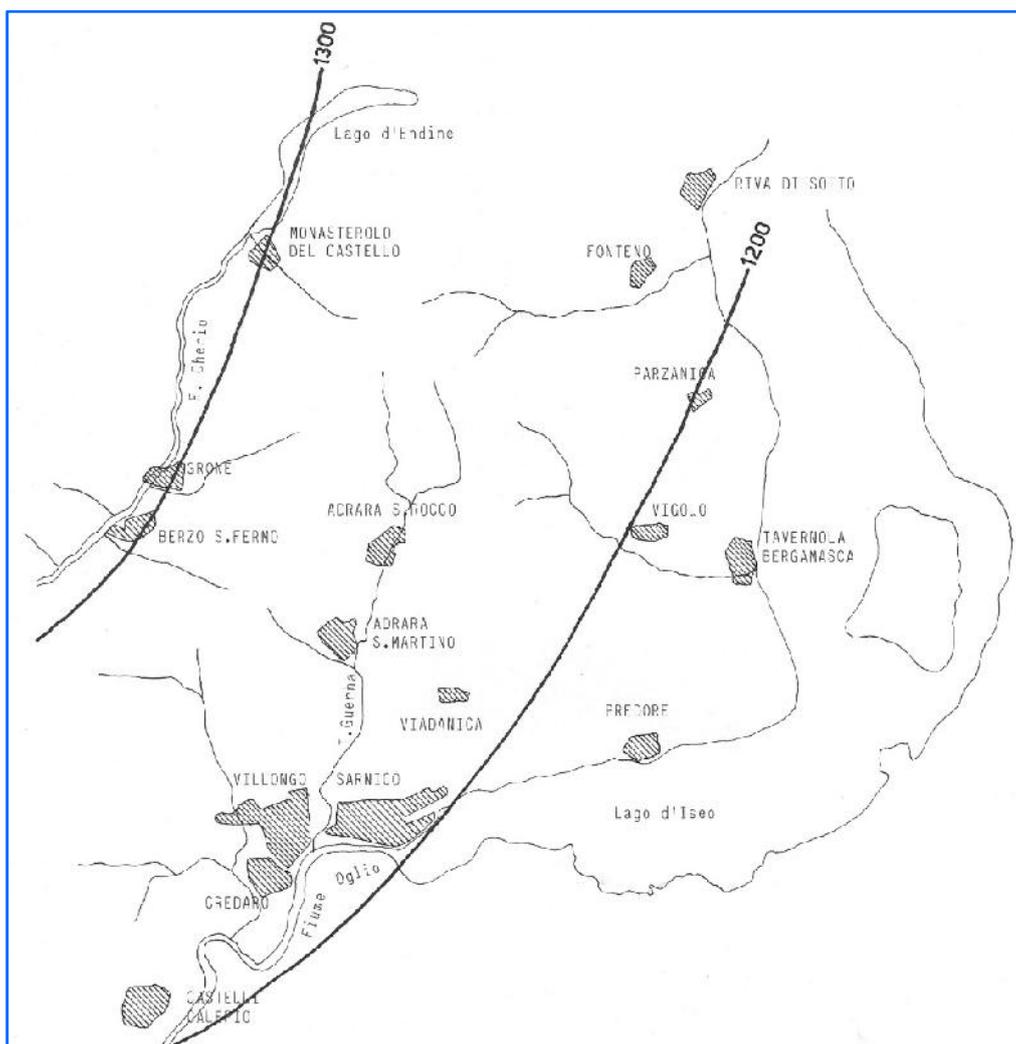
NUMERO DI GIORNATE PIOVOSE, PERIODO 1985-1994

MESE/ANNO	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	MEDIA
<u>gennaio</u>	2	7	2	9	1	5	6	4	1	8	5
<u>febbraio</u>	1	8	11	6	4	3	0	3	0	7	4
<u>marzo</u>	12	9	4	4	7	6	11	3	6	2	6
<u>aprile</u>	4	20	8	10	20	18	11	12	8		12
<u>maggio</u>	12	8	14	18	10	14	12	12	14		13
<u>giugno</u>	7	7	9	12	12	13	11	22	7		11
<u>luglio</u>	6	4	7	7	11	3	7	7	5		6
<u>agosto</u>	5	10	6	4	13	6	4	3	7		6
<u>settembre</u>	1	3	4	4	9	3	8	9	15		6
<u>ottobre</u>	3	1	15	7	3	16	9	11	20		9
<u>novembre</u>	11	5	6	1	9	9	9	5	8		7
<u>dicembre</u>	6	1	3	3	6	5	1	8	4		4
<u>TOTALE</u>	70	83	89	85	105	101	89	99	95	17	91

PIOVOSITA' MEDIA NELLE GIORNATE PIOVOSE (in mm), PERIODO 1985-1994

MESE/ANNO	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	MEDIA
<u>gennaio</u>	25	8	12	12	4	19	16	13	2	30	14
<u>febbraio</u>	8	0	14	10	0	13	0	22	0	10	8
<u>marzo</u>	17	5	11	7	7	15	11	22	23	17	14
<u>aprile</u>	17	10	11	7	16	16	10	29	19		15
<u>maggio</u>	16	11	10	12	9	19	13	17	14		13
<u>giugno</u>	19	11	14	10	14	18	23	27	28		18
<u>luglio</u>	15	19	11	17	28	72	30	28	31		28
<u>agosto</u>	16	13	19	15	21	20	20	52	52		25
<u>settembre</u>	44	28	10	9	29	9	29	44	30		26
<u>ottobre</u>	10	13	12	25	13	18	36	34	31		21
<u>novembre</u>	11	13	10	5	8	31	18	18	14		14
<u>dicembre</u>	8	14	13	12	7	24	3	30	22		15
<u>TOTALE</u>	15	11	12	12	16	20	20	28	26	20	18

Tabella 2.- Dati pluviometrici della stazione di Tavernola B.



Carta delle isoiete medie annue; scala 1:100.000

3.5 CARTA GEOLOGICO-TECNICA (tavole 5a e 5b)

In questa carta sono distinti i terreni e le rocce in base alle loro caratteristiche geotecniche di massima. Le caratteristiche delle coperture superficiali sono state trascurate nel caso in cui il loro spessore non superi il metro e dunque i terreni siano del tutto trascurabili ai fini delle fondazioni degli edifici. I terreni sono classificati in base al loro angolo di attrito interno (A), alla coesione (C) e alla capacità portante o carico ammissibile (Qa); per le rocce invece si è adottato come parametro di classificazione l'indice RQD, definito in base alla valutazione in superficie del grado di fratturazione della roccia.

Per ciascun gruppo sono forniti i valori entro i quali possono variare i parametri sopra indicati; va precisato che tali valori sono di orientamento, come necessario per gli scopi di programmazione di questo lavoro, che non può quindi esimere chi di dovere nei casi previsti dalla Legge dall'eseguire gli accertamenti e le prove geotecniche a livello di singolo progetto (Ministero LL.PP., D.M. 21.03.1988, ora D.M. 15 gennaio 2008).



Sono stati distinti:

- **discariche e riporti** (1): materiali a composizione varia provenienti da scavi e demolizioni edili; materiali ghiaiosi provenienti dalla estrazione e lavorazione della marna da cemento ad opera della società CementirSacci (già Adriasebina Cementi) sul versante rivolto a lago a Nord dell'abitato di Tavernola Bergamasca. Nel primo caso si tratta di materiali dalla granulometria e composizione più varia, frequentemente terrosi con un basso grado di compattazione. Tra di essi vi sono i terrapieni di alcuni grossi edifici nella zona di Cambianica, così come del campo sportivo. I materiali provenienti dall'estrazione mineraria sono invece a pezzatura costante e grossolana per favorire il processo di lavorazione e sono ubicati sui grandi piazzali all'interno dell'area mineraria.

$w = 25-35$ gradi; $C = 0$ t/mq; $Q_a = 0,7-1,8$ Kg/mq

- **coltri eluviali e depositi morenici argillosi** (2): terreni limoso-sabbiosi o argilloso limosi con una minima frazione di materiale più grossolano. Questi terreni sono generati da fenomeni di pedogenesi talvolta molto profondi che hanno creato spessori variabili tra 50 cm e 1,5 m sia in corrispondenza delle facies più marnose del Calcare di Domaro sia nei depositi glaciali più antichi. I terreni di questa categoria sono sviluppati soprattutto nella zona di Vasso, sul versante settentrionale del monte Pingiolo e nella valle delle Pertiche. Il loro drenaggio è generalmente difficoltoso a causa dell'abbondante frazione argillosa.

$w = 22-30$ gradi; $C = 0-3$ t/mq; $Q_a = 0,5-1,2$ Kg/cm²

- **depositi lacustri e di conoide** (3): terreni ghiaiosi e sabbiosi in corpi lentiformi, con intercalazioni di limi e argille, talvolta di spessore superiore a 5 m. Questi terreni offrono scadenti caratteristiche geotecniche per la loro eterogeneità e presenza di livelli fini, ma soprattutto per la costante imbibizione d'acqua dovuta alla presenza del bacino lacustre da un lato e agli apporti idrici naturali della conoide dall'altro.

Queste condizioni portano a casi di estrema pericolosità nella zona di raccordo tra il dolce pendio della conoide, eccessivamente urbanizzato, e la scarpata che si raccorda al fondale del lago, soprattutto in concomitanza di periodi di magra del lago con precipitazioni piovose intense di breve durata. Questa categoria di terreni è diffusa lungo la riva del lago nel territorio di Tavernola tra Pozzo glaciale e la conoide del torrente Rino e a Nord dei vecchi edifici della cementeria; queste aree hanno manifestato e manifestano problemi legati a cedimenti spondali.

In particolare l'area con caratteristiche peggiori è quella ubicata tra villa Sina e la foce attuale del torrente Rino; questa zona è stata soggetta ad avvallamenti di estensione più che decametrica sia nel 1904 che nel 1993, per i quali si sono resi necessari cospicui e costosi interventi di bonifica, fino ad oggi evidentemente non pienamente risolutivi. Le stratigrafie S5, S6 e S7 esposte nella tavola 2 evidenziano il profilo di questi terreni.

$w = 22-32$ gradi; $C = 0-3$ t/mq; $Q_a = 0,5-1,8$ kg/cm²



- **detriti di falda e alluvioni attuali** dei principali corsi d'acqua (4): si tratta di terreni di scarso interesse ai fini dell'urbanizzazione, sia per la loro ubicazione, sia per la loro ridotta estensione. Sono costituiti da ghiaie debolmente sabbiose e limose presenti nelle parti settentrionali del territorio comunale e tra Foppa e Predello. Il loro drenaggio è da buono a molto buono.

$w = 30-35$ gradi; $C = 0$ t/mq; $Qa = 1-2,5$ Kg/cm²

- **depositi morenici prevalentemente ghiaioso-sabbiosi** (5): ghiaie e sabbia, raramente limoso sabbiosa, con ciottoli e blocchi, talvolta cementati. Sono fra i depositi più urbanizzati costituendo il sottosuolo di Cambianica, di Bianica, di Moia e di altre frazioni minori; profili caratteristici di questi terreni sono riportati nelle stratigrafie S1, S2, S3, S4, S8, S10 e S11 sulla tavola 2. I terreni migliori sono rappresentati dai banchi conglomeratici cementati, mentre quelli più scadenti sono associati a manifestazioni idriche. Il loro drenaggio è generalmente buono.

$w = 28-35$ gradi; $C = 0-5$ t/mq; $Qa = 1,4-2,8$ Kg/cm²

- **calcari, dolomie, calcari selciferi e calcari marnosi** intensamente fratturati o con giaciture a franapoggio (6): si tratta delle litologie appartenenti prevalentemente al Calcare di Domaro, ben stratificate e interessate dalla fascia di deformazione con direzione ENE-OSO che attraversa il territorio di Tavernola al suo confine nordoccidentale; è compresa anche una porzione di territorio nella zona di Punta della Pietra e che interessa la successione stratigrafica dal Calcare di Zu al Calcare di Moltrasio.

RQD = 20-60%

- **calcari selciferi e calcari marnosi stratificati** (7): calcari e calcari marnosi con liste di selce appartenenti al Calcare di Domaro ed al Calcare di Moltrasio; essi sono disposti in strati decimetrici con fratturazione assente o a spaziatura plurimetrica e costituiscono tutto il settore roccioso a Sud dell'asse della "Sinclinale di Tavernola".

RQD = 30-90%

- **calcari e dolomie massicci o in grossi banchi** (8): a questa categoria appartengono il Calcare di Sedrina, la Dolomia Conchodon (o la Corna) ed il Calcare di Zu sommitale, costituiti da calcari e dolomie a stratificazione indistinta o in grossi banchi con fratturazione a spaziatura metrica o di più metri. Queste litologie si osservano nell'area più a Sud del territorio di Tavernola Bergamasca, tra Pozzo Glaciale e il confine con Predore.

RQD = 50-100%

In questa carta mediante appositi simboli, analoghi a quelli delle carte litostrutturale e idrogeologica, sono state rappresentate anche le principali disgiunzioni tettoniche, gli assi di piega, la giacitura generale degli strati e l'ubicazione delle colonne stratigrafiche riportate nella tavola 2.



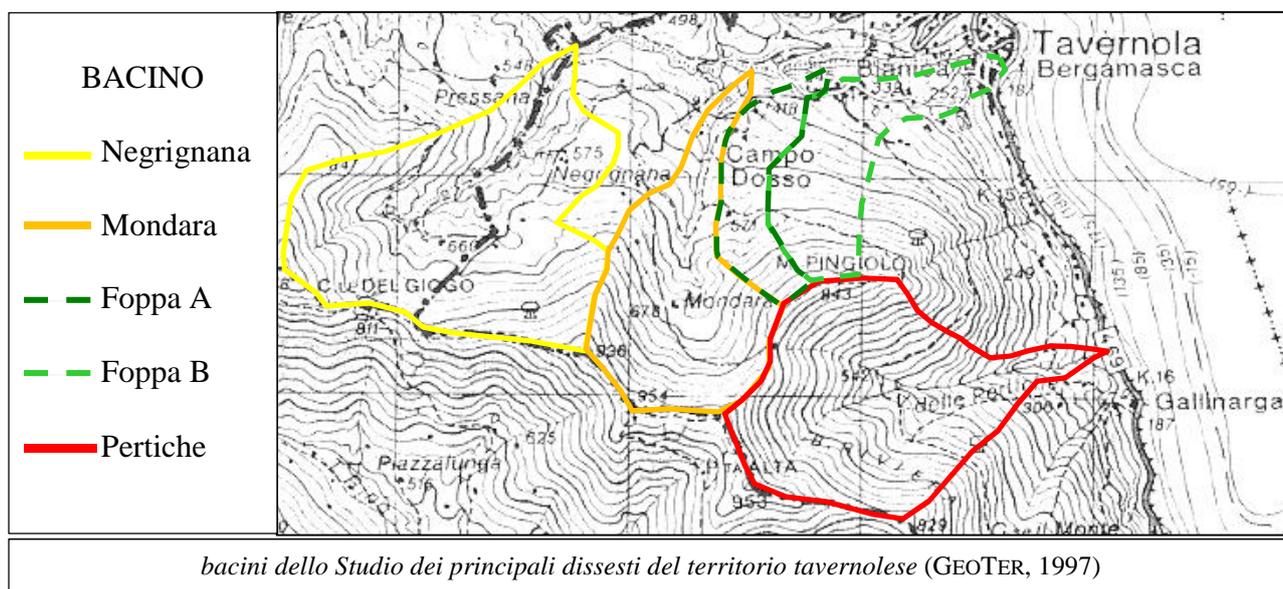
4. GEOMORFOLOGIA E IDROLOGIA

A partire dal 1994 il Comune di Tavernola ha commissionato diversi studi geomorfologici e idrologici di dettaglio e conseguenti progettazioni per la sistemazione di aree in dissesto. In questo campo il lavoro più significativo è lo “*Studio dei principali dissesti del territorio tavernolese*” (GEO TER, 1997) con il quale si sono formulate proposte di intervento su forme di dissesto che interessano quattro ambiti del territorio tavernolese: la “zona Foppa-Roggino”, la valle di Negrignana e quelle di Mondara e delle Pertiche. Sulla scorta di tale studio – qui allegato – si sono condotti alcuni interventi di sistemazione e messa in sicurezza del territorio, mentre lo studio stesso è stato ripreso nella “Carta Geomorfológica con Legenda Uniformata P.A.I.” di seguito illustrata.

I punti salienti del lavoro esposto in sintesi nella pagina seguente sono:

- un elenco degli eventi di dissesto idrogeologico che hanno interessato il territorio tavernolese tra la fine del 1800 e quella del secolo scorso;
- le indagini geomorfologiche dei dissesti e gli studi morfometrici dei bacini interessati;
- gli studi idrologici per la definizione della portata di massima piena e del trasporto solido;
- proposte di lavori di sistemazione e messa in sicurezza necessari soprattutto per i casi di parziale occlusione o di intubazione e interrimento degli alvei, ovvero dell’occupazione delle aree di espansione di piena, specie in presenza di una densa edificazione, come nel centro di Tavernola, a Gallinarga e a Casella. In tali ambiti spesso alle condizioni di fragilità idrogeologica si aggiungono gli effetti negativi di condotti fognari i cui scolmatori di piena sono stati «*valutati solo in ordine alla funzionalità di una struttura, vista in modo erroneamente e pericolosamente avulso dalla realtà idrogeologica dello stesso contesto territoriale*».

I lavori «*prevedono principalmente sistemazioni lungo le aste torrentizie, con la regimazione delle acque attraverso una serie di briglie in legname e pietrame, o l’inalveamento di alcuni tratti in roccia, soprattutto in corrispondenza degli attraversamenti stradali*», anche mediante la formazione di vasche di calma o di espansione, e «*interventi di consolidamento delle scarpate con terre armate, viminate e chiodature in situazioni particolari nella valle di Mondara e nella valle delle Pertiche. Infine l’intervento più rilevante ai fini della sicurezza riguarda i bacini che gravitano sulla località Foppa e sul centro storico di Tavernola, con la realizzazione di canali di gronda che allontanino l’acqua dagli stessi centri abitati*».





SINTESI DATI MORFOMETRICI E IDROLOGICI							
"Studio dei principali dissesti idrogeologici del territorio tavernellese" – GeoTer, 1997)							
BACINO			FOPPA-ROGGINO		VALLE	VALLE	VALLE DELLE
			FOPPA A	FOPPA B	MONDARA	NEGRIGNANA	PERTICHE
Parametri generali	SIMB	UNITA'					
area totale del bacino	A	km ²	0.419	0.291	0.678	1.238	1.026
perimetro del bacino	P	km	3.168	2.766	4.135	4.835	4.444
lunghezza radiale del bacino	Lr	km	1.250	1.165	1.634	1.614	1.709
larghezza del bacino	L	km	0.492	0.338	0.780	1.225	1.133
inclinazione media dei versanti	i	%	53	47	56	49	65
quota massima del bacino	H	m	844.30	844.30	948.50	944.80	953.70
quota minima del bacino	h	m	185.00	295.00	332.00	427.00	185.00
dislivello del bacino	Δh	m	659.30	549.30	616.50	517.80	768.70
altezza media	hm	m	514.65	569.65	640.25	685.90	569.35
altezza mediana (dalla curva ipsografica)	h'm	m	460.79	557.67	707.22	700.38	641.96
lunghezza dell'asta princ. sino allo spartiacque	Lreale	m	1338.69	1350.06	1732.96	1790.57	1774.08
pendenza caratteristica	lc	%	49.25	41	36	29	43
Parametri di forma							
rapporto di rilievo	Rh		0.53	0.47	0.38	0.32	0.45
rapporto di circolarità	Rc		0.53	0.48	0.50	0.67	0.65
rapporto di allungamento	Re		0.58	0.52	0.57	0.78	0.67
indice di compattezza	lc		1.38	1.45	1.42	1.23	1.24
area cerchio con circonferenza uguale a P	A°	km ²	0.799	0.609	1.361	1.860	1.572
diametro cerchio equivalente (ugual area)	de	km	0.731	0.608	0.929	1.255	1.143
circonferenza cerchio equivalente (ugual area)	Cc	km	2.296	1.911	2.918	3.944	3.591
Tempo di corruzione							
tempo di corruzione (Giandotti, 1934)	tc	ore	0.346	0.322	0.380	0.540	0.393
tempo di corruzione (Tourmon, Merlo, 1973)	te	ore	0.259	0.212	0.335	0.550	0.411
Portate di piena							
portata massima secondo Forti (precipitazione max giornaliera = 200-250 mm)	Qmax	m ³ /sec	4.139	2.871	6.674	12.141	10.078
portata massima secondo Iskowski (1985)	Qmax	m ³ /sec	3.125	2.165	5.048	9.222	7.643
portata massima secondo Giandotti e Visentini	Qmax	m ³ /sec	2.486	1.683	3.328	4.285	4.881
Trasporto solido							
trasporto solido secondo Scoclitsch (1963) per d40 = 0,05 m	G	kg/sec	2666.49	1408.49	2690.19	3555.38	5347.71
trasporto solido secondo Scoclitsch (1963) per d40 = 0,10 m	G	kg/sec	2642.35	1385.75	2624.85	3474.33	5278.39

SINTESI DATI MORFOMETRICI DI HORTON								
"Studio dei principali dissesti idrogeologici del territorio tavernellese" – GeoTer, 1997)								
VALLEMONDARA	aste riceventi			N _a	L _a (m)	L _{am} (m)	ΣL _{am} (m)	Area (km ²)
	u	II	III					
aste immissarie	I	5	2	7	615	87.86	87.86	
	II	0	2	2	250	125.00	432.50	
	III	0	1	1	937	937.00	1802.00	0.6776
VALLENEGRIGNANA	aste riceventi			N _a	L _a (m)	L _{am} (m)	ΣL _{am} (m)	Area (km ²)
	u	II	III					
aste immissarie	I	11	11	22	3027.5	137.61	137.61	
	II	0	4	4	692.5	173.13	930.00	
	III	0	1	1	1070.0	1070.00	4790.00	1.238
VALLEDELLEPERTICHE	aste riceventi			N _a	L _a (m)	L _{am} (m)	ΣL _{am} (m)	Area (km ²)
	u	II	III					
aste immissarie	I	5	4	9	2400	266.67	266.67	
	II	0	2	2	555	277.50	1477.50	
	III	0	1	1	940	940.00	3895.00	1.026

N.B.: u = ordine del corso d'acqua; N_a = numero dei corsi d'acqua; L_a = lunghezza dei corsi d'acqua in metri; L_{am} = lunghezza media in metri; ΣL_{am} = lunghezza cumulata media in metri; Area = superficie del bacino in km². Dati ricavati dalla Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000

Parametri di drenaggio	SIMB	UNITÀ	VALLE MONDARA	VALLE NEGRIGNANA	VALLE DELLE PERTICHE
densità di drenaggio	D	km/km ²	2.66	3.87	3.80
costante di canale	C	km ³ /km	0.38	0.26	0.26
frequenza di drenaggio	F	Num/km ²	14.76	21.81	11.70
tessitura di drenaggio	T	Num/km ²	5.55	5.64	3.08
rapporto di biforcazione medio	Rb		2.75	4.75	3.25
rapporto di biforcazione diretto medio	Rbd		2.25	3.38	2.25
indice di biforcazione medio	R		0.50	1.38	1.00
rapp. di biforcazione medio ponderato	R'b		3.75	6.04	4.63
rapp. di biforc. diretto medio ponderato	R'bd		2.94	3.83	2.94
indice di biforcazione medio ponderato	R'		0.81	2.21	1.69

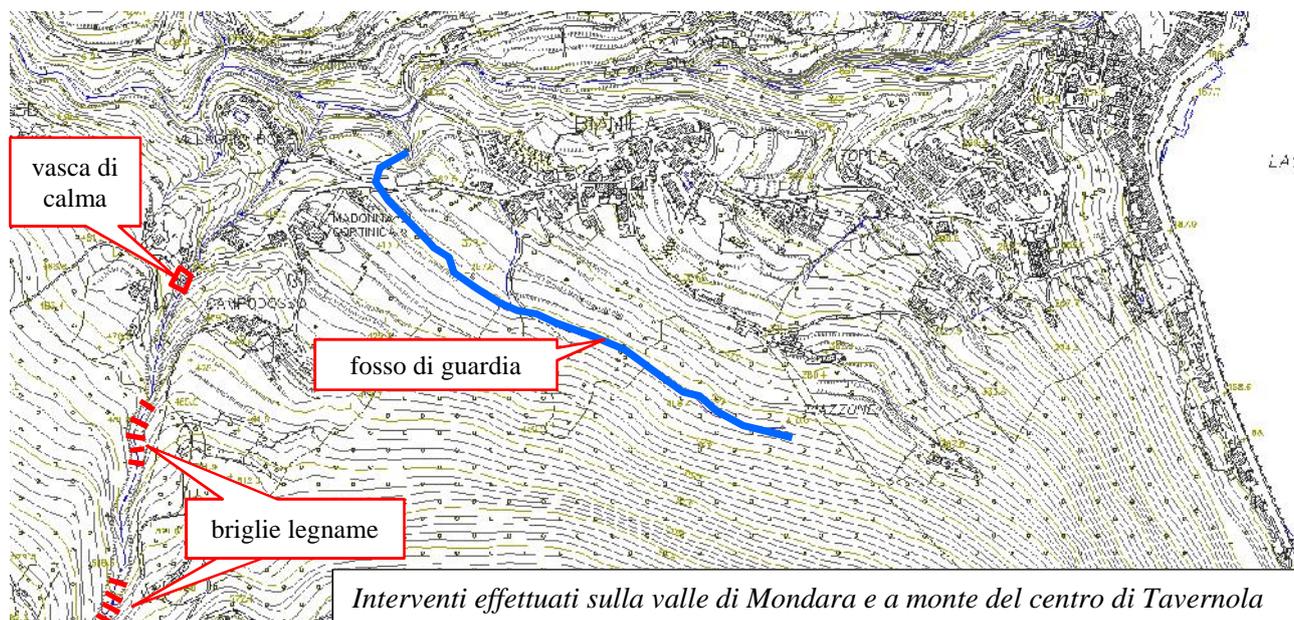


Sempre in base alle indicazioni emerse dallo studio già citato, tra il 1999 ed il 2006 sono stati attuati alcuni progetti, i cui impegni economici il Comune di Tavernola ha sostenuto con fondi propri e/o mediante finanziamenti statali:

- “Sistemazione Idrogeologica nel territorio tavernolese in località Foppa”; ING. PAOLO PICCIOLI CAPELLI, 1999-2002; (collaborazione di GeoTer per la componente geologica);
- “Sistemazione Idrogeologica nel territorio tavernolese in località Mondara”; ING. PAOLO PICCIOLI CAPELLI, 2000-2006; (collaborazione di GeoTer per la componente geologica);

Questi interventi hanno comportato la sistemazione dell’intera asta del torrente Mondara, mediante la formazione rinforzi spondali in terre armate presso Mondara, la costruzione di briglie in legname e pietra in diversi tratti dell’alveo e di una briglia in calcestruzzo e pietra all’attraversamento della strada di Antema, mentre a Cortinica è stata creata una vasca di sedimentazione all’attraversamento della strada di Negrignana.

Per la difesa del centro di Tavernola è stato costruito uno dei canali di gronda (o fossi di guardia) dei quattro previsti dal progetto; esso è formato con appositi elementi prefabbricati in calcestruzzo. La sua realizzazione ha portato a una sensibile diminuzione dell’acqua ruscellante verso il paese, sebbene il mancato completamento dell’ultimo tratto ad Est, fino alla “strada vicinale di monte”, permetta ancora all’acqua raccolta dalla strada stessa di scendere verso il centro lungo il Trozzo di Lovera.



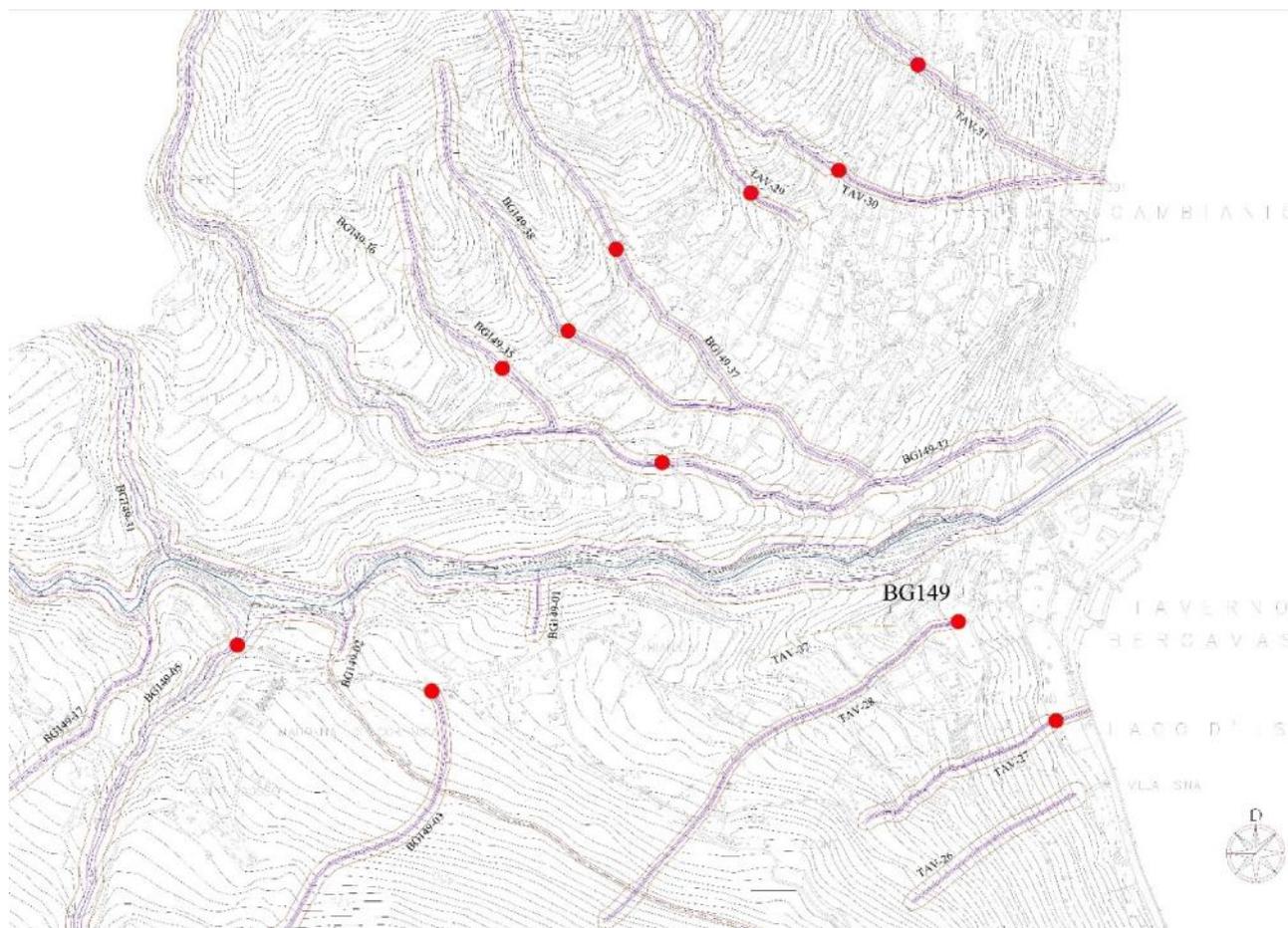
Briglie in legname e pietra in muratura sul Mondara e il canale di gronda (fosso di guardia) presso Cortinica



Dettagliati studi hanno riguardato anche la diffusa rete di impluvi e torrentelli che solcano il territorio di Tavernola. Tra questi, lo “*Studio di definizione del Reticolo Idrico Minore*” (GEO TER, 2004) ha individuato e catalogato il reticolo idrografico e ne ha definito le fasce di rispetto anche mediante i calcoli delle portate idrauliche e solide dei torrenti principali che attraversano il centro abitato; ciò ha permesso in alcuni casi di ridurre l’ampiezza delle fasce da dieci a cinque metri (cfr. tabelle seguenti).

Lo sviluppo planimetrico degli alvei, con sigla d’identificazione, i cigli di sponda e le fasce di rispetto sono riportati sull’apposita cartografia del lavoro, il quale ha ricevuto il parere favorevole di Regione Lombardia - S.TER. di Bergamo (prot. A006.2005.0000271 del 07/07/2005). Questa analisi è ripresa nella Carta dei Vincoli.

Si deve osservare che la scarsa qualità della base topografica disponibile al momento della redazione dello studio di definizione del Reticolo Idrico Minore ha reso necessario nel corso del presente lavoro provvedere a una trasposizione del R.I.M. sulla nuova topografia utilizzata dalla Variante n.1 del P.G.T., mantenendo comunque valido lo studio redatto nel 2004.



Stralcio della carta del Reticolo Idrico Minore nel settore centrale di Tavernola Bergamasca. I pallini rossi indicano i punti di verifica idraulica; il restringimento delle fasce a valle di tali punti indica l’efficienza idraulica della sezione al momento della redazione dello studio



bacino	superficie (km ²)	quota sezione di chiusura	trasporto solido in alveo	portata liquida (m ³ /s)	PORTATA TOTALE LIQUIDA + SOLIDA M ³ /S
Valzello Ognoli TAV-31	0,072	340	si	0,56	5,56
TAV30	0,056	330	no	0,43	
Valzello Praticelli TAV-29	0,046	352	no	0,35	
Trozzo degli Scapoli TAV-28	0,045	235	no	0,34	
TAV27	0,031	210	no	0,24	
TAV24	0,048	190	no	0,37	
Valle delle Pertiche TAV-10	1,054	190	si	7,89	78,88
Rio Gallinarga TAV-5	0,345	205	si	2,64	33,02
BG149-38	0,052	368	si	0,41	1,38
BG149-37	0,059	385	no	0,46	
BG149-35	0,093	380	no	0,72	
Rio Vandel BG149-32	0,551	323	si	4,20	21,77
Valle di Mondara BG-149-05	0,652	386	si	4,95	25,67
Trozzo della Cavalla BG-149-03	0,151	387	si	1,16	10,75

bacino	superficie (km ²)	quota sezione di chiusura	dimensione sezione di chiusura altezza x larghezza in metri	altezza in metri considerando la portata liquida	portata in m ³ /s considerando la portata liquida	velocità in m/s considerando la portata liquida	altezza in metri considerando la portata liquida + solida	trasporto solido in alveo
Valzello Ognoli TAV-31	0,072	340	1,5 x 2,5	0,103	30,189	8,051	0,448	no
Valzello Praticelli TAV30	0,056	330	0,4 x 1,1	0,187	1,285	2,951		no
TAV29	0,046	352	0,30 x 1	0,171	0,856	2,853		no
Trozzo degli Scapoli TAV28	0,045	235	(2 tubi di 1 m diametro) + vasca laminazione 230 x 0,80 e tubo 0,20	0,102	31,000	19,482	0,200	no
TAV27	0,031	210	1 (diametro cunicolo)	0,090	14,125	18,138		no
TAV24	0,048	190	1 x 2,20	0,065	23,391	10,873		no
Valle delle Pertiche TAV-10	1	190	2,5 x 1,9	0,455	21,715	10,838	2,632	si
Rio Gallinarga TAV-5	0,345	205	0,3 x 1,3	0,101	16,427	20,916	0,551	si
BG149-38	0,052	368	1,2 x 2 (griglia 0,90 x 0,70 + tubo 0,50)	0,152	2,045	10,417	0,210*	si
BG149-37	0,059	385	1 (diametro tubo in cemento)	0,115	16,427	20,916		no
BG149-35	0,093	380	0,30 x 1,10	0,125	2,040	7,419		no
BG149-32	0,551	323	0,75 x 2,20	0,261	19,855	12,000	0,801	si
Valle di Mondara BG-149-05	0,652	386	2 x 1,5	0,766	19,663	7,128	2,392	si
Trozzo della Cavalla BG-149-03	0,151	387	3 x 2 (griglia 1,50 x 0,40 + cunicolo 0,40 x 0,30)	0,123	2,688	22,404	0,967	si

N.B.: il valore dell'altezza in metri della valle BG149-38 è stato determinato considerando la portata liquida più un quarto della portata solida per la presenza di una palizzata per il deposito del materiale in alveo e per i frequenti attraversamenti della strada per Vigolo in corrispondenza dei quali si ha deposito di materiale in caso di piena.

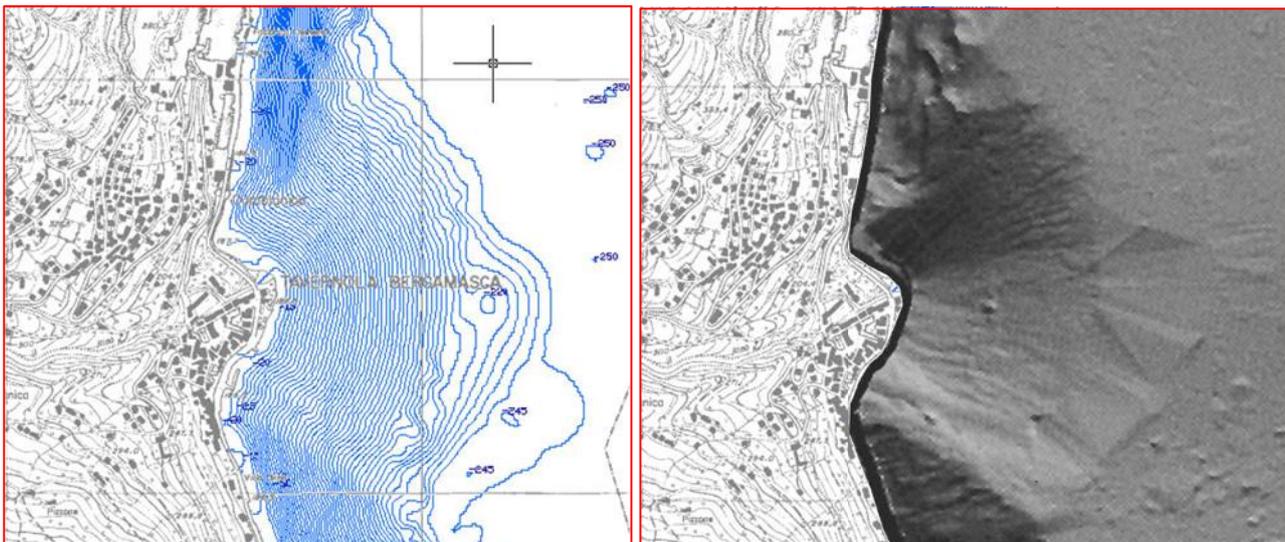
Portate massime calcolate con la "formula di Anselmo" (1985) e risultati delle verifiche idrauliche dei torrenti che intersecano il centro abitato di Tavernola.

Allo studio del R.I.M. è seguito lo "Studio di dettaglio dei corsi d'acqua del comune di Tavernola Bergamasca" (GEA, 2012), con lo scopo di individuare le condizioni geologiche e geomorfologiche degli alvei e l'efficacia delle strutture idrauliche esistenti, onde avviare un monitoraggio delle situazioni più critiche con l'aiuto dei Volontari della Protezione Civile. Mediante schede e alcune tavole grafiche, eventualmente da aggiornare in corso d'uso, si fornisce un quadro della consistenza e dello stato di efficienza delle opere presenti sui corsi d'acqua (difese spondali, attraversamenti, ponti, tombotti), ma si sottostima il grado di pericolosità di molti altri impluvi, mancando una completa analisi geologica e idrologica dei bacini.

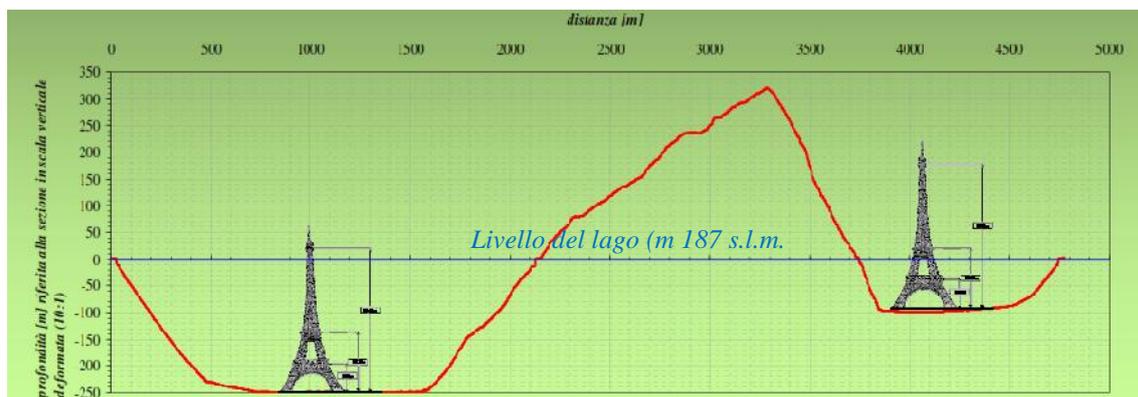


Oltre agli studi geologici acquisiti dal Comune di Tavernola, negli ultimi quindici anni sono stati effettuati altre indagini di approfondimento sulla geomorfologia del Sebino. Si tratta di studi batimetrici e sismici (“*Il Bacino del Lago Sebino: rilievo batimetrico e studio geofisico*” – REGIONE LOMBARDIA, 2002-2003) con i quali si è ottenuta anche una migliore e adeguata conoscenza della morfologia spondale del lago (“*Morphology and geological setting of Iseo Lake (Lombardy) through multibeam bathymetry and high resolution seismic profiles*” - BINI A. ET ALII, 2007), nella fascia compresa tra il pelo dell’acqua e il fondale lacustre, che proprio a Tavernola raggiunge la massima profondità (circa duecentosessanta metri, m - 73 s.l.m.).

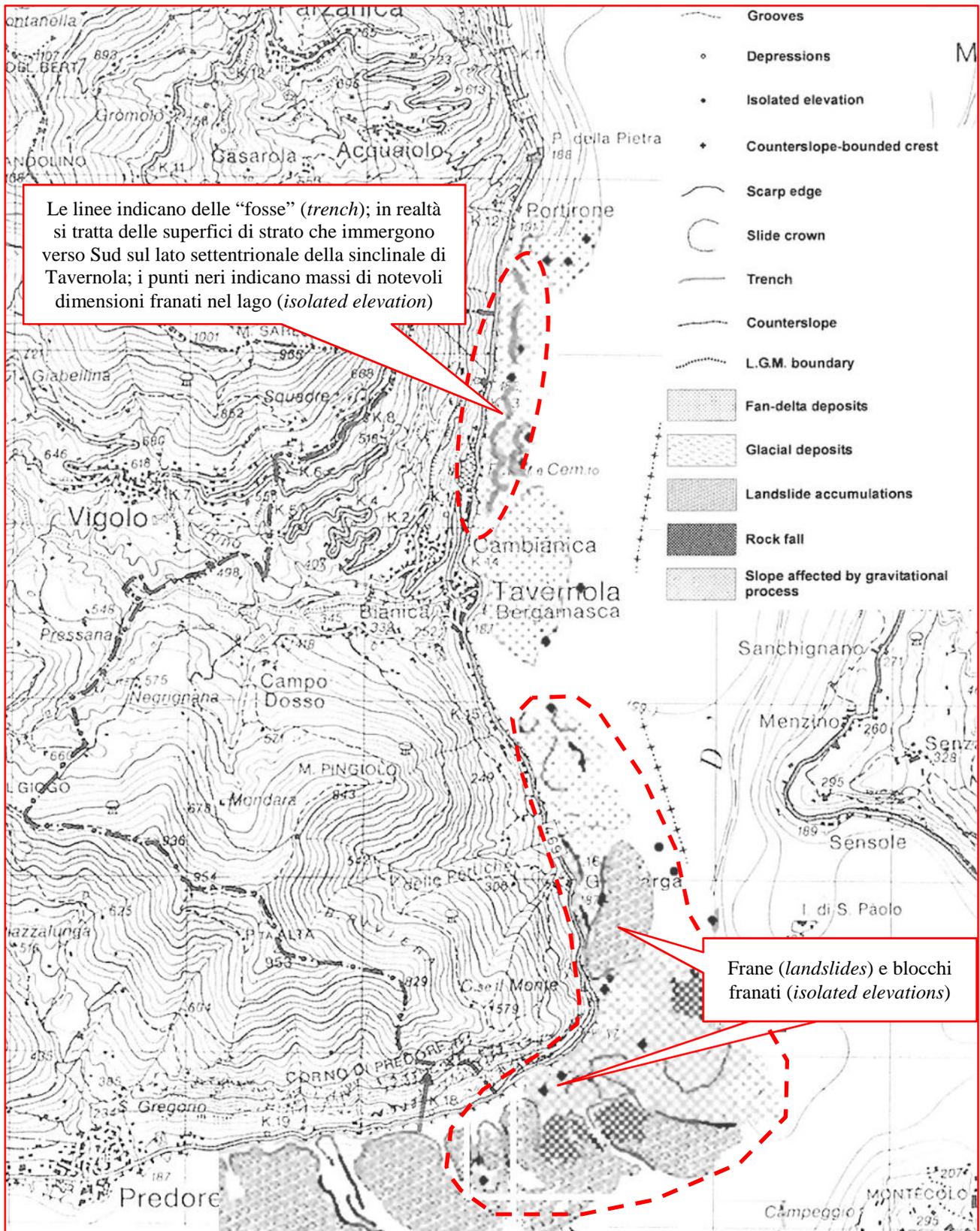
Ne risulta innanzitutto un quadro geomorfologico molto differenziato a riguardo degli apparati di conoide associati ai torrenti che si immettono direttamente nel lago: vi sono conoidi il cui espandimento raggiunge il fondale e il cui apice emerge sopra la linea di costa, come quella del Rino di Tavernola; altre completamente sommerse, come quelle delle valli delle Pertiche; apparati “misti”, cioè formati da una conoide sommersa e da una sopra il livello del lago, come quello di Gallinarga. Lo studio mette ben in evidenza anche le frane: di scivolamento nella zona davanti a Casella e di crollo, come i massi al piede della scarpata spondale del Corno di Predore e nel settore e settentrionale della costa tavernolese. Queste indagini sul lago d’Iseo svolte da Regione Lombardia sono ampiamente richiamate nella nuova redazione della Carta dei Dissesti con Legenda Uniformata P.A.I.



Rilievo batimetrico della conoide subacquea del torrente Rino (A) e modello digitale della stessa (B)



Profondità del lago d’Iseo: sezione E-O da Tavernola (PILOTTI M., 2011)

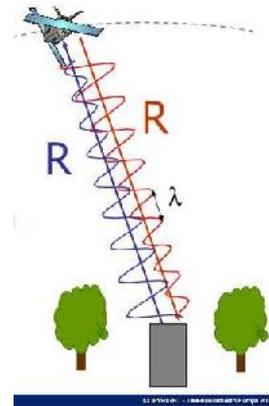


Geomorfologia del fondale lacustre lungo il litorale tavernolese, da BINI A. et al., 2007, modificato con cartografia IGM 1:25.000



Altri elementi di analisi geomorfologica del territorio tavernolese sono forniti da un recente telerilevamento satellitare mediante interferometria radar “PSinSAR”, reso disponibile da Regione Lombardia.

I sistemi radar di tipo SAR (Synthetic Aperture Radar) sono in grado di misurare con molta precisione la distanza tra il sensore e il bersaglio, registrando il tempo intercorrente tra l’onda trasmessa e la sua parte retrodiffusa. In virtù della loro periodicità di acquisizione (circa mensile) i dati SAR forniscono misure ripetute della distanza sensore-bersaglio consentendo, mediante confronti successivi, di apprezzarne eventuali spostamenti (deformazioni) al suolo.

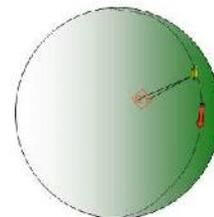


La tecnica PS si basa sull’impiego di una serie temporale di “immagini” radar satellitari della stessa area; in questo caso sono quelle acquisite dai satelliti ERS-1/2 di ESA (*European Space Agency*) tra il 1991 e il 2000 e RADARSAT di CSA (*Canadian Space Agency*) tra il 2003 e il 2007.

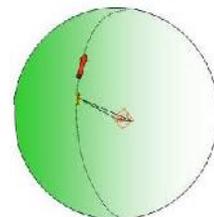
L’obiettivo è individuare dei bersagli che mantengono inalterate nel tempo le proprie caratteristiche elettromagnetiche (*Permanent Scatterers o PS*): in genere si tratta di edifici, viadotti, condotte, rocce esposte o elementi metallici (pali, pensiline metalliche, recinzioni); per ciascuno di questi punti è possibile stimare e rimuovere il disturbo atmosferico e ricostruire con precisione millimetrica la storia dei movimenti nell’intervallo di tempo analizzato. Ciascuna “immagine” radar copre una superficie di circa 10.000 km² ed è ripresa ogni trenta giorni; essa è identificata da un numero corrispondente all’orbita del satellite (*track*) e da un numero corrispondente alla parte (*frame*) rappresentata nella traccia stessa, analogamente a quanto avviene nelle riprese aerofotogrammetriche.



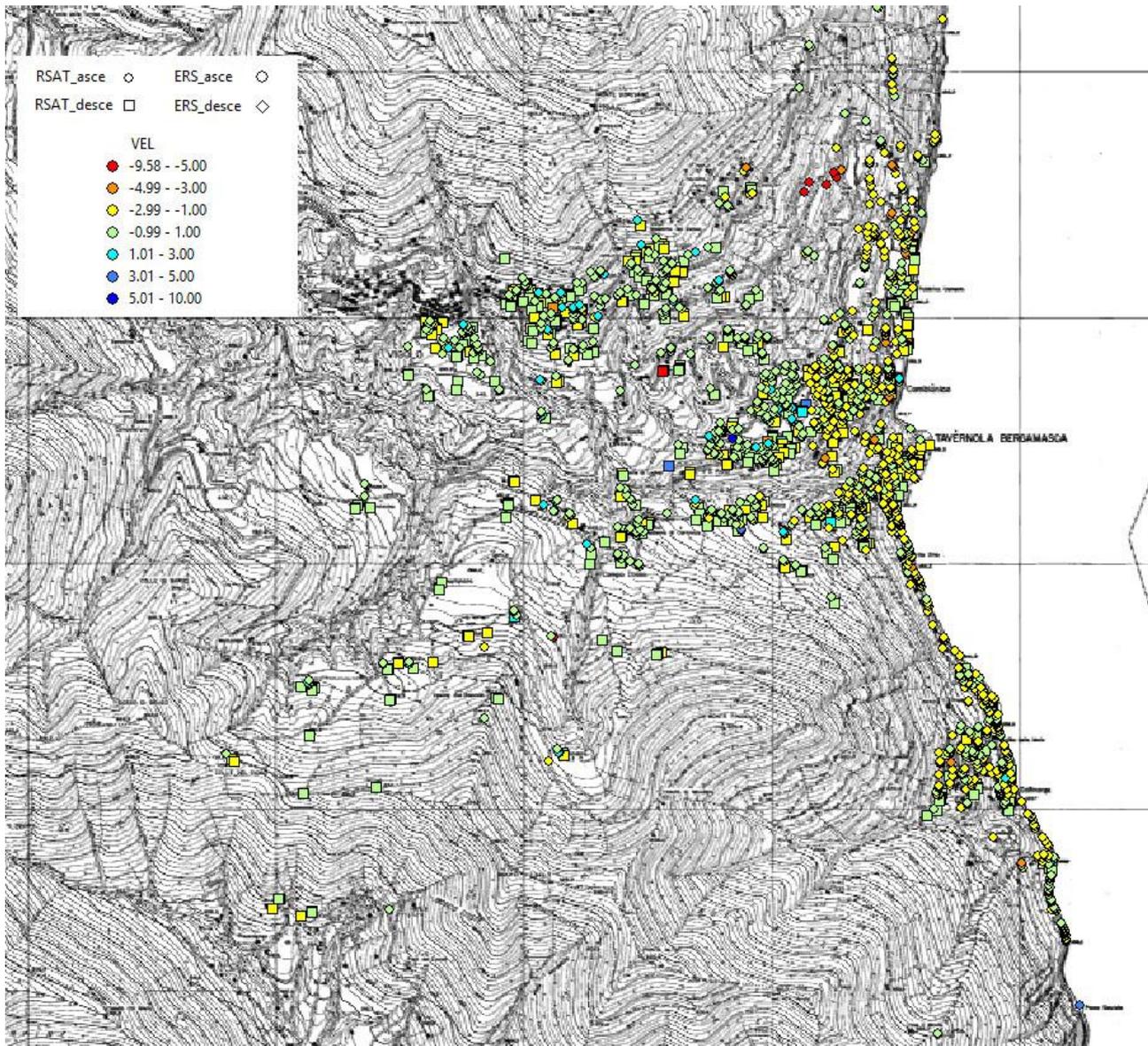
Orbita discendente



Orbita ascendente

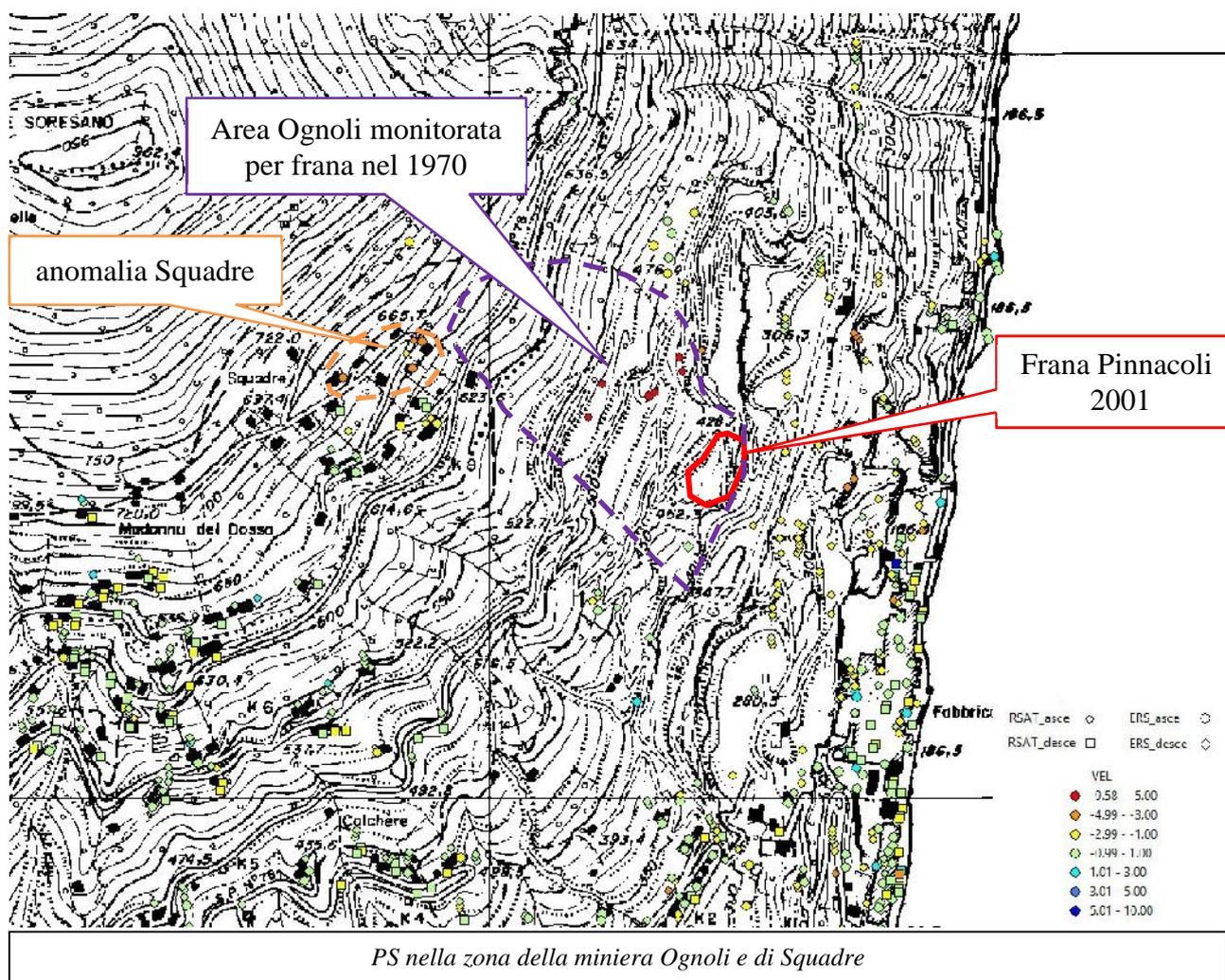


I PS rilevati sono distinti in base alla loro velocità di spostamento e rappresentati mediante punti in una scala cromatica, in modo da rendere evidenti eventuali abbassamenti o innalzamenti dei bersagli, cioè del terreno e/o delle strutture che vi stanno sopra. Questa tecnica di rilevamento non permette di ottenere dati su superfici coperte da bosco e su pendii molto acclivi, soprattutto se questi presentano orientazioni sfavorevoli alla ripresa satellitare.



Distribuzione dei punti PS (Permanent Scatterers) sul territorio di Tavernola Bergamasca; i colori in legenda distinguono velocità espresse in mm/anno

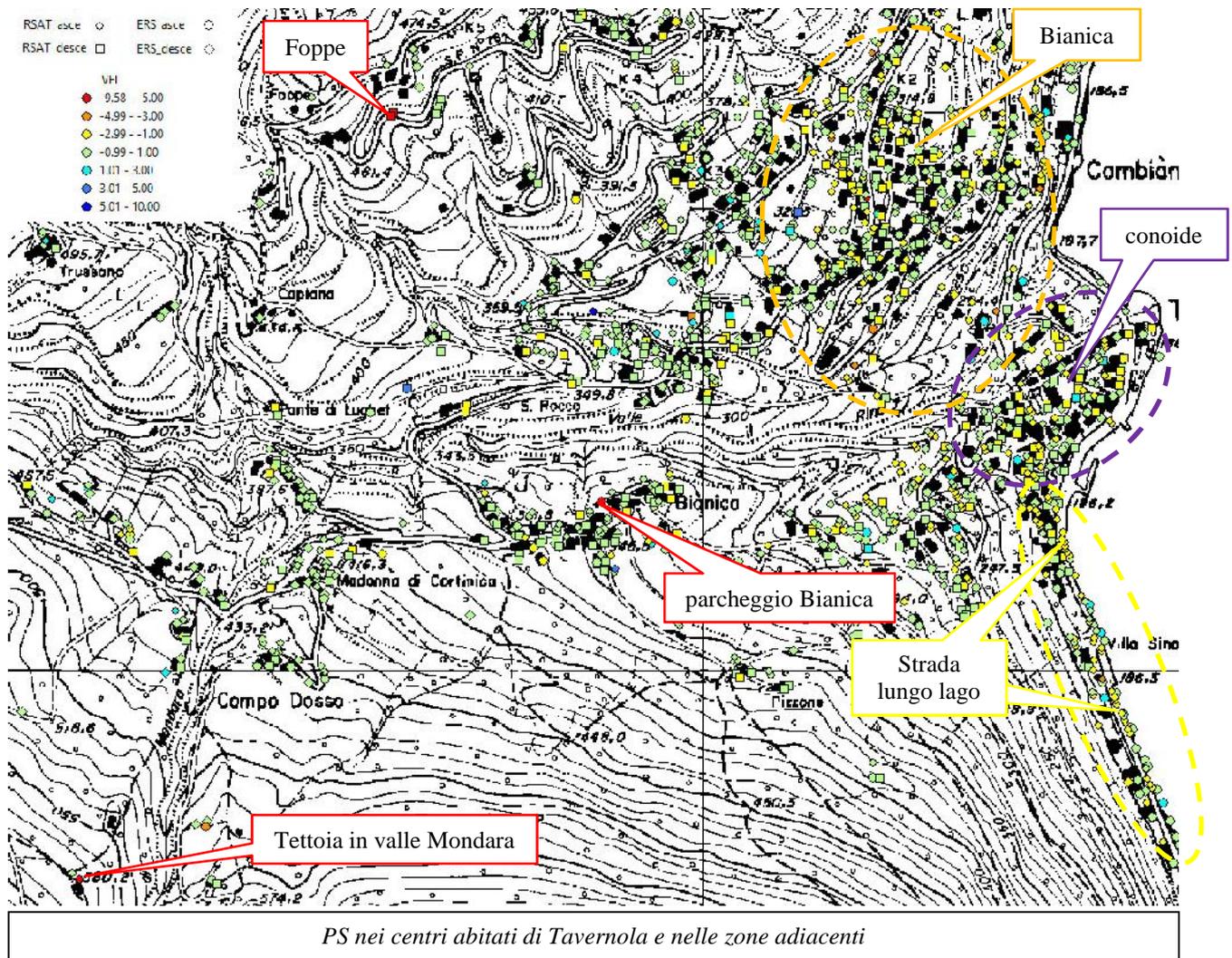
Sul territorio di Tavernola Bergamasca il telerilevamento satellitare ha individuato più di tremilaseicento punti *permanent scatterers*: essi interessano soprattutto le aree edificate e la zona della miniera “Ognoli”. L’analisi dei dati condotta da Regione Lombardia ha messo in luce alcuni punti dove il terreno subisce significativi abbassamenti (velocità maggiore di 3 mm/anno): nell’ambito della miniera cementifera si osservano sia spostamenti dovuti alle sistemazioni delle scarpate e delle infrastrutture produttive nell’area Scapioni (*stock pile*) e alla costruzione della nuova strada di Parzanica e Cambianica (bretella), sia cedimenti nella zona franosa del 1970, ora monitorata, e nella zona di Squadre. Ovviamente non compare la frana dei “Pinnacoli” del novembre 2010 poiché i dati satellitari coprono un periodo precedente e non si evidenziano nemmeno i distacchi di roccia dalle pareti di Punta del Corno, a causa dell’acclività eccessiva e dell’esposizione sfavorevole rispetto alle traiettorie dei satelliti.



Segnalazioni locali riguardano cedimenti stradali o di terrapieni, come sulla strada Tavernola-Vigolo presso Foppe o in corrispondenza del parcheggio di Bianica; altri riguardano cedimenti di tettoie metalliche sorrette da pali in legno come accade nel centro di Cambianica e in una cascina nella valle di Mondara.

Si nota infine che tutto il settore compreso tra Bianica, la conoide di Tavernola e la strada costiera fino a Gallinarga presenta una generale, seppur leggera, tendenza all'abbassamento ($-1 \text{ mm/anno} < v < -3 \text{ mm/anno}$). Ciò potrebbe essere dovuto a un errore di calcolo introdotto dal punto di riferimento utilizzato per l'elaborazione PS; tuttavia, almeno nell'area della conoide del Rino tali dati potrebbero effettivamente indicare la presenza di lievi cedimenti così come una leggera subsidenza della fascia costiera lungo la strada litoranea.

Anche i risultati di questi studi sono introdotti nell'elaborazione dell'aggiornamento della Carta Geomorfologica con Legenda Uniformata P.A.I.



Il più recente studio geologico di dettaglio di una parte del territorio tavernolesse è stato commissionato dalla Comunità Montana del Monte Bronzone e del Basso Sebino a supporto della progettazione di un percorso ciclo-pedonale lungo il tratto dismesso della strada litoranea presso il Corno di Predore (“Sviluppo Turistico della sponda bergamasca del lago d’Iseo – Recupero della vecchia strada litoranea attorno al Corno di Predore nei comuni di Tavernola Bergamasca e Predore” – DE VECCHI G.B., DE VECCHI M., OPRANDI M., PLEBANI F. E INVERNICI N., 2005).

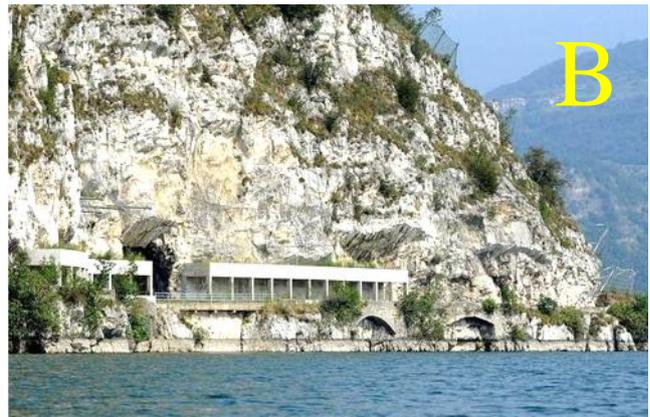
Questo tratto di strada, anche durante il suo esercizio, è sempre stato soggetto a caduta di massi, talora di cospicuo volume, soprattutto nel tratto più vicino a Predore; l’Ente gestore della strada (ANAS e/o Provincia) ha dovuto intervenire in numerose e diverse occasioni con disgaggi, demolizioni, posa di reti addossate e barriere paramassi, pervenendo infine alla decisione di sostituire il tratto di strada con un tracciato più interno in galleria dal cui imbocco meridionale si protende verso Predore un lungo tratto artificiale in calcestruzzo armato con funzione paramassi.

Il progetto di recupero del tratto di strada costiera dismesso, che avrebbe avuto anche l’obiettivo di valorizzarne l’aspetto naturalistico e la bellezza del paesaggio, a causa delle numerose cadute massi



che lo hanno interessato è stato preceduto da studi di geomeccanica al fine di valutare le condizioni di stabilità delle pareti rocciose che sovrastano la strada, la pericolosità di tali situazioni e, ove possibili, la tipologia degli interventi necessari per la messa in sicurezza, considerando anche il fatto che quel suggestivo costone con la sua strada intagliata nella roccia è ben visibile dal lago, da Montisola e perfino dalla sponda opposta del Sebino. L'indagine ha evidenziato «l'alto rischio connesso ai fenomeni gravitativi, attualmente ancora in atto», con la presenza di «molteplici situazioni di instabilità potenziale che interessano globalmente l'intera area esaminata, con particolare rilievo specifico ad alcune situazioni particolarmente gravi come la frana in roccia ubicata nei pressi dell'imbocco della galleria ed alcuni tratti delle pareti.»

Dopo una serie di interventi di demolizione, disgreggio, bullonatura, consolidamento corticale con reti, costruzione di valli paramassi in terre armate e di barriere paramassi elastoplastiche (2005-2006) si è passati a opere di pesante impatto ambientale, costruendo lunghi tratti di galleria artificiale paramassi in calcestruzzo armato (2008-2011), che hanno snaturato gran parte del caratteristico ambiente della falesia. Nonostante tali lavori il tracciato ciclo-pedonale è tuttora chiuso con ordinanza sindacale a causa della incompleta efficacia delle opere di presidio contro il pericolo di caduta massi.



A-B: la strada litoranea del Corno di Predore prima (2006) e dopo (2011) la costruzione delle gallerie paramassi;
C: protezioni divelte presso una delle gallerie artificiali; D: barriere elastoplastiche e tomo in terra armata





Assieme ai numerosi studi geologici che negli anni hanno riguardato molte parti del territorio tavernolese e gli ambiti più ampi che lo comprendono, come l'intero bacino lacustre e il contesto montuoso circostante, è necessario considerare che in Tavernola è tuttora attiva la concessione mineraria "Ognoli" per marna da cemento, che interessa un ampio settore a Nord dell'omonimo valzello e in pratica giunge fino al confine con Parzanica.

La coltivazione mineraria ha riguardato infatti anche la parte orientale di una paleofrana inpostata su strati rocciosi piegati e fratturati e, almeno in parte, con giacitura inclinata a franapoggio, cioè verso lago. Per tale motivo, nella seconda metà del secolo scorso l'avanzamento della coltivazione ha dovuto contemperare al ripristino delle condizioni di stabilità e alla messa in sicurezza di una parte del versante roccioso sul quale si erano manifestati cospicui fenomeni franosi (frana nel cantiere Ognoli del 23 dicembre 1970 e frana nel cantiere Scapioni del 25 marzo 1986). L'obiettivo è stato quello di ridurre il volume della massa potenzialmente instabile (*creep discontinuo*) mediante gradonatura del versante e asportazione della roccia allentata; al tempo stesso è stato installato un sistema di monitoraggio geotecnico che è stato adeguato ed implementato nel corso degli anni e che comprende estensimetri di superficie a filo, estensimetri multibase di profondità, pozzetti inclinometrici, una stazione meteorologica, misurazioni TDR, fino a giungere all'installazione di una stazione totale automatica (misure distometriche di precisione in continuo) con punti di misura interni ed esterni all'area soggetta a creep con particolare riguardo alla zona "Pinnacoli".

È stato quindi possibile osservare lo sviluppo del movimento franoso e provvedere alle necessarie misure di sicurezza, con allertamento di Protezione Civile nel momento in cui il dissesto ha raggiunto lo stato parossistico, il 22 novembre 2010. Sono seguiti interventi di sistemazione dell'area con rimozione del materiale franato e formazione di opere di consolidamento e difesa attiva e passiva lungo la bretella per Cambianica e su alcuni gradoni abbandonati della miniera. Il monitoraggio è tuttora continuo e i relativi dati sono presentati agli Enti preposti mediante rapporti mensili (Regione Lombardia e comune di Tavernola Bergamasca).



La frana nel settore Pinnacoli della miniera Ognoli il 23 novembre 2010 (a sinistra) e nel 2016 (a destra)



Propedeutica alla stesura della Carta dei Dissesti con Legenda Uniformata P.A.I., è stata la ricostruzione della cronologia di eventi di dissesto idrogeologico che hanno interessato il territorio di Tavernola Bergamasca condotta nell'ambito del presente lavoro di revisione della componente geologica del P.G.T. Mediante una ricerca d'archivio svolta presso lo S.Ter. di Bergamo, la consultazione del database dei dissesti di Regione Lombardia, l'estrazione di notizie dalla stampa provinciale (Eco di Bergamo, Araberara) e da alcuni libri di storia locale (*"Tavernola nel presente e nella storia"*, ARENA R., 1994; *"Storia locale: sorgenti e fontane di Tavernola Bergamasca"* – BETTONI P., 2013) e con una consultazione dell'archivio comunale, si è ampliato il già nutrito elenco di eventi contenuto nello *Studio dei Dissesti del Territorio Tavernolese* (GEO TER, 1997).

Data	Località	Evento	FONTE
12 luglio 1872	Cambianica	alluvione lungo strade di Cambuanica	COMUNE
1 febbraio 18989	sponda lago Gallinarga	frana muro strada a lago	COMUNE
3-4 marzo 1906	sponda lago centro di Tavernola Bergamasca	avvallamento Tavernola con arretramento della sponda di m 37 per un arco di m 250 circa: distrusse completamente o parzialmente numerosi edifici (villa Grasselli, abitazione farmacista, ufficio postale, il pontile, l'abitazione del parroco, l'attigua torre medioevale, casa sorelle Foresti, parte di casa Sorosina, casa Zenti, orto e filanda Capuani, l'intera contrada della Punta, le mura di casa Zatti, casa Foresti Vincenzo con la bottega del tabaccaio, casa Capuani con l'osteria, parte dell'orfanotrofio Cacciamatta), causando per altro la perdita di una sola vita umana. Gli avvallamenti sono di regola causati dall'eccessiva urbanizzazione della riva con occupazione di parte dell'area di pertinenza lacustre (spiaggia sommersa). Cause secondarie, ma certamente significative, sono la spinta esercitata dalle acque freatiche provenienti dalla zona a monte di Tavernola, a tergo della sponda, e le oscillazioni del livello lacustre. Il Salmoiraghi nella sua pubblicazione segnala la possibilità che vi sia stato un precedente avvallamento (anteriore al 1830) non segnalato da alcuna fonte storica, sulla base del riconoscimento nello spaccato del terreno di vecchi edifici parzialmente distrutti e sui quali sorgeva la parte di Tavernola sprofondata a lago nel 1906.	COMUNE, LIBRI STORICI
28-giu-15	zona Foppa, centro Tavernola e Moia	alluvione con trasporto di detriti zona Foppa con danni a strada a lago in località Moia, in via Pero tra il cimitero e la piazza del paese e nella zona tra il cimitero e Bianica e vicino a Nes	COMUNE
16-ott-19	sponda lago zona villa Sina	frana strada a lago per 27 metri di fronte a casa Poma (prima di villa Sina)	COMUNE
03-ott-23	ponte sul Rino	alluvione con danni a ponte stradale (rottura campata ponte) e strada Tavernola Cambianica (via Rino)	COMUNE
01-mag-26	ponte sul Rino	danni a ponte sul Rino per piena del torrente	COMUNE
02-nov-28	strada statale SS 469	avvallamento spondale	GNDICI
1938?	Casella	alluvione: segnalazione incerta	COMUNE
	Gallinarga	avvallamento spondale : segnalazione incerta, ma segni fisici ancora evidenti	COMUNE
estate 1948	ponte del Diavolo	alluvione con <i>"trasporto di detriti che ha determinato la parziale rottura del Ponte del Diavolo"</i> ; il materiale pare sia stato trasportato dalle acque incanalatesi lungo la mulattiera per Vigolo sul versante sinistro del torrente Rino e lungo il trozzo della Cavalla sul versante destro	COMUNE
05-ago-48	valle di San Giorgio	alluvione con <i>"ostruzione del tombotto sotto la strada Lovere-Sarnico; totale riempimento della valle con ingombro del vicolo servente le case, inghiaimento del prato in sponda destra per straripamento delle acque, scalzamento e pericolo di frana di tratto di muri di sostegno contigui alla valle"</i>	COMUNE



Data	Località	Evento	FONTE
02-ago-50	centro abitato di Tavernola e le frazioni di Bianica e Cambianica	<i>“Tutte le strade mulattiere e la carrozzabile per Vigolo e tutte le strade interne a Tavernola e alle frazioni del comune ne furono sconvolte. Profonde erosioni del fondo stradale alle volte di oltre 3 metri di profondità, selciati totalmente divelti, muri di sostegno e controriva travolti, frane, tombinature otturate o addirittura asportate per qualche tratto, questo il triste bilancio del sinistro che ha colpito il Comune di Tavernola”</i> . I danni si sono verificati per quanto è dato di ricostruire lungo la strada di Negrignana sino a Nesse, lungo la strada di Mondara sino a Nesse, lungo la strada da Nesse a Cortinica, da qui a Bianica, da Bianica alla Foppa, da Foppa a S.Pietro, in tutto il centro storico (via Mulini, via degli Orti, via della Chiesa, etc.), in via Calchere, a Cambianica (via Calunghe, strada del Frassino, strada degli Ognoli etc.) e nei pressi del Ponte del Diavolo.	COMUNE, S.TER. AVI
19-mar-54	versante destro valle del Rino a monte del ponte del Diavolo	la frana (staccatasi circa 70 m a monte dal Ponte del Diavolo) ha parzialmente riempito la valle sottostante; <i>“si tratta di alcune centinaia di mc di terra e pietrame”</i> e la frana presenta <i>“larghe fenditure ai margini”</i> ; si ipotizza una possibile occlusione d'alveo con elevato trasporto solido in seguito ad un evento di piena	COMUNE
10-mag-55	sponda a lago villa Sina	segnalazione cedimento strada	COMUNE
apr-57	Tavernola centro	esondazione del torrente Rino nell'abitato di Tavernola Bergamasca con <i>“allagamento di cantine, corrosione di muri di sponda e fondazioni di fabbricati di via Valle”</i> . Nella relazione si citano anche <i>“eccezionali precipitazioni dell'estate 1956”</i> ;	COMUNE, S.TER., Eco di Bergamo
1962	sponda lago villa Sina	avvallamento spondale	COMUNE, LIBRI STORICI
01-ago-63	via de Bas - sorgente Roggino	temporali con acqua e detriti; intasamento tombini e crollo muro in via de Bas sotto casacata Roggino	COMUNE
1964	sponda lago villa Sina	avvallamento spondale	COMUNE
1964	sponda lago piazzale Predello	avvallamento spondale	COMUNE
1968	sponda lago villa Sina	avvallamento spondale	COMUNE
23-dic-70	miniera Ognoli	frana in località Pozza	COMUNE, S.TER., ECO DI BERGAMO
1972	sponda lago Moia	avvallamento spondale	COMUNE
13-mar-80	torrente Rino	alluvione; danni a soglie e briglia torrente Rino	COMUNE, S.TER.
12-ago-80	sponda lago Predello	smottamento a lago piazzale Carabinieri	COMUNE, S.TER.
26-giu-82	via Pozzo e via S.Rocco a Cambianica; via Chiese e via Mulini a Tavernola, via Moia e val Negrignana presso acquedotto sorgente Burù	intense precipitazioni hanno provocato danni. In particolare viene segnalato l'accumulo di detriti (trasporto solido del torrente) nella frazione di Cambianica, in via Moia e presso la sorgente Burù	COMUNE
31 agosto/ 1 settembre 1983	Tavernola centro - cimitero	nubifragio, danni fognatura e acquedotto via Molini-cimitero di San Pietro relazione geol. Spada e prog. Ing. Onofri con canali di gronda	COMUNE, S.TER.
19-mar-84	Casella	smottamento strada a lago	S.TER.
15-mar-86	cantiere Scapioni	frana in roccia che interessa la strada SS469 tra km 12,800 e km 13,000	COMUNE, S.TER.



Data	Località	Evento	FONTE
02-lug-90	valle Negrignana, valle Mondara, Cortinica, villaggio Bone, Bianica, Piazzone-Foppa, via S. Rocco, Cambianica, centro di Tavernola	<p>precipitazioni intense e torrenziali (178 mm in 24 ore alla stazione di Tavernola Bergamasca) provocano danni ingenti sul versante idrografico destro della valle del Rino:</p> <ul style="list-style-type: none"> - zona Negrignana: danni alla tubazione dell'acquedotto proveniente dalla sorgente Burù; - zona Cortinica: ostruzione del tombotto lungo la strada per Negrignana circa 100 mc di materiale; frana di strada, muri di sostegno e fognatura per un tratto di circa 120 m immediatamente a valle del tombotto; ostruzione con materiale ed allagamento del cantinato "Villaggio Bone"; - zona Bianica: ostruzione del valzello detto "Trozzo della Cavalla", frana del parcheggio ubicato su un terrapieno, ostruzione della strada con materiale; - zona Pizzone - Foppa: ostruzione strada detta "Trozzo degli Scapoli" e danni alla rete fognaria; - zona S.Rocco: danni alla rete fognaria e a muri di sostegno stradali; - zona Cambianica: completo dissesto della rete fognaria nei pressi della zona artigianale ed in località Rinaldi con danni al manto bituminoso stradale in via chiesa S.Michele e piazza S.Michele; strada pedonale tra Tavernola e Cambianica dissestata; - centro di Tavernola: danni a muri di sostegno stradali lungo via S.Pietro e alla tubazione fognaria lungo la stessa via; inghiaamento del tratto terminale del torrente Rino con ostruzione del ponte lungo la strada statale 469 Sebina Occidentale ed esondazione del torrente. <p>I danni più ingenti si sono registrati nella zona di Cortinica e paiono associati a insufficienti dimensionamenti di manufatti, anche se l'eccezionalità dell'evento piovoso deve essere tenuta in considerazione. Per l'occasione viene segnalato dal prof. Mario Govi del G.N.D.C.I. del C.N.R. di Torino che "l'alveo del torrente Rino appare diffusamente sconvolto anche nel suo tronco intermedio; depositi di materiale anche molto grossolani si alternano a tratti contraddistinti da forti processi erosivi" e che "durante la piena una notevole quantità di detriti e tronchi d'albero trascinati dalla corrente si è ammassata sotto il ponte della S.S.469 e sul suo lato di monte provocando un totale impedimento al deflusso delle acque che si sono riversate lateralmente e sopra il ponte stesso" (sopralluogo del 9 agosto 1990). Proprio a causa di questa situazione, viene affermato e verbalizzato che "in occasione di piene future il pericolo per la pubblica incolumità può essere considerato molto elevato". Infine vengono invitati "tutti gli enti competenti ad avviare con somma urgenza ogni iniziativa per dare sicurezza all'abitato di Tavernola e alle frazioni attigue"</p>	COMUNE, S.TER., GNDICI
giu-93		danni di entità ridotta a strade ed opere pubbliche	COMUNE
lug-93	Trozzo degli Scapoli	segnalazione ostruzione con legna e materiale	COMUNE, S.TER.
23-ago-93	sponda e strada a Tavernola di fronte a sbocco sorgente Roggino	avvallamento a Tavernola di parte della strada statale e della parte frontale di alcune abitazioni in corrispondenza dello sbocco della sorgente Roggino	COMUNE, S.TER.
04-mag-94	sponda lacustra Moia	erosione spondale lungo il piazzale antistante la caserma dei carabinieri	COMUNE
26 - 28 giugno 1995	Vasso	frana strada a testata valle Negrignana presso strada Negrignana Vasso	COMUNE, S.TER.
01-gen-96	strada provinciale n.78 km 0.4	caduta massi	COMUNE, S.TER.
04-apr-96	strada statale SS 469	caduta massi sulla strada poco a Nord dell'imbocco della galleria del Corno di Predore	COMUNE, S.TER., ECO DI BERGAMO



Data	Località	Evento	FONTI
27-giu-97	torrente Foppi (Parzanica), valle delle Tombe (Vigolo), valle Negrignana (confine tra Vigolo e Tavernola Bergamasca	precipitazioni intense e torrenziali (maggiori a 100 mm in 12 ore alla stazione di Tavernola Bergamasca) provocano frane nei bacino idrografici	COMUNE
30-gen-03	sponda lago sorgenet Roggino	cedimento stradale zona avvallamento 1993	COMUNE, ECO DI BERGAMO
20-giu-04	Moia	caduta massi sig. Rebellato F e Olini M.R.	COMUNE, S.TER.
20 giugno 2008	torrente Rino, sorgente Milesi	frana con danni all'acquedotto comunale	COMUNE, S.TER.
22-nov-10	minera Ognoli Pinnacoli	frana che interessa la bretella per Cambianica	COMUNE, S.TER.
19-20 maggio 2012	strada- ciclovia Corno di Predore	caduta massi	ECO DI BERGAMO
23-mar-15	via Sarnico 9	segnalazione caduta massi	COMUNE, S.TER.



Documenti storici e rappresentazioni di alcuni dissesti del territorio tavernolese

- A) Frana lungo il lago del 16 ottobre 1919 (Archivio storico comunale)
- B) Rappresentazione dell'avvallamento di Tavernola del 1906 (affresco Madonna di Cortinica)
- C) Alluvione su Tavernola del 1950 (affresco Madonna di Cortinica)



5. QUADRO DEL DISSESTO CON LEGENDA UNIFORMATA P.A.I. (cfr. tavola 6)

Regione Lombardia recentemente (29.04.2016) ha espresso parere positivo sulla *Proposta di Revisione della Cartografia P.A.I.* (GEO TER, 2015) che è dunque interamente ripresa nell'ambito del presente lavoro, con un maggiore dettaglio per i «*conoidi coalescenti di Predella*», come richiesto.

5.1 PREMESSA

I sopralluoghi sul terreno effettuati tra agosto e settembre del corrente anno per verificare in via preliminare anche la congruità delle classificazioni e delle perimetrazioni contenute nella “*Carta Geomorfologica con Legenda Uniformata P.A.I.*” (tavola n.8 dello Studio geologico a supporto del P.G.T. - GEO.TE.C., 2010) hanno permesso di riscontrare in tale cartografia numerose e significative difformità rispetto alla reale situazione sul terreno e rispetto alla precedente analisi dei dissesti P.A.I. (“*Quadro del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I.*” – GEO TER, 2002).

In linea generale si osserva anche un certo scostamento tra quanto riportato sulla cartografia comunale e gli elementi georeferenziati cui si accede dal portale telematico di Regione Lombardia; ciò avviene a causa del trasferimento dei dati geometrici/topografici dal sistema di riferimento Gauss-Boaga al sistema WGS84. In alcuni casi l'errore interessa abitazioni e fabbricati, che per effetto di ciò risultano in parte collocati all'interno di aree in dissesto. È dunque necessaria una nuova perimetrazione effettuata direttamente sulla base del nuovo sistema di riferimento ufficiale di Regione Lombardia (WGS84), che permetta una miglior definizione dei tematismi P.A.I. di pericolosità geologica.

Considerando gli elementi lineari (come quelli della pericolosità da esondazione dei corsi d'acqua), si nota che l'attuale cartografia P.A.I. sottostima la pericolosità di alcuni rami o alcuni tratti del Reticolo Idrico Minore, assegnando loro delle classi di minore pericolosità (“Eb” ed “Em”) rispetto a quanto si rileva in realtà. A qualsiasi alveo torrentizio, infatti, nel momento in cui esso è rappresentato come elemento lineare, non può altro che essere assegnata la categoria di pericolosità da esondazione molto elevata (“Ee”), per il solo fatto che, attivandosi un deflusso idrico (anche temporaneo), questa categoria non può mancare, mentre le fasce laterali a pericolosità minore possono non essere presenti o non essere rappresentabili mediante l'elemento lineare.

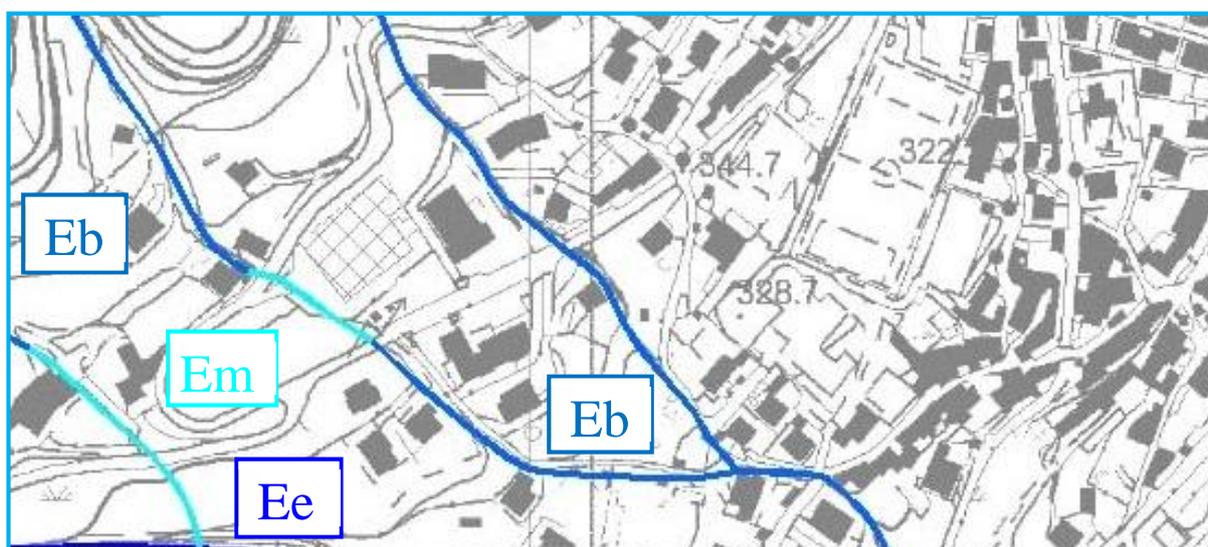
Per altre categorie (ambiti di conoide e di frana quiescente) l'attuale carta P.A.I. riporta anche forme di dissesto che non esistono. Ad esempio, sono indicate estese aree di “frana quiescente” che in realtà corrispondono a superfici in cui il soprassuolo boschivo si trova in forte degrado: effettivamente ciò può rappresentare una delle condizioni perché il versante venga a trovarsi in situazione di potenziale dissesto, ma tale situazione non può essere classificata come “frana quiescente” nell'ambito del P.A.I.

Per quanto concerne i dissesti franosi che si esplicano come forme di caduta di massi isolati, gli stessi funzionari di Regione Lombardia competenti in materia ritengono che sia opportuno individuare e circoscrivere con maggior dettaglio sulla carta i punti di distacco, segnalando i siti di dissesti storicamente documentati e quelli individuati mediante studi di dettaglio, piuttosto che ricorrere ad una rappresentazione areale, da riservare solamente a quei casi in cui vi sia una densità significativa di distacchi puntiformi. Nel campo delle forme di dissesto franoso di questo tipo non si ritiene nemmeno opportuno comprendere i fronti di coltivazione mineraria a cielo aperto, i quali, proprio per loro natura e permanendo in stato di concessione attiva, oltre ad essere presidiati e governati da apposite norme di polizia mineraria, possono essere soggetti a variazioni per effetto di ulteriori



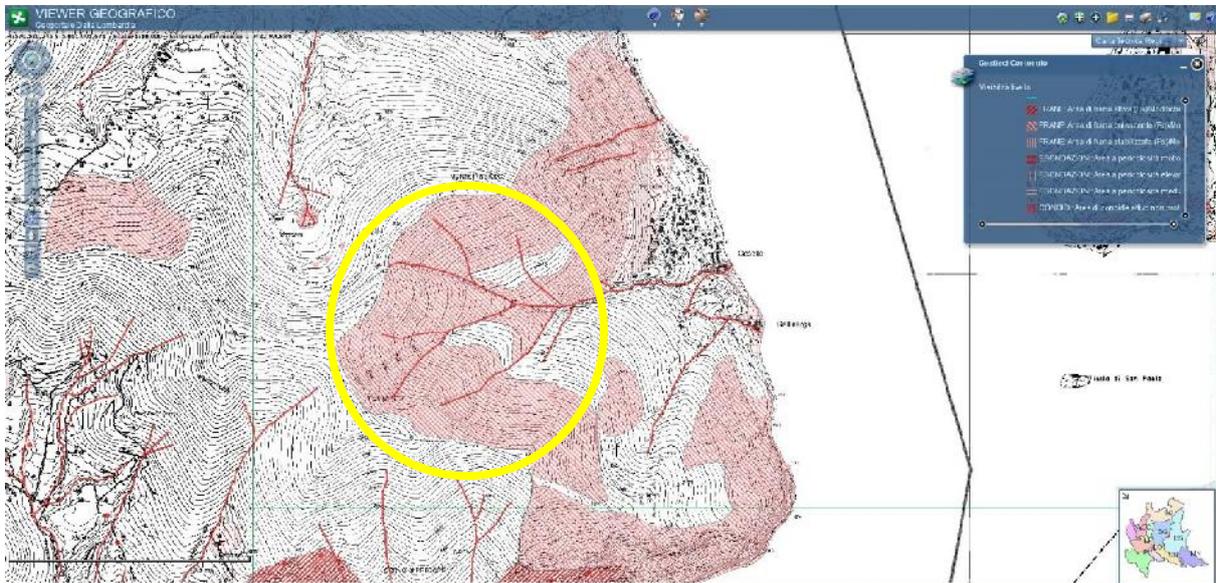
coltivazioni e quindi non possono essere complessivamente e genericamente ascritti a forme di dissesto franoso per caduta di massi.

Nell'attuale cartografia P.A.I. di Tavernola Bergamasca, un'altra rappresentazione che non si ritiene conforme e che deve essere modificata (soprattutto negli ambiti di conoide che interessano i centri abitati) è quella che pone il limite della classe di pericolosità più restrittiva (inedificabile) lungo l'allineamento degli edifici e dei tetti, in modo da "salvare", per così dire, le case e la possibilità di ulteriori operazioni edilizie, riducendo in modo surrettizio gli ambiti di pericolosità rispetto alla situazione definita nel 2002 ("Quadro del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I." - GEO-TER, 2002) e al reale (vedasi il tratto terminale del Rino). Complessivamente il quadro geomorfologico del P.A.I. descritto dall'attuale cartografia (GEO-TE.C., 2010) all'interno dei centri abitati determina una sottovalutazione della pericolosità dei dissesti, cui corrisponde una diminuzione, solo in parte giustificabile, delle aree in classe 4 di fattibilità rispetto alle attribuzioni che deriverebbero dall'applicazione della tabella n.2 dei Criteri regionali - D.G.R. n.IX/2616 del 30.11.2011).

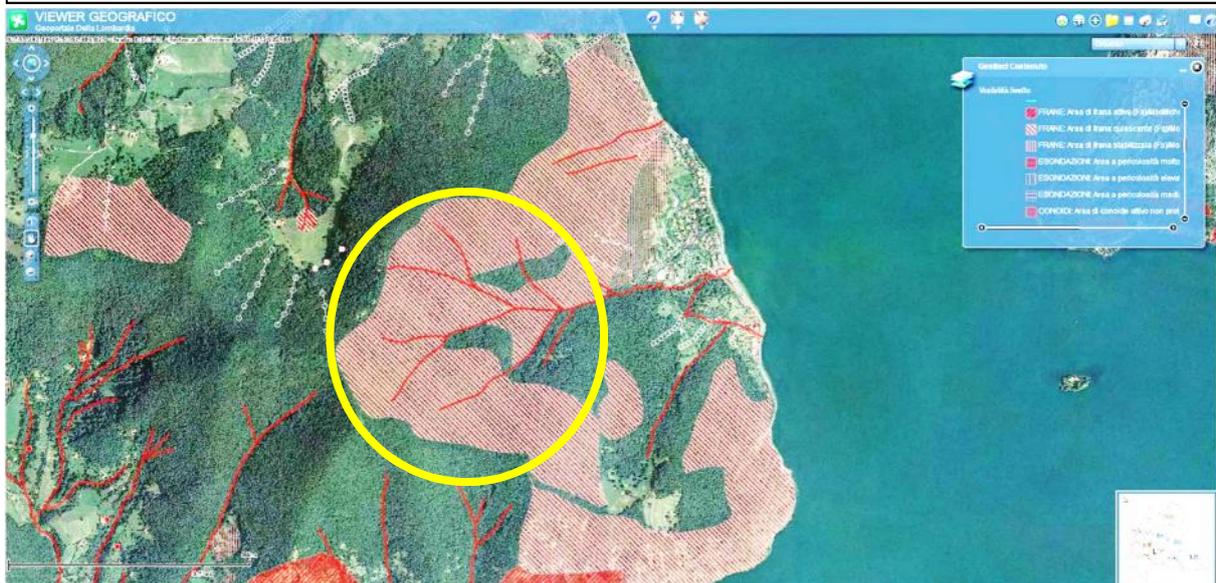


Rappresentazione di elementi lineari di pericolosità da esondazione torrentizia "Ee", "Eb" ed "Em" della attuale carta P.A.I. nella zona di Cambianica; in alto su Carta Tecnica Regionale, in basso su ortofoto da GeoPortale (tra l'altro si noti l'estrema difficoltà di lettura degli elementi lineari sul GeoPortale).

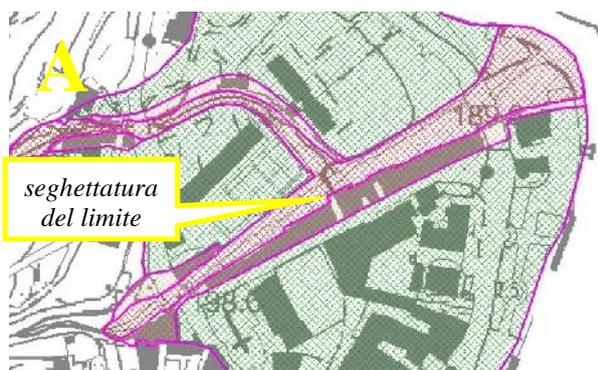
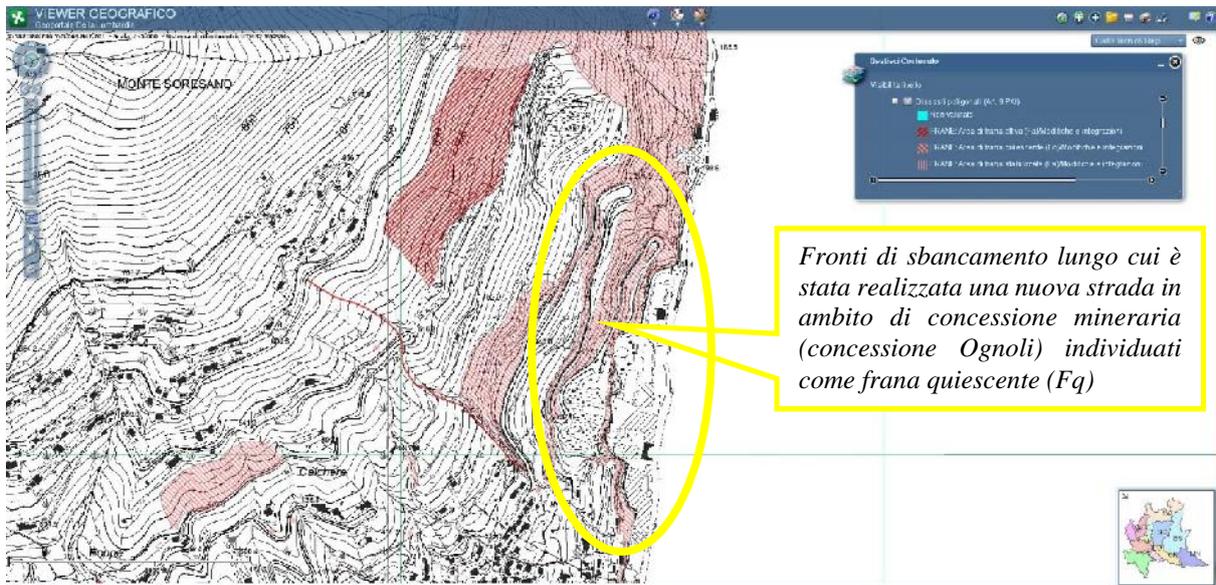




Rappresentazioni su C.T.R. (in alto) e su ortofoto (in basso) estratte dal geo-portale di Regione Lombardia: sono indicate estese aree di frana quiescente (Fq) nel bacino della valle delle Pertiche, mentre in realtà si tratta molto più modestamente di degrado del patrimonio boschivo o di forme minori lungo i torrenti.



Nello studio della componente geologica a supporto del P.G.T. (GEO.TE.C., 2010) l'aggiornamento del P.A.I. è rappresentato solamente mediante una tavola grafica e manca nella relazione un apposito capitolo illustrativo; infatti vi si trova scritto solo che «*la descrizione degli aspetti relativi alla sismicità, ai vincoli ed alla carta di sintesi è contenuta nella presente Relazione Illustrativa (Elaborato A) mentre le normative conseguente è contenuta nelle Norme Geologiche di Piano (Elaborato B)*», ma manca un'argomentazione delle modifiche introdotte alle classificazioni del P.A.I.



A) limite conoide attiva (Ca) e conoide parzialmente protetta (Cp) lungo il tratto terminale del torrente Rino nella cartografia P.A.I. vigente (GeoTe.C., 2010); B) fotografia reale del torrente Rino.

L'osservazione vale anche per a Carta dei Vincoli dove, rispetto alle classi del P.A.I., si dice solamente che “*si tratta delle aree individuate in questa sede in riferimento alle indicazioni contenute nella d.g.r. 28 maggio 2008 n. 8/7374 in aggiornamento al quadro del dissesto relativo agli Allegati 4.1 e 4.2 all’Elaborato 2 del PAI. Per la descrizione delle aree e della relativa normativa di riferimento si rimanda all’Elaborato B – Norme Geologiche di Piano.*”. Le sole descrizioni dei dissesti P.A.I., per altro incomplete, si trovano all’interno del capitolo relativo alla Carta di Sintesi, dove le definizioni sono esaurienti, ma i riferimenti al territorio, soprattutto riguardo alle forme franose e ai dissesti dei corsi d’acqua, sono spesso carenti.

I Funzionari di Regione Lombardia, Ente cui compete la valutazione delle classificazioni P.A.I., in un recente incontro (9 settembre 2015), richiesto appositamente per esaminare collegialmente questa problematica che riguarda il Comune di Tavernola Bergamasca, esaminate nel dettaglio le varie situazioni (dissesti per fenomeni torrentizi, franosi e di conoide) hanno indicato la possibilità di ridefinire le perimetrazioni P.A.I. senza dover ricorrere a specifici studi di approfondimento puntuale, ma chiarendo le motivazioni che determinano le variazioni proposte. Ciò è in accordo anche con le disposizioni contenute nella D.G.R n.IX/2616 del 30.11.2011 - “*Aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio*”.



5.2 ARTICOLAZIONE DEL LAVORO

Per offrire una descrizione più chiara del quadro del dissesto del territorio tavernolese secondo le classificazioni P.A.I., qui di seguito sono descritte le varie forme presenti sul terreno, suddividendole secondo la loro tipologia, evidenziandone le caratteristiche che portano alla nuova proposta di Carta Geomorfologica con Legenda Uniformata P.A.I.

Per meglio definire il grado di attività di ciascuna forma di dissesto, si sono confrontate diverse fotografie aeree storiche (volo GAI 1955, voli effettuati dal 1989 al 2015 per Regione Lombardia o altri Enti), si sono condotti ulteriori rilevamenti sul terreno e si è sono utilizzati i risultati di un'indagine di Regione Lombardia eseguita con interferometria radar da satellite.

Visto il frequente uso di dati ripresi tali e quali dai portali informatici, è qui opportuno sottolineare come nell'ultimo aggiornamento dei Criteri regionali sia chiaramente specificato che *«i dati contenuti nel Geoportale regionale, applicativo GeoIFFI – Inventario delle frane e dei dissesti idrogeologici, costituiscono la base di partenza per i successivi approfondimenti per i territori collinari e di montagna e non possono essere considerati sostitutivi acriticamente (in termini areali e di attività) dell'analisi geomorfologica diretta»*. Lo stesso si deve dire anche della banca-dati "IFFI" cui si accede dal sito di ISPRA, mediante la piattaforma "SINANet", che pure deriva dalla banca dati regionale.

La Carta Geomorfologica con Legenda Uniformata P.A.I. frutto del presente studio è redatta sulla base della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 (C.T.R.), il cui aggiornamento è stato effettuato da Tavernola Bergamasca mediante una recente acquisizione aerofotogrammetrica (2010), secondo le specifiche di Regione Lombardia.

-----000000O000000-----

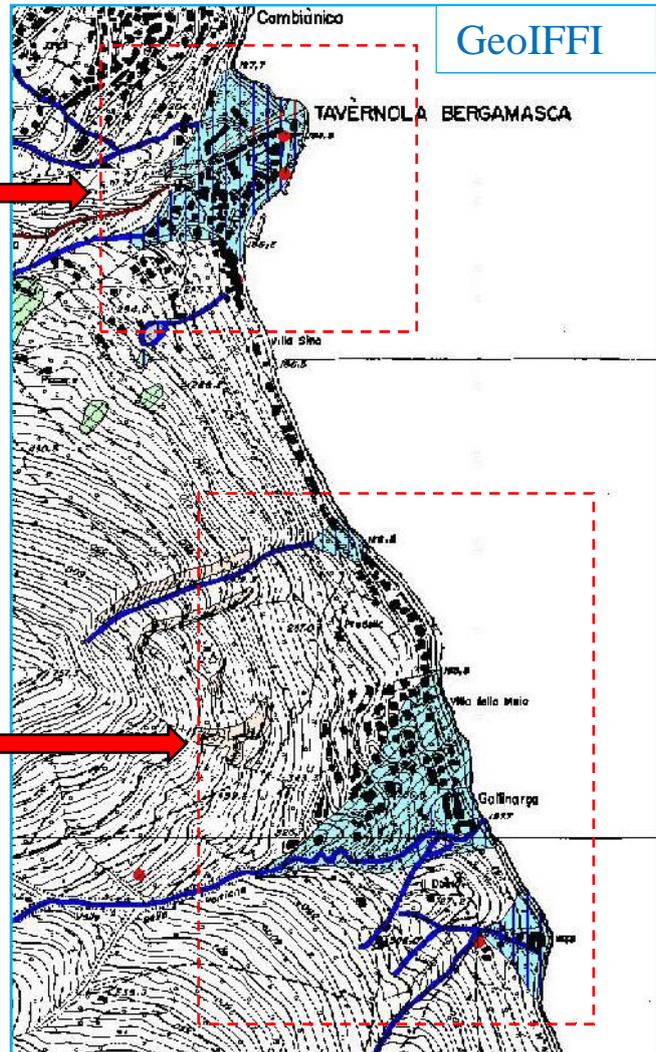
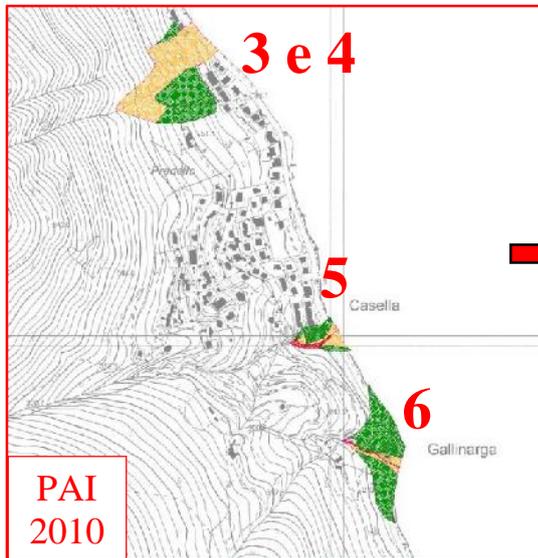
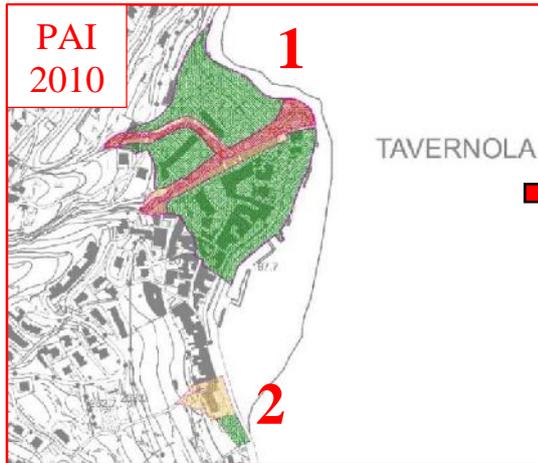
CONOIDI

Si tratta di depositi alluvionali con tipiche morfologie convesse, che si aprono "a ventaglio" allo sbocco delle valli tributarie nell'asta principale o, come nel nostro caso, nel bacino lacustre. La loro attività si può manifestare con colate detritiche, esondazioni e divagazioni dell'alveo.

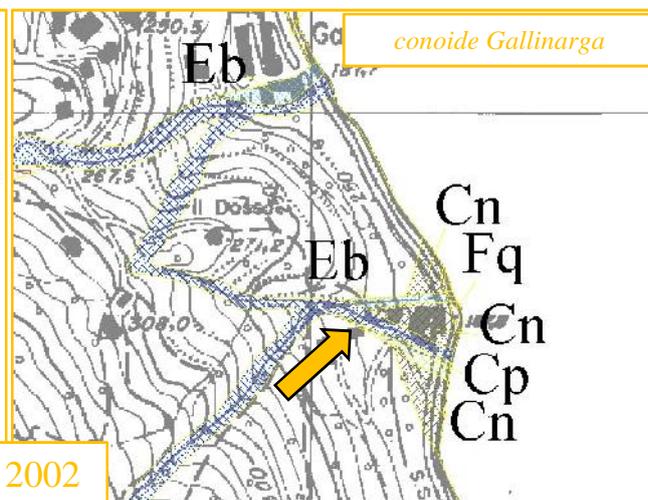
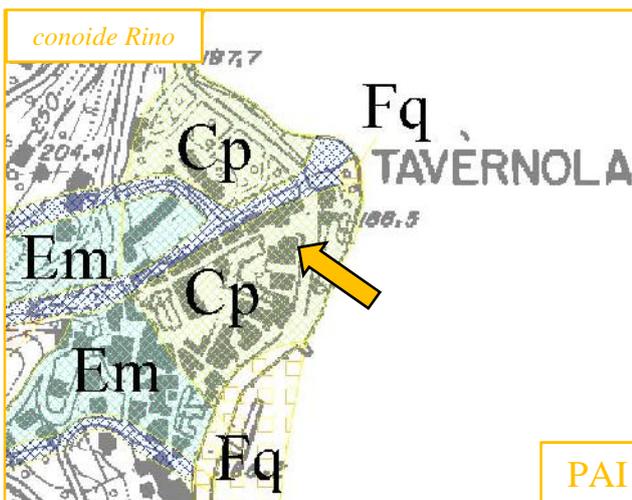
Nella Carta Geomorfologica con Legenda Uniformata P.A.I. di Geo.Te.C. (2010) sono indicate sei conoidi: la più grande è allo sbocco del Rino nel Sebino in corrispondenza del centro abitato di Tavernola (1), un'altra è quella del Roggino o Rosino, dietro villa Fenaroli (2), altre due sono quelle coalescenti di Predello (3, 4), una quella di Casella (5) e infine quella di Gallinarga (6).

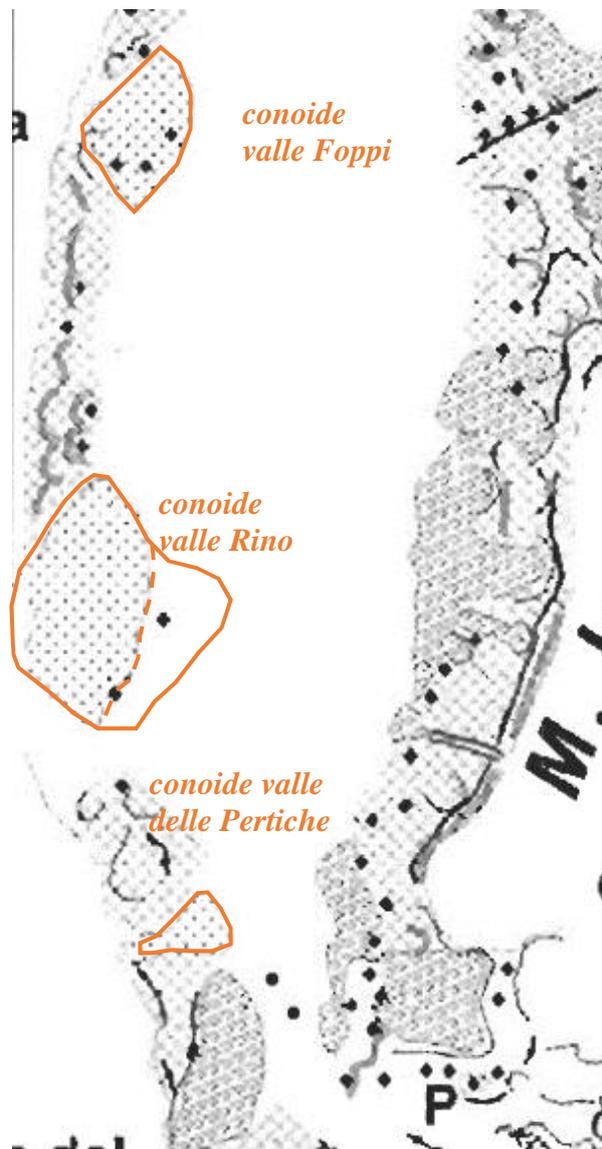
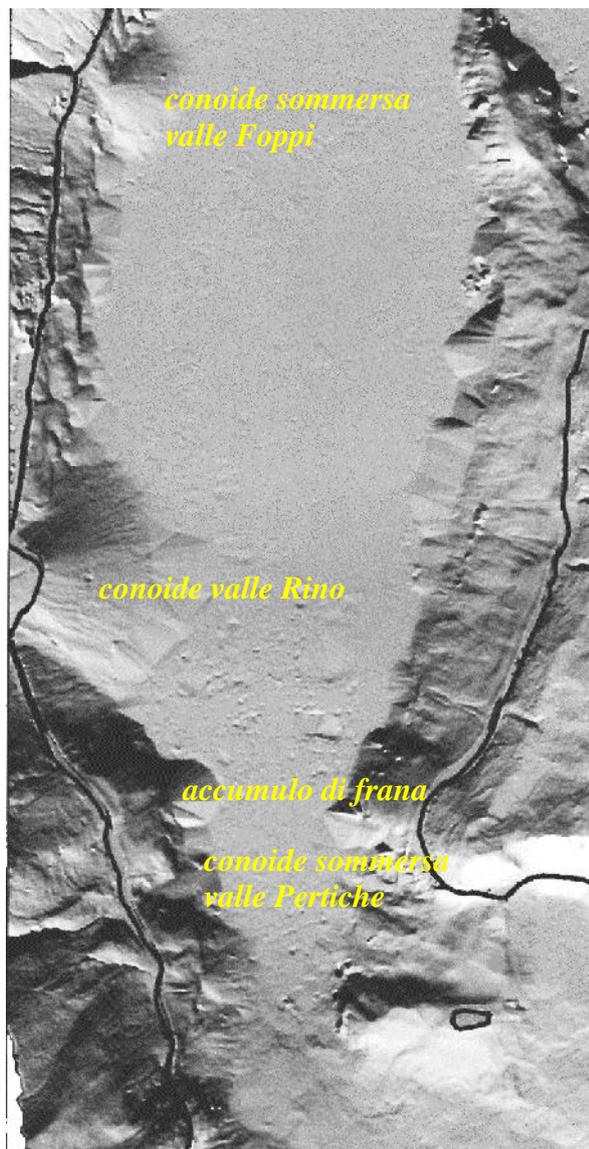
Le perimetrazioni P.A.I. di GeoTe.C. sono in parte sovrapponibili a quelle di GeoIFFI, ma sono molto diverse rispetto a quelle del precedente studio di aggiornamento del P.A.I. di Tavernola Bergamasca (GeoTer, 2002).

Per cogliere appieno la presenza di queste morfologie e valutarne il loro stato di attività e il conseguente grado di pericolosità bisogna riconoscere che nel territorio tavernolese, pur essendo tutte a lago, vi sono conoidi di diversi tipi.



Conoidi di Tavernola Bergamasca: a sinistra quelle del P.A.I. tratte dallo studio GeoTe.C. (2010), a destra quelle indicate nella cartografia "GeoIFFI" di Regione Lombardia





	Scarp edge		Fan-delta deposits
	Slide crown		Landslide accumulations
	Trench		Slope affected by gravitational process
	Counterslope		

Immagini tratte da "Morphology and geological setting of Iseo Lake (Lombardy) through multibeam bathymetry and high-resolution seismic profiles" –BINI A. ET. AL, 2007: a sinistra modello della batimetria del fondo (la riga nera rappresenta la linea di costa); a destra carta geomorfologica con legenda.

Posto il fatto che a Tavernola il lago ha la sua profondità maggiore (circa duecentosessanta metri), occorre evidenziare che alcuni Autori, avvalendosi dei rilievi batimetrici condotti sul Sebino da Regione Lombardia (2003), hanno notato che le conoidi che toccano il fondo lacustre ("conoidi di lago") e il cui apice emerge al di sopra della linea di costa devono avere a monte bacini idrografici di notevole estensione, onde ricevere un volume di sedimenti tale da poter costruire apparati che si



elevano per oltre duecentocinquanta metri (BINI A. ET ALII, 2007). Nel territorio di nostro interesse tali condizioni sono soddisfatte solo per la conoide del Rino; infatti gli edifici di altre conoidi allo sbocco a lago di bacini minori, come la valle dei Foppi (Parzanica) e le valli delle Pertiche e di Gallinarga (Tavernola), sono completamente sommersi.

Per la conoide del Rino restano valide le classi di pericolosità e le suddivisioni dei vari ambiti di *conoide attiva non protetta (Ca)*, *conoide parzialmente protetta (Cp)* e *conoide protetta (Cn)* indicate nella cartografia Geo.Te.C. (2010) e che derivano da un'analisi geomorfologica specifica degli studi di dettaglio (classi H1-H5 nella carta di sintesi); la sola modifica riguarda una più precisa delimitazione dell'ambito di conoide attiva non protetta, riportata in base all'andamento effettivo delle sponde del torrente e non secondo il profilo planimetrico dei tetti degli edifici che vi si affacciano. Sebbene con parziali correzioni, al suo interno sono state mantenute le suddivisioni di pericolosità individuate anche dallo studio Geo.Te.C. (2010) e riportate nella Carta di Sintesi.

Gli alvei a valle della frazione Cambianica (a Nord del Capoluogo) si gettano nel lago con pendenze elevate, incisi in roccia e talora modificati dallo sviluppo dell'adiacente attività mineraria (marna da cemento); essi non hanno alcuna possibilità di sedimentare sulla sponda lacustre il loro eventuale trasporto solido. Nel settore a Sud del centro di Tavernola e soprattutto tra Predella e Gallinarga, invece, l'azione glaciale quaternaria e la presenza di una spiaggia comportano una netta riduzione di pendenza degli alvei, qualche decina di metri prima che essi raggiungano il lago, ed è questo il motivo per cui ha potuto formarsi la piccola conoide di Gallinarga, che non poggia sul fondo lacustre.

Questa conoide è alimentata da un torrentello che scende dalla zona di "Case il Monte" e che presenta deflussi significativi solamente in occasione di piogge temporalesche. Tra l'altro, una parte del drenaggio del compluvio è intercettato dalla strada presso il Dosso e deviata a confluire nella valle delle Pertiche; ciò comporta una riduzione del deflusso idrico nel tratto finale della valle di Gallinarga, anche se, trattandosi di deviazione non ben strutturata, tutta l'acqua potrebbe riprendere il suo corso normale durante un evento di piena. All'apice della conoide talora il torrente divaga sulla destra o esonda sulla stradina che accede alla contrada, come avvenne nel 1948, quando ancora non era stata fatta la deviazione di cui si è detto.

Anche per la conoide di Gallinarga i vari ambiti di pericolosità (classi H1-H5) e di attività restano all'incirca quelli definiti da Geo.Te.C. (2010), con la sola differenza dell'inserimento in ambito di *conoide parzialmente protetta (Cn)* anche della stradina della frazione, come già era nello studio precedente (GeoTer, 2002).

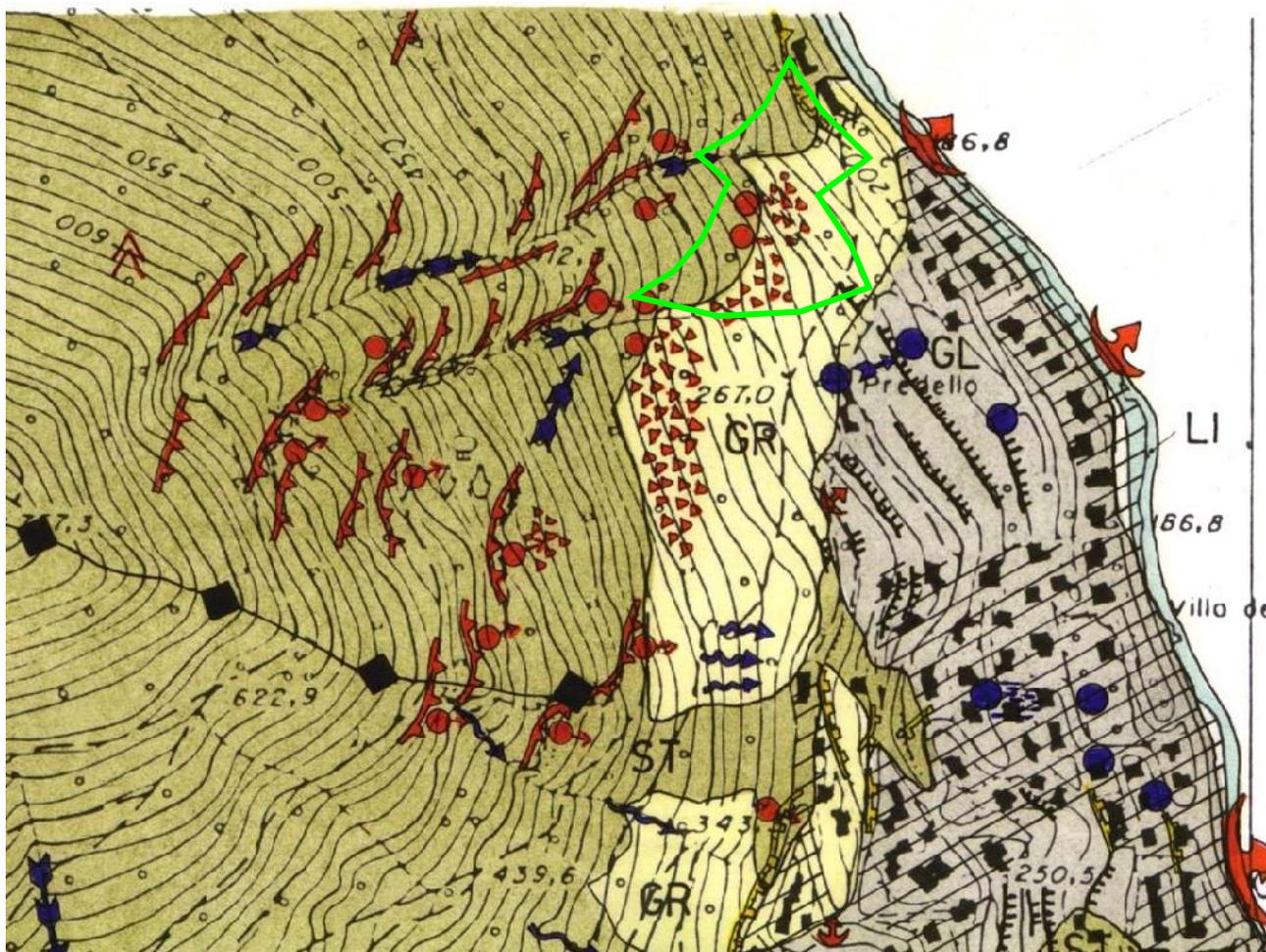


A) bacino sotteso dalla conoide di Gallinarga con la deviazione delle acque raccolte dalla strada; B) la conoide di Gallinarga: l'accumulo appoggia sulla spiaggia lacustre coprendola in modo evidente.





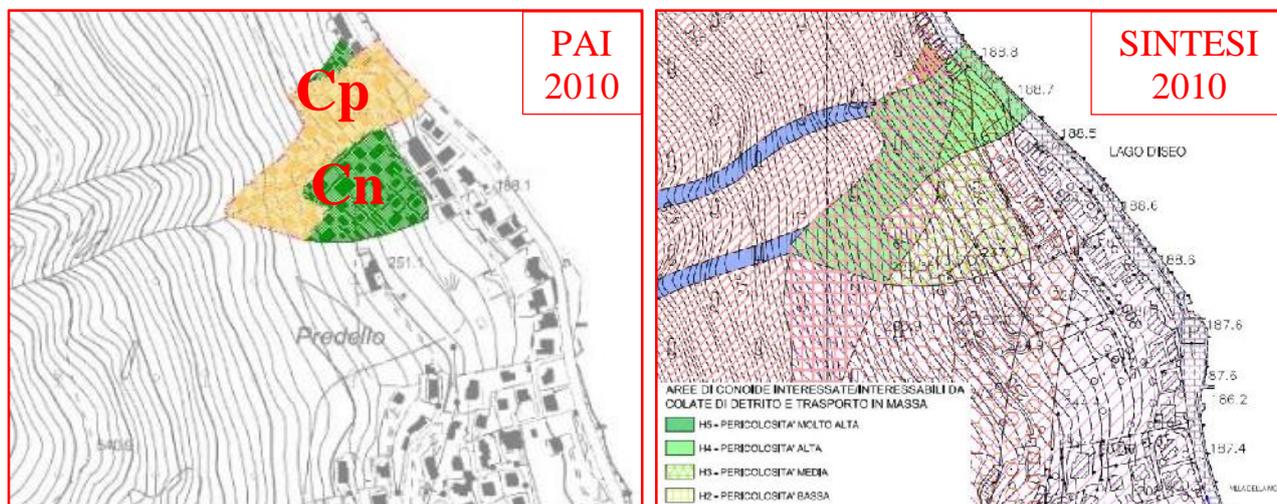
Le conoidi indicate nella zona di Predella sono forme connesse più ad attività gravitativa che alla dinamica alluvionale, come lo è tutta la fascia detritica a monte di questa contrada e di Moia, a causa del frequente distacco di blocchi e sassi dalle rupi soprastanti; però la falda detritica è solcata e rimaneggiata dall'acqua che si raccoglie durante le piogge intense in due piccoli e corti impluvi. Per tale motivo è possibile riconoscere anche queste forme come conoidi, definendone la parte distale, in un caso a ridosso delle case di via Predella e nell'altro, quello più a Nord, fino alla sponda lacustre, dove vi sono opere di difesa della strada e dell'alveo (reti antierosione e gabbioni). Di conseguenza, anche le classi di pericolosità (H1-H5 nella carta di sintesi) sono qui adeguate a tale aggiustamento del perimetro e riconfermate, mentre cambiano e sono attribuite in modo corretto, in accordo con la tabella 2 dei Criteri della d.g.r IX/2616 del 30 novembre 2011, le voci *conoide attiva* (Ca) e *conoide protetta* (Cn).



Estratto della Carta Geomorfologica di supporto al PRG di Tavernola Bergamasca (GEOTER, 1994) con la fascia di detriti in parte attivi a monte di Predello (GR). Nella parte settentrionale dell'area si notano i due impluvi con simbolo di erosione lineare accelerata (freccia blu) a cui sono associati i debris flow che creano le due conoidi coalescenti individuate da GeoTe.C. nel 2010 (in verde); la caduta massi e l'attività gravitativa di accumulo di detriti è preponderante rispetto all'accumulo per trasporto su conoide.

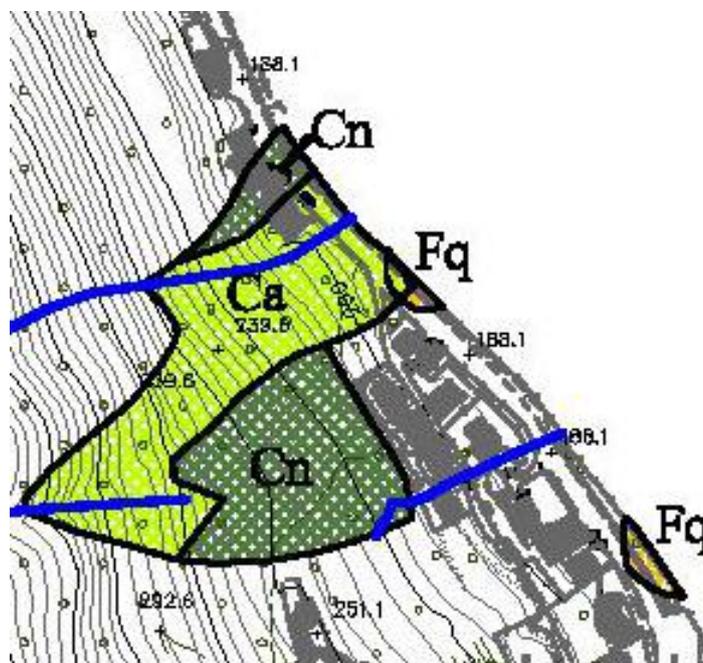


Nel 2010 l'assegnazione di queste conoidi alle categorie "Cp" e "Cn" derivava dalla pericolosità attribuita ad esse nella Carta di Sintesi, dove alla classe di rischio H4 (pericolosità alta) si faceva corrispondere erroneamente "Cp" e alla classe di rischio H3 (pericolosità media) "Cn".



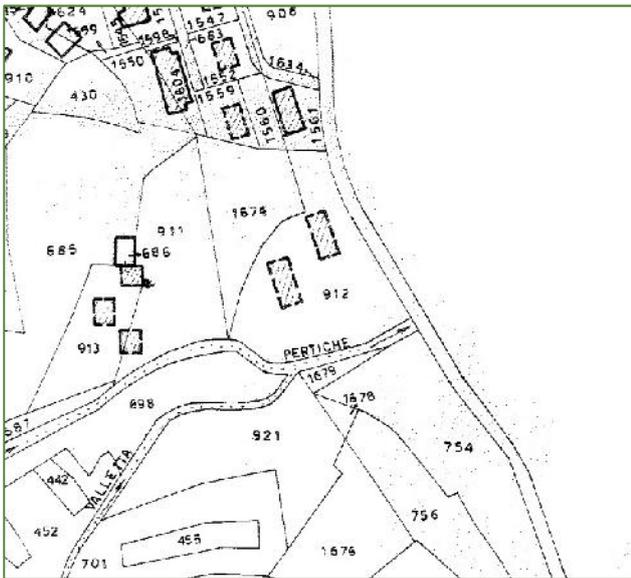
Dunque non si tratta solamente di un aggiustamento del perimetro delle classi delle conoidi, ma della necessità di far corrispondere alle corrette classi di pericolosità le giuste voci di legenda P.A.I., specificate nella tabella 2 dei Criteri della d.g.r 30 novembre 2011 n. IX/2616, ora vigente, e nella d.g.r. 28 maggio 2008 n. 8/7374, alla quale la revisione P.A.I. del 2010 avrebbe dovuto riferirsi. Infatti le parti di conoide in classe di pericolosità H4 (come nel caso in esame) devono essere riconosciute come «conoide attiva non protetta» (Ca), mentre quelle in H3 possono essere «conoide parzialmente protetta» (Cp) o «conoide protetta» (Cn), comunque con adozione della norma più restrittiva del P.A.I. nel caso di "Cp".

Le caratteristiche delle conoidi coalescenti di Predella e in particolare delle loro parti distali e/o laterali, che si trovano in classe di pericolosità H3, consentono di riconoscere tali morfologie come «conoide protetta» (Cn). Ne consegue che nella tavola di revisione del dissesto con legenda informata P.A.I., sulle quale Regione Lombardia ha espresso parere positivo (prot. 3655 del 29.04.2016), la classificazione è corretta e quanto viene chiarito in queste righe ne illustra esplicitamente le motivazioni.





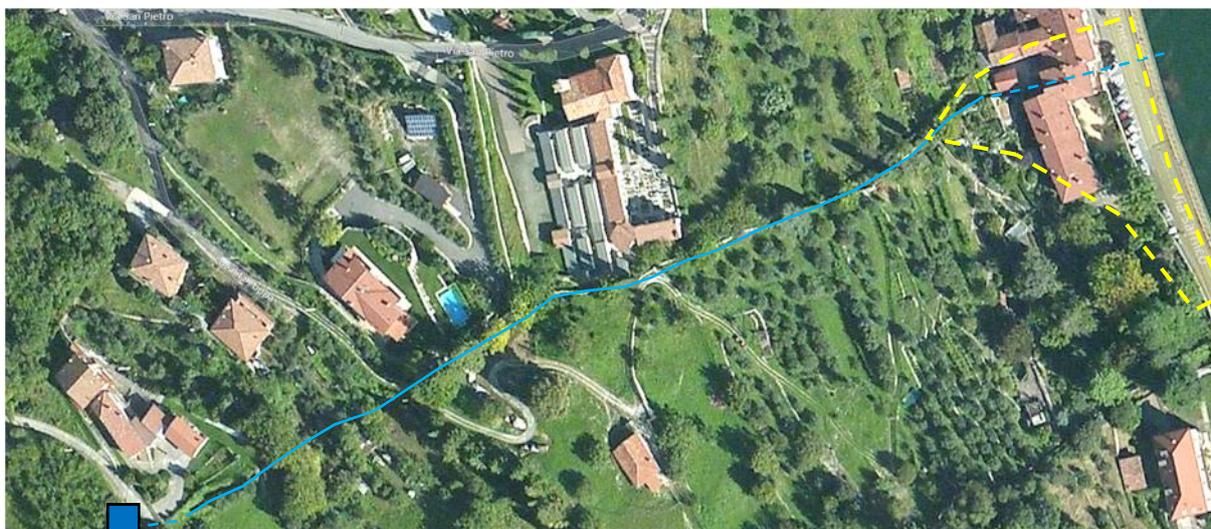
Non vi è invece alcuna conoide allo sbocco a lago della valle delle Pertiche; non vi si riconoscono infatti né i caratteri morfologici del caso, né la presenza di terreni e strutture sedimentologiche tipiche. Nel sito vi sono invece le condizioni perché il torrente esondi, a causa di una curva a gomito che l'alveo roccioso disegna prima di finire nel lago (ambito "Eb" descritto in seguito). Anche il piccolo ruscello che scende dalla sorgente "Roggino" fino al lago, con portata di qualche litro al secondo, non origina una conoide; esso scorre tra muretti a secco e in condotto interrato sotto le case di via Roma e l'esigua portata di tale deflusso non può determinare trasporto solido in massa. È evidente dunque che per questi casi le indicazioni di conoide inserite nell'attuale Carta con legenda uniformata P.A.I. (Geo.Te.C., 2010) devono essere cancellate.



A) Mappa Catastale: la curva della valle delle Pertiche prima dello sbocco a lago; B) fotografia aerea (Bing Maps, 2013) dello stesso sito: è evidente l'assenza di qualsiasi morfologia di conoide; il tratteggio giallo invece rappresenta il perimetro della conoide indicato sull'attuale carta P.A.I..

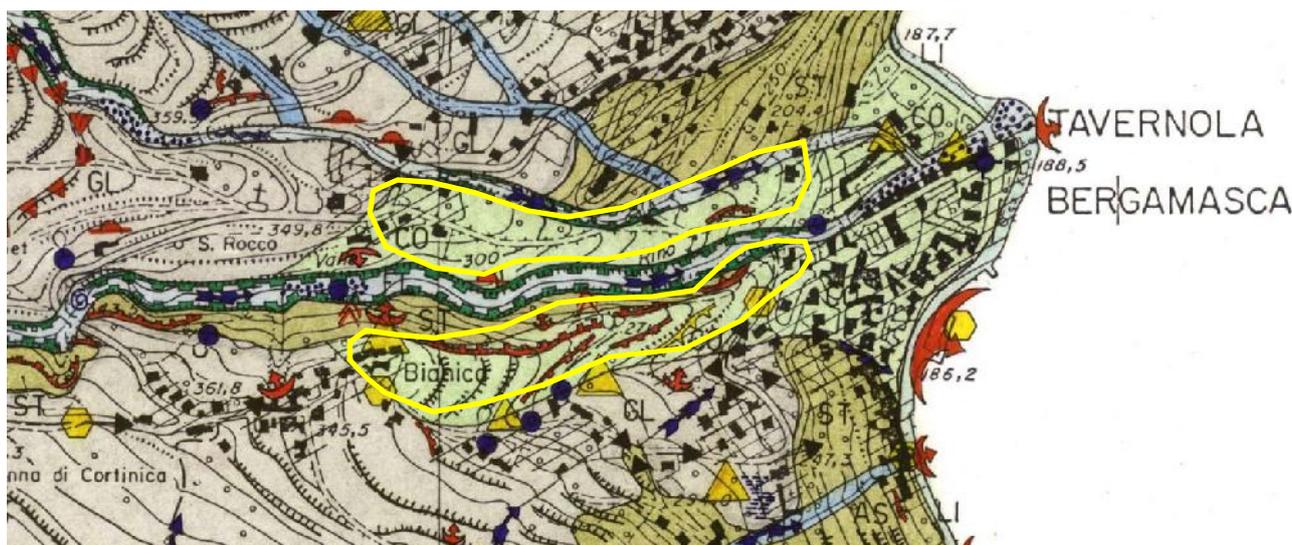


L' alveo della valle delle Pertiche a monte e a fianco dei condomini di Casella: poco prima dell'immissione nel lago l'alveo è contenuto tra muri spondali con selciato di fondo.



Fotografia aerea (Bing Maps, 2013) dell'area della sorgente Roggino (quadrato blu): la linea azzurra indica l'alveo a cielo aperto mentre il tratteggio azzurro indica il tratto intubato; il tratteggio giallo rappresenta il perimetro della conoide indicata nella carta P.A.I. (2010), ma di cui non vi è alcuna evidenza sul terreno

Nel territorio tavernolese vi sono anche alcune *conoide relitte* (cioè non più attive), poiché risalenti a condizioni geomorfologiche diverse da quelle attuali, come quelle del periodo glaciale quaternario e del disfacimento di cordoni morenici nelle valli tributarie del lago. Uno di tali apparati antichi, molto evidente, è quello del Rino (centro storico di Tavernola); un altro è quello della conoide della valle delle Pertiche (Casella). In entrambi i casi gli alvei dei corsi d'acqua che tagliano le due conoidi sono profondamente incassati e i torrenti non hanno più alcuna possibilità di divagare né di alimentare la conoide con il loro eventuale trasporto solido in massa. Sebbene rappresentate nella cartografia dello studio geologico a supporto del P.R.G. (GeoTer, 1994), queste conoidi relitte non sono considerate nell'ambito delle morfologie P.A.I.



Carta geomorfologica a supporto del P.R.G. di Tavernola (GEOTER, 1994): sono evidenziate i terreni di conoide (CO). Ciò che resta della conoide antica sono i due crinali (contorno giallo) a lato del torrente Rino che dalla conoide attuale si innalzano verso Ovest sino a Bianica e a S.Rocco.



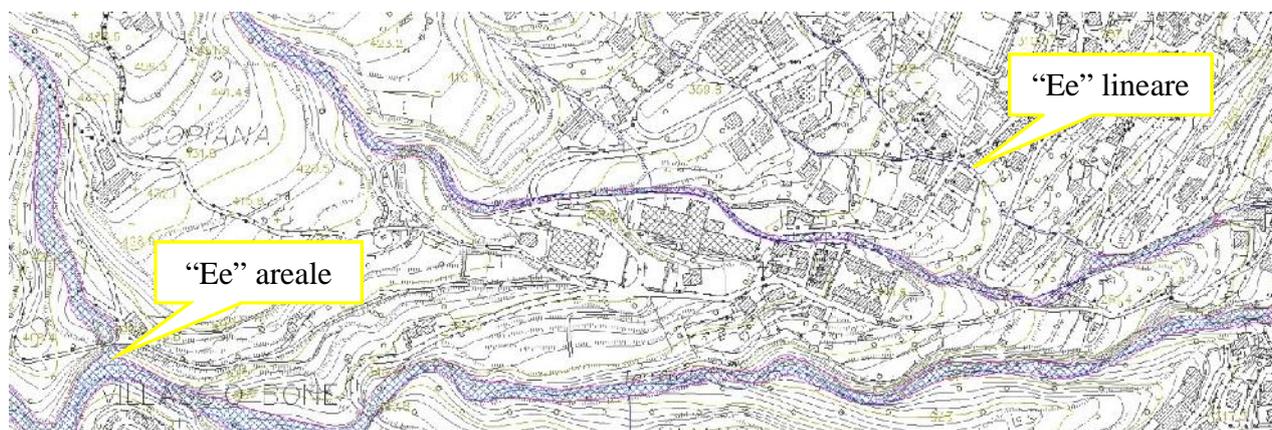
ESONDAZIONE TORRENTIZIA

La dinamica prevalente è connessa con la portata dei corsi d'acqua e con il possibile coinvolgimento di terreni limitrofi all'alveo. Le aree interessate da esondazione torrentizia sono rappresentate nell'attuale carta P.A.I. (GEO.TE.C, 2010) come elementi lineari, talora con una sottostima della loro pericolosità. Nella versione precedente della stessa carta (GeoTer, 2002) invece gli ambiti con *pericolosità di esondazione molto elevata (Ee)* erano indicati mediante delimitazioni areali, comprendendovi anche le forme di instabilità connesse all'erosione spondale.

Consultati in merito i competenti uffici di Regione Lombardia, si è convenuto che si debbano distinguere rispetto a una generica indicazione lineare i casi in cui tali ambiti possono essere rappresentati con areali (fasce) sulla C.T.R. (scala 1:10.000), considerando sempre l'intero sviluppo del reticolo idrografico (minore e principale); le forme gravitative reali e/o potenziali, sebbene dovute all'erosione dei torrenti, qualora cartografabili, devono invece essere distinte come ambiti di frana.

Una fascia a *pericolosità di esondazione molto elevata (Ee)*, rappresentabile dunque con apposita campitura, è definita nel presente studio per il torrente Rino, per i suoi tributari principali (Mondara, Negrignana e rio Vandel) e per la valle delle Pertiche.

Gli alvei che hanno una sezione di pochi metri C.T.R. sono rappresentati semplicemente da linee, attribuendo *pericolosità di esondazione molto elevata (Ee)* a tutte le aste del R.I.M., siano esse a cielo aperto o intubate e/o coincidano con strade, come accade nella zona di Cambianica. Ai tratti d'alveo che scorrono sul dorso delle conoidi è assegnata la prevalente categoria della *conoide attiva (Ca)* che anche Regione Lombardia ritiene più pertinente rispetto alla "Ee".



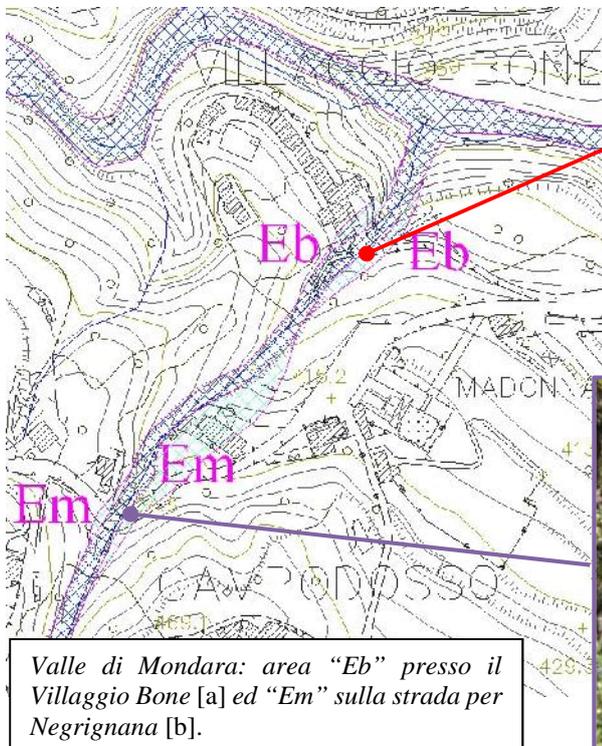
Ambiti a pericolosità di esondazione molto elevata (Ee) lineari e areali in funzione della sezione dell'alveo

A fianco degli alvei, dove gli indicatori geomorfologici e/o le cronache attestano la possibilità di interessamento da parte dei deflussi alluvionali, sono distinte aree a *pericolosità di esondazione elevata (Eb)* e aree a *pericolosità di esondazione media o moderata (Em)*. In occasione del presente lavoro non sono stati effettuati studi idraulici (non richiesti) che permettano la distinzione di questi ambiti in funzione della velocità dell'acqua e dell'altezza del tirante idrico, ma si è talora riconosciuta una propensione all'esondazione osservando le sezioni ristrette degli alvei e/o la presenza di eventuali ostruzioni dovute a manufatti (tombotti, strade, ponti, ecc.).



La classe a *pericolosità di esondazione elevata (Eb)* comprende le fasce di terreno a fianco del rio Mondara presso il Villaggio Bone, dove la sezione è evidentemente inadeguata a smaltire le portate calcolate in occasione della progettazione dei lavori di sistemazione idrogeologica della valle (PICCIOLI CAPELLI P., 2002 e 2006). Situazione analoga riguarda anche il tratto finale dalla valle delle Pertiche (sponda sinistra), dove sono a rischio alcuni edifici di Casella.

Una condizione di *pericolosità di esondazione media (Em)* riguarda le sponde della valle di Mondara nel punto in cui è attraversata dalla strada di Negrignana Lo stesso dicasi per alcuni terreni lungo il rio Vandel (parcheggi o accessi alla zona artigianale e residenziale di via San Rocco); in questo caso la pericolosità riguarda la sponda destra, con la possibilità di esondazione all'altezza del ponte di via Calchere e/o di cedimenti dei muri spondali.



Valle di Mondara: area "Eb" presso il Villaggio Bone [a] ed "Em" sulla strada per Negrignana [b].



FRANE

Nella categoria "frane" rientrano vari tipi di forme di dissesto, dalla caduta di massi isolati dalle scarpate rocciose (con i sottostanti accatastamenti di blocchi), agli scivolamenti di roccia "lungo strato", agli smottamenti dei terreni (prevalentemente glaciali) lungo i pendii, agli avvallamenti spondali a lago. Nel territorio tavernellese si presenta anche una forma di frana di scivolamento in roccia (2010) correlata a un DGPV che interessa l'area mineraria "Ognoli" (settore dei "Pinnacoli"), già oggetto di lavori di alleggerimento e messa in sicurezza e di presidio (monitoraggio). Il grado di attività delle varie forme franose è stato stimato dalle evidenze morfologiche, dalla presenza o meno di superfici di stacco fresche (caduta massi) o di nicchie dalla presenza di opere di consolidamento o difesa e, infine, anche da un'indagine di Regione Lombardia mediante interferometria radar da satellite (Permanent Scatterers).



La principale *frana attiva* (**Fa**) sul territorio comunale è il DGPV che interessa una parte della miniera di marna da cemento “Ognoli” e il cui apice entra anche in territorio di Parzanica. Attualmente essa si estende dagli ultimi gradoni dismessi della miniera (presso la piazzola ecologica) alla località Squadre, a monte della strada Vigolo-Parzanica. Dagli anni ‘70 del secolo scorso fino ad oggi il fenomeno - assieme a tutta l’area mineraria - è stato studiato da Specialisti e tenuto monitorato; ed è stato proprio il monitoraggio a rendere possibile l’allertamento prima dell’ultimo distacco corticale sul corpo di frana (novembre 2010).



A lato il settore in frana attiva (Fa) nella parte alta della miniera “Ognoli” e nel territorio di Parzanica (Squadre). In basso la frana del 22.novembre 2010 nel settore “Pinnacoli” della stessa miniera.



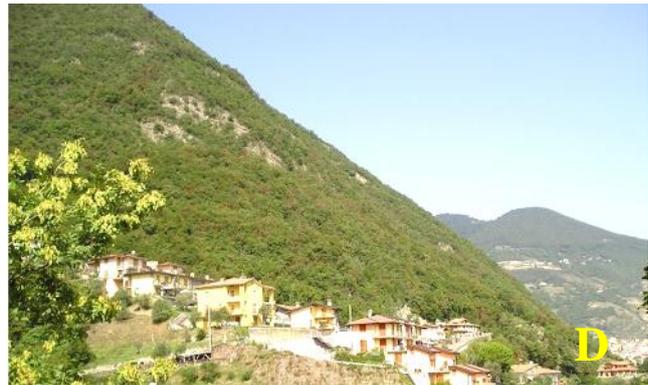
Altre forme di *frana attiva* sono rappresentate da cadute di massi, frequenti soprattutto sul Corno di Predore; esse sono indicate in carta come elementi puntuali laddove il fenomeno è avvenuto nell’ultimo decennio e documentato, oppure dove gli studi di dettaglio effettuati per la trasformazione in pista ciclopedonale della vecchia strada litoranea (PLEBANI F., 2005) hanno ravvisato le condizioni per un potenziale distacco.

Le *frane quiescenti* (**Fq**), potenzialmente riattivabili, sono anch’esse di diversi tipi; comprendono le forme di caduta massi (per ribaltamento e/o per scivolamento a cuneo), diffuse specialmente lungo il tratto dismesso della litoranea presso il Corno di Predore, nella zona sopra Predello e Moia, lungo la sponda sinistra del Rino e nel settore più settentrionale del territorio tavernolese, anche entro il perimetro della concessione mineraria cementifera, laddove vi sono le scarpate più acclivi non protette.

In particolare, al Corno di Predore si considera “frana quiescente” tutta l’ampia scarpata rocciosa, dove però i distacchi puntuali ben localizzati sono distinti come forme di “frana attiva”. Durante l’esercizio di questo tratto della Sebina Occidentale, i diffusi stacchi di frazioni rocciose dalla rupe hanno più volte interrotto il transito di automezzi creando molti disagi, e per tale motivo è stata costruita un’alternativa in galleria. Attualmente il tratto dismesso, paesaggisticamente molto suggestivo ed attraente, è interessato da lavori di trasformazione in pista ciclopedonale, che comprendono la formazione di barriere e tomi paramassi, consolidamenti in parete con reti metalliche e perfino brevi tratti di galleria artificiale.



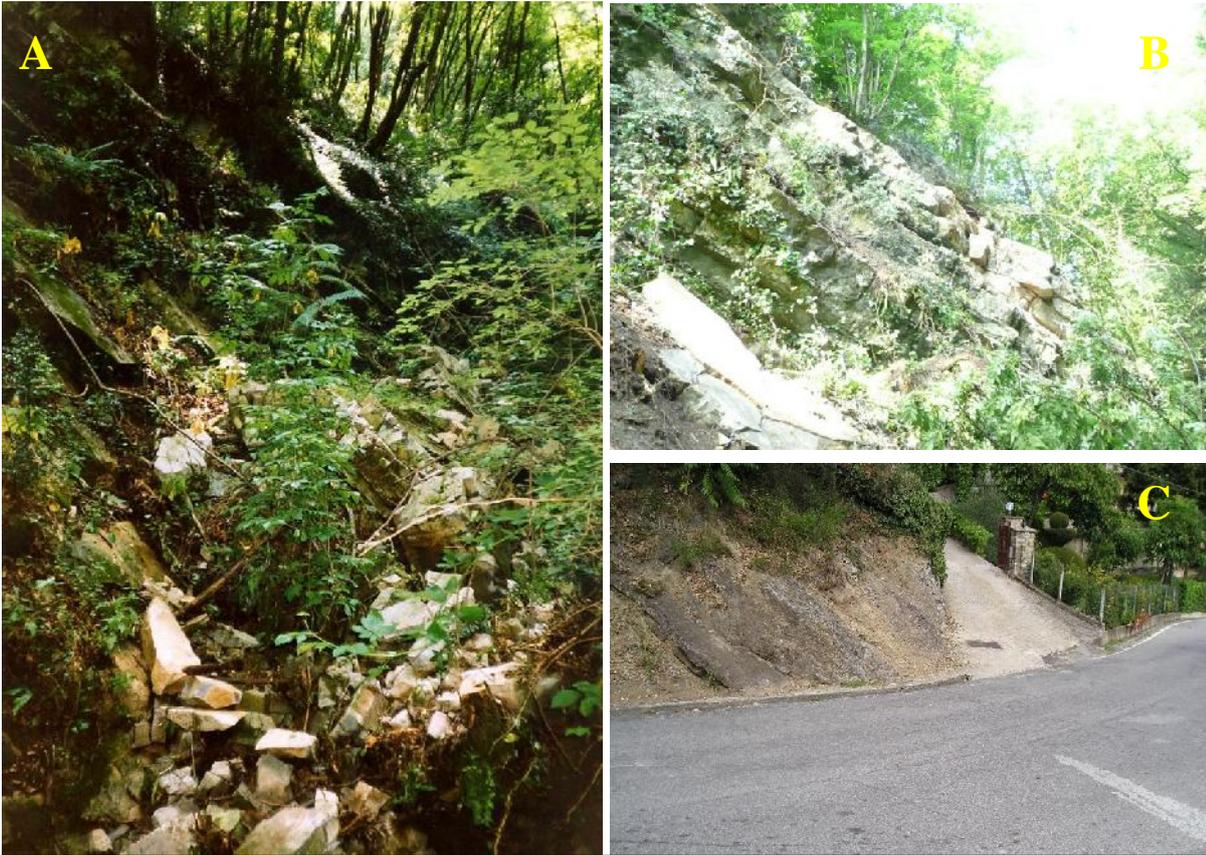
Come si è detto nella parte dedicata alle conoidi, le rupi a monte di Predello e della Moia danno origine a un'estesa fascia di detriti, mentre i massi che si staccano nell'area mineraria (settore Cicara), anch'essa classificata frana quiescente, si arrestano prevalentemente dentro i solchi d'impiuvio o sul ripiano di un grosso terrapieno.



A, B, C) Opere di difesa e un blocco franato sulla strada dismessa; D) zone di distacco di massi sopra Predello

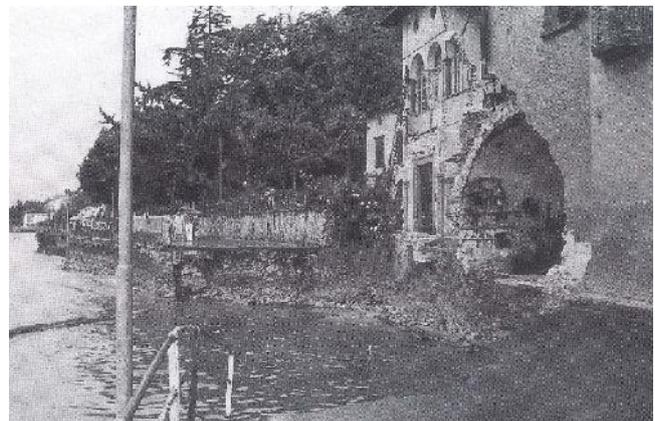
Le scarpate rocciose localmente possono essere interessate anche da scivolamenti lungo superfici di strato e queste forme franose, invece di un singolo blocco, possono coinvolgere anche settori estesi e volumi cospicui. Questa tipologia interessa in particolare la sponda destra del Rino e della valle delle Pertiche, dove gli strati di calcare (Calcere di Domaro) presentano giacitura a franapoggio con inclinazione minore di quella del pendio. Nel 2008 una frana di questo tipo verificatasi sulla sponda destra del Rino ha danneggiato l'acquedotto della sorgente "Milesi". Lo stesso tipo di fenomeno, sebbene con minori problemi, interessa anche l'area tra via Calchere e via Vigolo: qui, a causa anche dell'alterazione della roccia, si sono verificati crolli per scivolamento lungo strato e cadute di piccoli sassi.

Un altro tipo di fenomeni attribuito alle "frane quiescenti" interessa soprattutto i terreni glaciali o detritici, sciolti o parzialmente cementati; questi sono diffusi nella valle di Negrignana e sulle le sponde di alcuni torrenti (Vandel e Rino) presso Copiana. Tali forme di dissesto, che si caratterizzano per un cinematismo "rototraslazionale", si attivano quando il terreno s'imbeve d'acqua; la massa di terreno può raggiungere il fondovalle e danneggiare le infrastrutture presenti, come accaduto in valle di Negrignana nel 1988.



scivolamenti lungo strato: A) valle delle Pertiche, B) valle Rino, C) zona di via Vigolo

Sono altresì comprese nelle forme di frana quiescente gli *avvallamenti spondali*, che con una certa frequenza hanno coinvolto Tavernola Bergamasca e riguardano sia i terreni sciolti limo-ghiaiosi di conoide sia quelli di origine glaciale. A volte tali eventi hanno avuto effetti disastrosi causando la parziale distruzione del centro storico (1906); in altre occasioni i danni si sono limitati all'interruzione della Sebina Occidentale (nel 1967 di fronte a villa Sina, nel 1993 in via Roma). Oggi queste forme sono da considerare frane quiescenti, poiché sono intervenuti parziali demolizioni di edifici pericolanti, sistemazioni spondali (riprofilature del terreno) e consolidamenti (palificazioni), questi ultimi soprattutto a sostegno della strada statale. Va detto che non sempre questi interventi sono stati risolutivi.



avvallamenti spondali: A) centro storico di Tavernola Bergamasca, 1906, B) via Roma, 1993



Nella carta P.A.I. di Geo.Te.C. (2010) sono indicate alcune frane puntiformi che interessano i terreni glaciali su scarpate stradali non sostenute da muri o su quelle di alcuni terrazzamenti: si tratta di forme minime e insignificanti (vedi le fotografie sottostanti) che non possono essere considerate come frane, poiché si tratta di una locale instabilità di cigli di scavo e/o piccoli smottamenti che non rientrano nelle tipologie di frana considerate nella classificazione delle forme di dissesto del P.A.I.



Forme di “Frane quiescenti puntuali” indicate nell’attuale carta del P.A.I. (Geo.Te.C., 2010,) ma nel presente lavoro ritenute non conformi alle definizioni dei dissesti del P.A.I. e quindi eliminate dalle mappe

Nella categoria *frane stabilizzate (Fs)* sono compresi e qui indicati le forme di dissesto gravitativo sulle quali sono stati effettuati interventi di stabilizzazione risolutivi, che non permettono l’insorgere di ulteriori movimenti. Nel caso di Tavernola Bergamasca, si tratta di fenomeni e dei relativi lavori di consolidamento che appartengono all’area della concessione mineraria cementifera. Comprendono frane di scivolamento lungo strato, come quella di Scapioni del 1986 e quella dei Pinnacoli del 2010; distacchi di blocchi isolati dai fronti di scavo dismessi, come presso lo svincolo della variante di Parzanica o come nell’ambito della stessa frana dei Pinnacoli. Gli interventi effettuati (riprofilature, bullonature, tirantature, reti addossate, muri di sostegno in terre armate) risultano efficaci e integri e, per quanto monitorati, non si rilevano indicatori di una qualsiasi instabilità.



Frane stabilizzate (Fs): A) scivolamento lungo strato a Scapioni con estensimetri di controllo e terrazzette di rinverdimento; B) reti addossate sulla parete rocciosa presso l’innesto della nuova strada per Parzanica.



6. CARTA DEI VINCOLI

(cfr. tavola 7)

Questo elaborato ha subito un sostanziale rifacimento rispetto alla versione precedente (GEO TEC, 2010), sia a causa della modifica del Quadro del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I. sia per l'inserimento del Reticolo Idrico Minore e delle sue fasce di rispetto. Non sono state modificati i perimetri delle aree vincolate attorno a sorgenti e pozzi di acqua potabile.

Secondo i *Criteri* attuativi della L.r. 12/05, senza ingenerare confusione, la Carta dei Vincoli deve riportare solo vincoli di natura prettamente geologica che riguardano il territorio comunale e che sono contenuti nelle cartografie e nelle normative sovraordinate, in vigore all'atto della compilazione del documento, con particolare riferimento a:

- ***Quadro del dissesto con legenda uniformata P.A.I.*** qui proposto come revisione del quadro precedente, per la quale Regione Lombardia ha già espresso parere favorevole (prot. 3655 del 29.04.2016). Entro gli ambiti perimetrati P.A.I. vigono norme specifiche, di cui si tratta all'art.9 delle N.d.A. del Piano stesso, approvate in via definitiva con delibera del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po, n.18/2001 del 26 maggio 2001 e successivi aggiornamenti;
- ***Reticolo Idrico Principale e Reticolo Idrico Minore***; l'uno gestito direttamente da Regione Lombardia con le sue Dipendenze provinciali (S.TER.), l'altro gestito dal Comune. La mappa del R.I.M. e la relativa Normativa ora vigenti nel Comune di Tavernola Bergamasca sono quelle redatte nel 2004 (GEO TER), approvate da S.TER. di Bergamo (prot. n. A006.2005.0000271 del 7 luglio 2005) e che sono assunte definitivamente dal Comune in occasione dell'attuale Variante di P.G.T. In accordo con i *Criteri* regionali, nel documento sono indicate le fasce di rispetto dei corsi d'acqua con l'ampiezza definita mediante uno studio di dettaglio del R.I.M. di Tavernola; tale ampiezza può essere di **tre metri (fosso di guardia)**, **cinque metri (nel centro abitato in presenza di sezione adeguata alla portata di massima piena)** o **dieci metri dal ciglio superiore della sponda stabile** o dal piede esterno dell'argine (in tutti gli altri casi), ai sensi della D.G.R. 23 ottobre 2015, n. X/4229, del R.D. n.532 del 1904 e delle successive modifiche.
- ***sorgenti captate, pozzi e loro fasce di rispetto***, ai sensi del D.lgs. 11 maggio 1999, n.152, integrato dal D.lgs. 18 agosto 2000, n.258, all'art. 21 commi 1, 3, 4 e 7 e con riferimento alla D.G.R. 10 aprile 2003, n. 7/12693, All.1, cap.2.

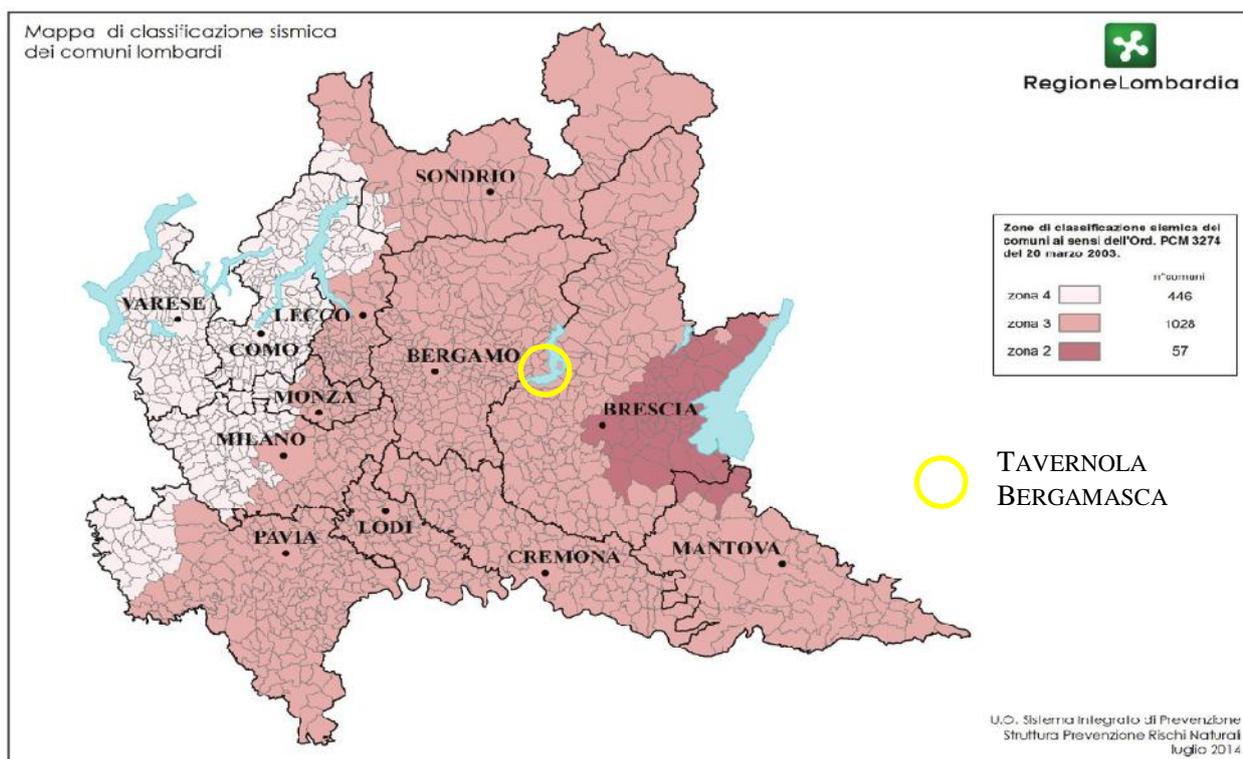
Nel territorio di Tavernola Bergamasca non vi sono infrastrutture strategiche di interesse regionale (vincoli derivanti dal P.T.R.), né beni geologici già soggetti a forme di tutela (Geositi).



7. SISMICA DEL TERRITORIO TAVERNOLESE

Il P.G.T. di Tavernola Bergamasca dispone già di uno studio di aggiornamento sismico conforme ai *Criteri* della L.r. 12/2005 (GEO.TE.C., 2010), poiché il territorio di questo comune è compreso in **ZONA 3** sismica fin dalla prima classificazione nazionale recepita con O.P.C.M. 20 marzo 2003, n.3274 e con D.G.R. 7 novembre 2003, n.14964/7. Tale elaborato comprende una “*Carta degli scenari di pericolosità sismica locale*” (I livello), derivata dalle analisi della componente del P.R.G. (GEO.TE.C., 1994) e dalla cartografia P.A.I. proposta nel 2010 (GEO.TE.C.).

La più recente classificazione sismica nazionale (recepita da Regione Lombardia con D.G.R. 11 luglio 2014, n.X/2129, pubblicata sul BURL n.29 S.O. del 16 luglio 2014) che ha classificato come **ZONA SISMICA 3** l'intero territorio della provincia di Bergamo, conferma la situazione di Tavernola e non apporta alcuna novità a riguardo degli accertamenti da eseguire nell'ambito degli studi geologici di supporto al P.G.T. Gli stessi *Criteri* regionali più aggiornati (D.G.R. 30 novembre 2011 n.IX/2616) non modificano gli adempimenti per la redazione della carta sismica di I livello e si limitano a un chiarimento per gli scenari di pericolosità sismica nei casi di terreni con scadenti caratteri geotecnici (classe Z2), casi che non sono presenti in territorio tavernolese.



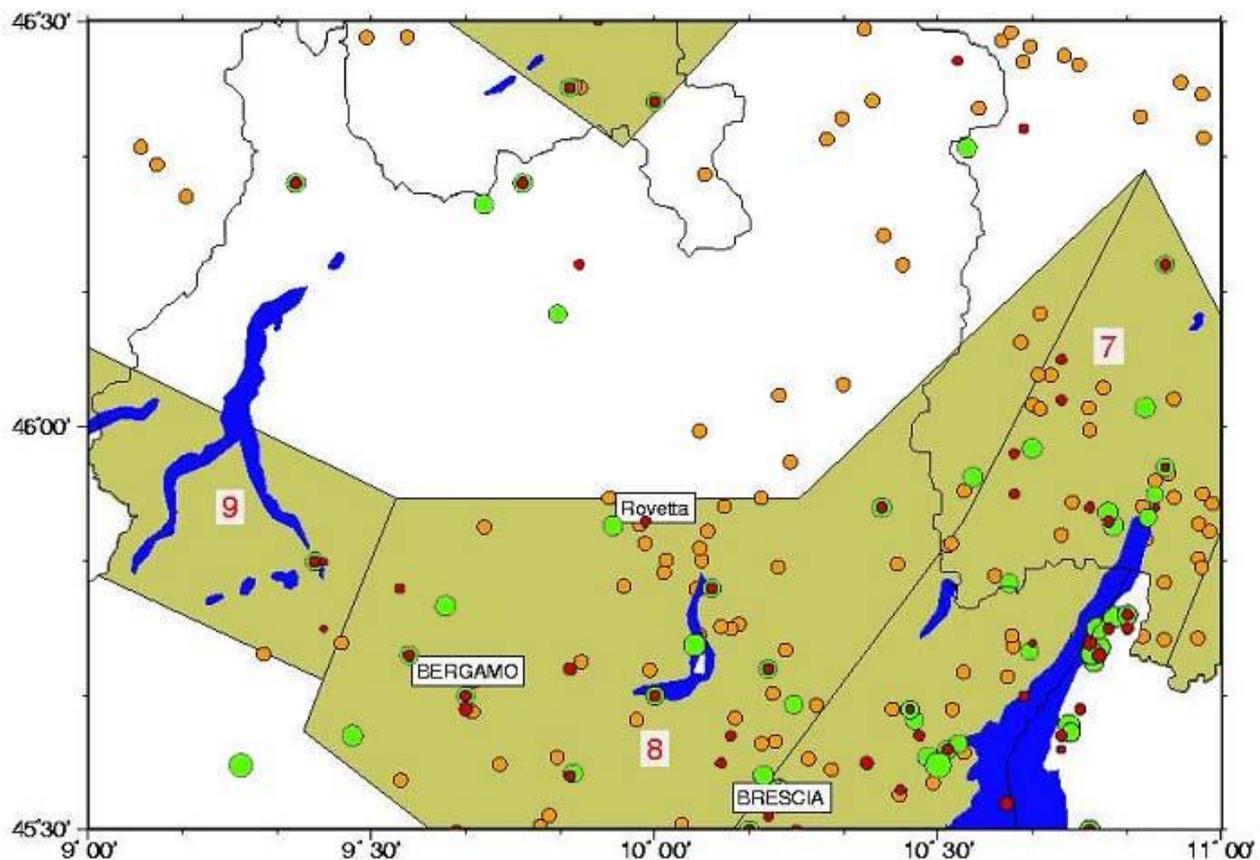
Le modifiche apportate alle perimetrazioni del P.A.I., soprattutto quelle che riguardano le frane, in questa occasione comportano la necessità di aggiornare la Carta degli Scenari di Pericolosità Sismica di I Livello, infatti le forme di dissesto interferiscono con tali scenari per la stabilità dei versanti (classi Z1). Vi è inoltre da considerare che la precedente suddivisione degli scenari legati all'amplificazione litologica non è del tutto congruente con il quadro litostrutturale, individuando “aree glaciali” (Z4c) al posto di aree a morfologia gravitativa (detriti di falda, classe Z4b), così come numerosi elementi lineari interessanti l'amplificazione topografica (creste e cigli di scarpata) sono



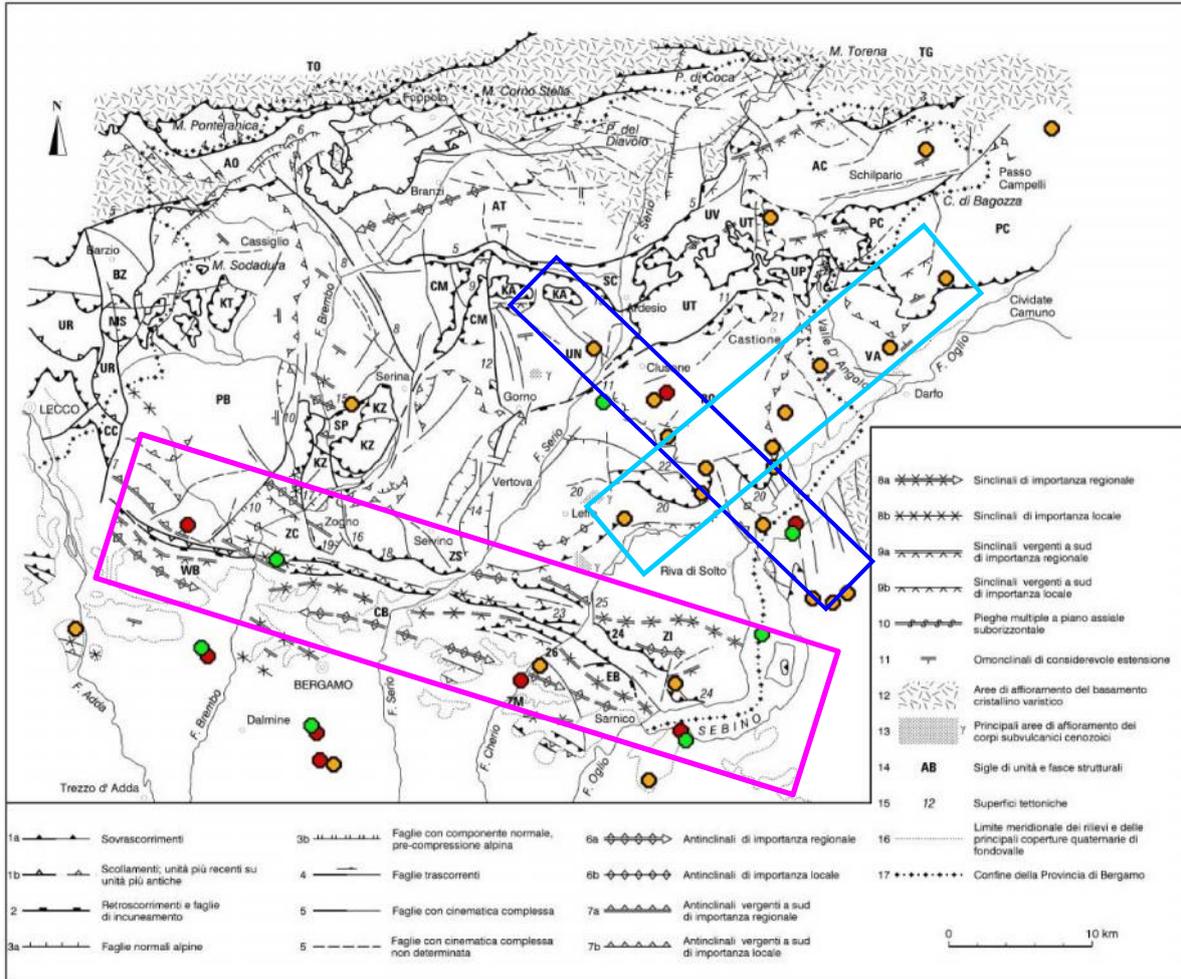
stati riferiti a roccia affiorante o subaffiorante invece che a terreni glaciali, determinando con ciò un'eccessiva enfasi di tali elementi. La Carta degli Scenari di Pericolosità Sismica di I Livello viene dunque adeguata secondo le specifiche della Normativa e alle analisi geologiche di base.

Il precedente studio sismico (GEOtec, 2010) comprende anche un approfondimento di II livello: si tratta di una relazione, senza specifica cartografia, che riguarda sia i casi di amplificazione litologica, con il supporto di quattro stendimenti MASW per determinare il Fattore di Amplificazione (Fa) massimo, sia quelli di amplificazione topografica, per i quali si espone solamente il risultato peggiore senza riportare i profili effettuati e le loro ubicazioni. Tale studio è interamente assunto nel presente lavoro (testo in corsivo e tra virgolette), anche perché numerose puntuali indagini sismiche successive per la costruzione di fabbricati, tra i quali le scuole e l'oratorio, ne confermano in generale la validità.

Da un punto di vista sismotettonico, il settore centrale del "Sudalpino" è sintetizzato da SCANDONE ET AL. (1990) e MELETTI ET AL. (2000) che, nel contesto nazionale, dividono il territorio lombardo in tre zone (7, 8 e 9) omogenee a riguardo delle strutture tettoniche. Il settore che comprende Tavernola Bergamasca (zona sismogenetica 8) è indicato come "zona di interazione tra la piastra adriatica e la piastra europea" e mostra un trend di sforzo principale con asse orientato NNW-SSE e prevalente meccanismo di rottura tipico del sovrascorrimento (*transpressivo*).



Zonazione sismogenetica (da SCANDONE & AL. 1990, aggiornata): sismicità strumentale 1990-1999 (in **arancio**, Catalogo ISC - International Seismological Center); sismicità storica (in **rosso** dal Catalogo NT4.1.1 di CAMASSI & STUCCHI, 1997) e in **verde** dal CPTI - Catalogo Parametrico Terremoti Italiani



Sullo schema geostrutturale della provincia di Bergamo la sismicità strumentale 1990-1999 dal Catalogo ISC (in arancione) e la sismicità storica dal Catalogo NT4.1.1 (in rosso) e dal CPTI (in verde). I riquadri blu e azzurro evidenziano gli allineamenti di maggior densità della valle Borlezza e sul fronte del “sovrascorrimento di Bossico”, quello magenta segna la fascia pedemontana i cui sismi possono interessare anche Tavernola Bergamasca.

L'attività sismotettonica recente e storica (Catalogo N.T.4.1.1 e Catalogo C.P.T.I.) mostra una densità rilevante nel settore compreso tra il lago di Garda e Bergamo, per un'ampiezza di circa mezzo grado di latitudine. In particolare si nota una concentrazione rilevante di eventi sismici lungo la valle Borlezza, la bassa Valcamonica e la fascia pedemontana; ciò lascia supporre la presenza di deformazioni attive di una certa entità. L'allineamento della fascia pedemontana indica la presenza di una serie in direzione WNW-ESE, che corrisponde al sistema di pieghe-faglie e sovrascorrimenti che comprende anche il territorio tavernolese.

In Tavernola, dove a memoria d'uomo non si ricordano danni collegabili ad eventi sismici, non è registrato alcun epicentro sismico; tuttavia il 13 novembre 2002 vi si è registrata una scossa sismica del VI grado della scala Mercalli (4,2 Richter), con epicentro nel lago, compreso nel quadrilatero Sulzano - Predore - Iseo – Tavernola; nel Basso Sebino inoltre si ricorda un sisma del VII grado della scala Mercalli avvenuto il 9 febbraio 1979.



7.1 CARTA DI PERICOLOSITÀ SISMICA DI I LIVELLO (cfr. tavola 8)

Lo studio sismico di **primo livello**, propedeutico ai successivi approfondimenti, consiste nell'analisi dei dati contenuti nella cartografia di base del presente studio geologico (carte litostrutturale, geomorfologica e geomorfologica con legenda uniformata P.A.I.) e nella conseguente stesura di una "Carta degli scenari di pericolosità sismica". Quest'ultima contiene le perimetrazioni areali e gli elementi lineari che rappresentano le diverse "situazioni-tipo" in grado di determinare effetti di amplificazione sismica locale, come indica la sottostante tabella, aggiornata ai *Criteri* più recenti (Allegato 5 della D.G.R. 30 novembre 2011, n.IX/2616):

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: appuntito - arrotondato	
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 deflazio-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

Rispetto a queste categorie il territorio di Tavernola Bergamasca non contempla gli scenari "Z1c" (zone potenzialmente franose), gli "Z2" (terreni soggetti a cedimenti e liquefazioni) e gli "Z4a" (zone di fondovalle con depositi alluvionali o fluvio-glaciali).

ZONA Z1

Questa categoria comprende le **aree in frana**, attiva o quiescente, individuate secondo i criteri P.A.I. In tali ambiti un sisma potrebbe generare o riattivare forme di instabilità, sia direttamente, imprimendo un'accelerazione alle singole particelle del terreno, sia indirettamente, aumentando la pressione dell'acqua nei pori del terreno (pressione neutra). La sola area di **frana attiva** ("Z1a") riconosciuta ad oggi in Tavernola è quella che si trova entro il perimetro della concessione mineraria "Ognoli": si tratta di un *creep* costantemente monitorato da Cementir-Sacci, sotto il controllo di Regione Lombardia. Più frequenti sono le aree di **frana quiescente** ("Z1b"), soprattutto in corrispondenza di acclivi versanti rocciosi, come quelli del Corno di Predore o le rupi sopra Predello o quelle nella ex Cementifera Sebina o quelle all'interno della miniera di marna (cantiere Cicara), ma anche di alcuni tratti dei versanti delle valli del Rino, di Negrignana, di Mondara e delle Pertiche.



ZONA Z3

I cigli delle scarpate alte più di dieci metri (“Z3a”) e le creste rocciose (“Z3b”) sono suscettibili di **amplificazione morfologica** (o “topografica”), poiché a causa della loro geometria possono determinare una focalizzazione delle onde sismiche per riflessione o interazione fra il campo d’onda incidente e quello diffratto. Nella carta sono evidenziati i cigli di scarpata (“Z3a”) più frequenti in ambito minerario e in corrispondenza della forra del torrente Rino; i crinali (“Z3b”) segnano gli spartiacque superficiali, soprattutto nella parte meridionale del territorio verso Predore, ma ve ne sono anche adiacenti al torrente Rino a causa dell’esiguo spessore di terreno superficiale (Bianica).

ZONA Z4

La categoria comprende terreni di varia origine che possono generare **amplificazione litologica**, cioè dovuta alle proprietà meccaniche del terreno e/o dalla forma del corpo sedimentario stesso (lentiforme, eteropico, ecc.). Queste condizioni possono provocare amplificazioni locali, risonanza tra l’onda sismica incidente e il moto proprio del terreno o doppia risonanza tra il periodo fondamentale del moto sismico incidente, quello del terreno e quello delle sovrastrutture eventualmente presenti.

Le aree “Z4b” delle fasce detritiche e delle conoidi, si trovano soprattutto ai piedi delle pareti rocciose presso Predello, nella zona di Case il Monte e sulle conoidi del Rino, di Predello e di Gallinarga. I depositi glaciali quaternari, costituiti da terreni granulari e/o coesivi (“Z4c”) coprono la superficie più estesa di questa categoria; si trovano su entrambi i lati della valle del Rino (Copiana, Calchere, Cambianica, Negrignana, Nesse, Cortinica, Bianica) e nell’alta valle delle Pertiche e formano la sponda lacustre tra Predello, Moia e Gallinarga. Due aree “Z4d”, cioè caratterizzate da argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale si trovano nell’alta valle di Mondara e nei dintorni di Vasso.

ZONA Z5

Le aree “Z5” sono soggette ad **amplificazione per comportamenti differenziali**, cioè dovuta alla marcata diversità di caratteri meccanici dei terreni presenti in un determinato sito. Sulla “*Carta degli scenari di pericolosità sismica*” sono indicati, ad esempio, i passaggi (contatti) tra la roccia e il terreno sciolto, sia esso alluvionale, detrito di falda, fluvioglaciale o glaciale. In questi casi non occorre una valutazione quantitativa con approfondimento d’indagine (secondo e terzo livello), poiché lo scenario esclude a priori la possibilità di costruire fabbricati a cavallo tra due materiali diversi, salvo che, ricorrendo ad appositi accorgimenti, la struttura sia appoggiata su un solo tipo di terreno.

Le diverse aree evidenziate sulla “*Carta degli scenari di pericolosità sismica*” sono riportate, mediante una retinatura trasparente, anche sulla Carta di Fattibilità Geologica di Piano, come prescritto dai “*Criteri*” della L.R. n. 12/05. Va sottolineato però che la zonazione sismica non influisce sull’assegnazione delle classi di fattibilità; il suo scopo, indipendentemente dal grado di fattibilità geologica, è quello di indicare lo spettro di risposta elastica da utilizzare in fase di progettazione, come previsto dal D.M. 14.01.2008.



7.2 ANALISI DI II LIVELLO (da Geo.Te.C 2010 aggiornato)

Lo studio di II livello riguarda le amplificazioni di carattere morfologico (scenari “Z3”) e litologico (scenari “Z4”) ed è esteso all’intero territorio tavernolese. Con il metodo indicato dai *Criteri* normativi per valutare i due tipi di scenario si ottiene in ciascuno dei casi un Fattore di amplificazione (Fa calcolato). Il valore ottenuto per lo scenario di amplificazione topografica deve essere confrontato con il coefficiente di amplificazione topografica (S_T) indicato dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (Tabella n.3.2.IV del D.M. 14 gennaio 2008); quello ottenuto per lo scenario di amplificazione litologica è invece confrontato con il Fattore soglia (F_s) dato da Regione Lombardia.

Quando il fattore “Fa” è minore di “ F_s ” e/o di “ S_T ” (con una tolleranza $Fa < F_s + 0,1$) è sufficiente applicare la Normativa nazionale (D.M. 14 gennaio 2008) per determinare i coefficienti moltiplicativi della sollecitazione sismica (coefficienti di sottosuolo “ S_s ” e di amplificazione topografica “ S_T ”); in caso contrario, occorre effettuare approfondimenti di III Livello in sede di progettazione edilizia.

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE TOPOGRAFICHE (DM 14.01.2008)	UBICAZIONE INTERVENTO	CATEGORIA TOPOGRAFICA	S_T
Superficie pianeggiante o acclività minore di 15°		T1	1,0
Pendii con acclività media maggiore di 15°	sommità del pendio	T2	1,2
Rilievi larghi in cresta molto meno che alla base e acclività media tra 15° e 30°	cresta del rilievo	T3	1,2
Rilievi larghi in cresta molto meno che alla base e acclività media maggiore di 30°	cresta del rilievo	T4	1,4
CATEGORIA SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE (soglie_lomb_2008.xls – REGIONE LOMBARDIA)	PERIODO DI OSCILLAZIONE		
	T = 0,1 ÷ 0,5 sec	T = 0,5 ÷ 1,5 sec	
B	1,5	1,7	
C	1,9	2,4	
D	2,3	4,3	
E	2,0	3,1	

Fattori di soglia (F_s) di riferimento per le amplificazioni morfologiche (topografiche) e litologiche per il territorio di Tavernola Bergamasca

VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI MORFOLOGICI

«Nel caso in esame sono stati analizzati tutti gli elementi passibili di amplificazione morfologica interferenti con le aree urbanizzate e di espansione urbanistica individuati con il primo livello di approfondimento e rappresentati nella carta della pericolosità sismica locale (zone Z3 - creste e scarpate). I dati morfometrici delle creste e delle scarpate sono stati ricavati dalla Carta Tecnica Comunale alla scala 1:2.000 e dalla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000 realizzando un numero molto elevato di profili topografici.

Per quanto riguarda lo scenario di scarpata (Z3a), il valore di Fa massimo ottenuto nelle varie situazioni analizzate è risultato pari ad 1,3; per quanto riguarda lo scenario di cresta (Z3b), il valore di Fa massimo ottenuto è pari ad 1,2. I valori di Fa ottenuti sono stati confrontati con il coefficiente



di amplificazione topografica (S_T) facendo riferimento alla categoria T2 per le scarpate e, vista la morfologia di quelle presenti nell'ambito dell'area in esame, alla categoria T3 per le creste

Relativamente alle creste, i valori massimi di F_a ottenuti non superano i valori di S_T della corrispondente categoria topografica (pari ad 1,2); relativamente alle scarpate, dato che anche per l'amplificazione morfologica il valore di F_a deve essere considerato con una variabilità di un decimo, i valori massimi di F_a ottenuti non superano i valori di S_T della corrispondente categoria topografica (pari ad 1,2). La normativa sismica nazionale è quindi sufficiente a tenere in considerazione gli effetti di amplificazione sismica per cause morfologiche e si applica pertanto il coefficiente topografico S_T previsto dalla Normativa.

Rispetto all'elaborazione del 2010 (Geo.Te.C.) occorre osservare che per lo scenario di scarpata (Z3a) il valore massimo che si può ottenere con la procedura dei Criteri regionali è $F_a = 1,3$ (valore massimo indicato anche da Geo.Te.C.). Il termine di confronto, costituito dal coefficiente di amplificazione topografica ($S_T = 1,2$) con la tolleranza (+0,1) risulta uguale ($F_{atoll} = 1,3$).

Di conseguenza, qualunque sia la sezione da verificare, la Normativa nazionale è sempre applicabile nell'ambito di edifici fino a cinque piani di altezza ($0,1 \text{ sec} < T < 0,5 \text{ sec}$); invece per edifici più alti ($0,5 \text{ sec} < T < 1,5 \text{ sec}$) in sede di progettazione è necessario effettuare approfondimenti di III livello.

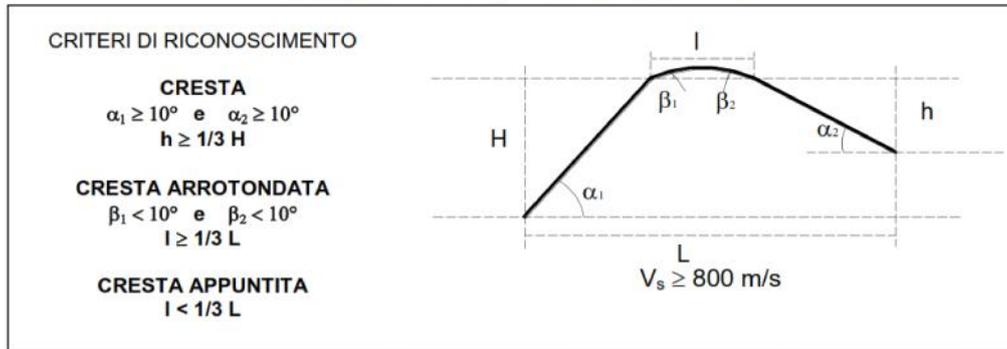
Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di $F_{a,0.1-0.5}$	Area di influenza
$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.1	$A_i = H$
$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.2	$A_i = \frac{3}{4}H$
$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1.1	$A_i = \frac{2}{3}H$
	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1.2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1.3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1.2	
	$\alpha > 70^\circ$	1.1	

Fattori di amplificazione (F_a) dei diversi tipi di scarpata, secondo i Criteri regionali

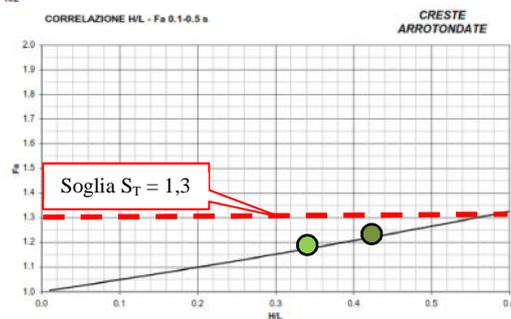
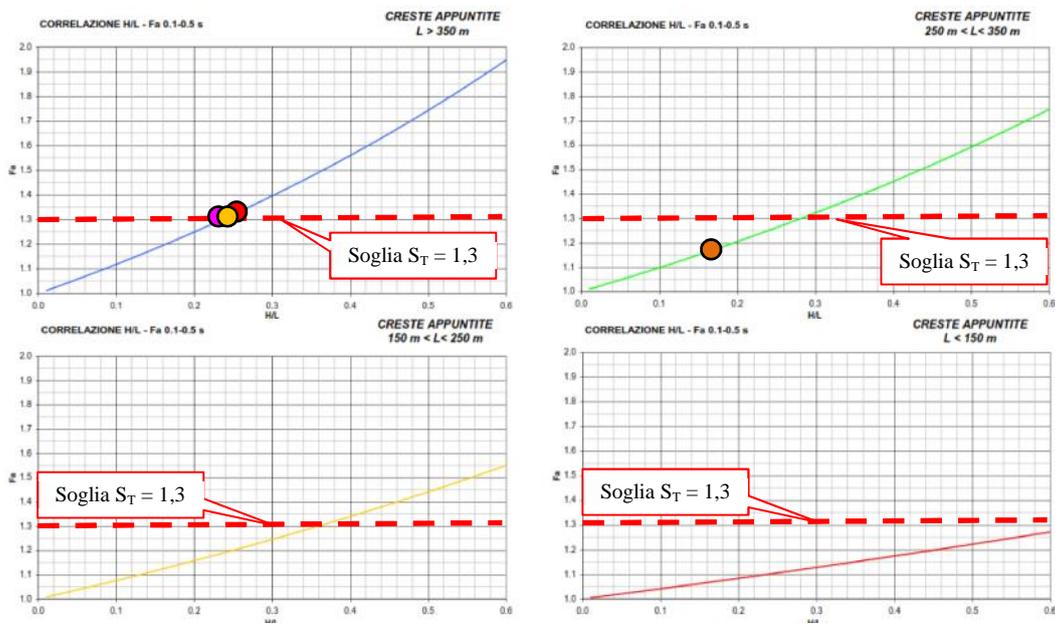
Per le creste, la procedura prevista dalla Normativa fornisce cinque diverse curve, che dipendono dalle caratteristiche geometriche dei rispettivi profili topografici, con valori "Fa" anche molto elevati ($F_{a_{max}} = 1,95$); è quindi necessario determinare l'effettivo valore di F_a ed effettuare il confronto con i coefficienti topografici S_T delle Norme Tecniche per le Costruzioni.



EFFETTI MORFOLOGICI – CRESTE - SCENARIO Z3b



	L > 350	250 < L < 350	150 < L < 250	L < 150
Creste Appuntite	$Fa_{0,1-0,5} = e^{1,11H/L}$	$Fa_{0,1-0,5} = e^{0,93H/L}$	$Fa_{0,1-0,5} = e^{0,73H/L}$	$Fa_{0,1-0,5} = e^{0,40H/L}$
Creste Arrotondate	$Fa_{0,1-0,5} = e^{0,47H/L}$			



LEGENDA

- BIANICA
- NEGRIGNANA-PREDORE
- CASCINA IL ROCCOLO
- MONTE PINGIOLO
- NE DI FOPPE
- VILLAGGIO BONE

Alcuni profili in corrispondenza di creste (“Z3b”), indicate nella tavola n. 8 *Carta dello Scenario di pericolosità sismica di I livello*, sono riportati in sintesi nella tabella seguente, con le loro ubicazioni e caratteri morfometrici, secondo lo schema definito dai *Criteri*. Nel territorio di Tavernola sono state individuati due diversi tipi di creste appuntite e delle creste arrotondate; in ogni caso il fattore di amplificazione massimo ottenuto è $Fa = 1,3$.



LOCALITA'	MORFOLOGIA DI CRESTA	PARAMETRI CRESTA							FATTORE DI AMPLIFICAZIONE CALCOLATO $F_{a0,1-0.5}$	FATTORE TOPOGRAFICO $S_{T(14.01.2008)}$		VALIDITA' NORMATIVA 14.01.2008
		H	α	L	h	β	l	H/L		CATEGORIA	S_T	
BIANICA	ARROTONDATA	35	51	84	19	8	28	0.42	1.2	T4	1.4	ADEGUATA
CRESTA NEGRIGNANA-PREDORE	APPUNTITA	184	26	810	175	6	44	0.23	1.3	T3	1.2	ADEGUATA
CRESTA CASCINA IL ROCCOLO	APPUNTITA	148	34	567	122	10	72	0.26	1.3	T3	1.2	ADEGUATA
CRESTA MONTE PINGIOLO	APPUNTITA	250	27	1018	246	8	54	0.25	1.3	T3	1.2	ADEGUATA
CRESTA A NE DI FOPPE	APPUNTITA	45	21	268	40	10	36	0.17	1.2	T3	1.2	ADEGUATA
CRESTA VILLAGGIO BONE	ARROTONDATA	40	56	118	15	14	64	0.34	1.2	T4	1.4	ADEGUATA

Quindi, anche in questi casi, si conferma l'esito dello studio sismico del 2010: la Normativa nazionale è sempre applicabile nell'ambito di edifici alti fino a cinque piani di altezza ($0,1\text{sec} < T < 0,5 \text{ sec}$), mentre per gli edifici più alti in sede di progettazione sono necessari approfondimenti di III livello.

VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI LITOLOGICI

Per la valutazione degli effetti litologici sono necessari dati stratigrafici, dati litologici/granulometrici e dati geofisici ed occorre definirne l'attendibilità. La tabella sottostante riassume questi dati per lo studio GEOTEC del 2010 evidenziando il buon grado di attendibilità di dati e indagini.

SCENARIO	AMBITO	LOCALITÀ	DATI STRATIGRAFICI E LITOLOGICI	INDAGINE SISMICA
Z4b	conoide	Torrente Rino	Pozzo comunale via Roma	Re.Mi. 1 "conoide"
Z4c	glaciale	Moia	Quadro geologico	Re.Mi. 2 "Moia"
Z4c	glaciale	Calchere	Stratigrafia di scavi e sbancamenti	Re.Mi. 3 "Calchere"
Z4c	glaciale	Bianica	Stratigrafia di scavi e sbancamenti	Re.Mi. 3 "Bianica"
GRADO DI ATTENDIBILITÀ				
ALTO		MEDIO		BASSO

«Nel seguente paragrafo sono esposti i passi di applicazione del metodo per la determinazione di F_a . Il primo passo consiste nella scelta della scheda di valutazione che deve essere fatta in base alla litologia prevalente che caratterizza il sito, con successivo confronto fra l'andamento delle V_s con la profondità previsto nella scheda e l'andamento reale riscontrato nell'indagine; la verifica deve essere fatta partendo dalla scheda di tipo 1 e, nel caso in cui questa non fosse verificata per valori di V_s inferiori ai 600 m/s, si deve passare all'utilizzo della scheda di tipo 2. In presenza di una litologia non contemplata nelle schede di valutazione esistenti, nel caso di alternanze litologiche e nel caso in cui in cui esista la scheda di valutazione per la litologia esaminata, ma l'andamento delle



Vs con la profondità non ricada nel campo di validità della scheda, può essere scelta un'altra scheda che presenti l'andamento delle Vs con la profondità più simile a quello riscontrato nell'indagine.

In accordo con tali indicazioni, nell'ambito dei siti esaminati in questa sede, la scelta della scheda di valutazione è stata fatta in via preliminare in riferimento ai dati litologico-stratigrafici esistenti, con successiva verifica basata sul confronto fra il profilo di velocità delle onde S ricavato tramite la tecnica ReMi e i profili delle Vs delle schede disponibili. Tale confronto è schematizzato nei grafici seguenti dal quale si evince quali schede sono compatibili con le diverse situazioni esaminate.

Il secondo passo dell'applicazione della metodologia consiste nell'individuazione dello spessore e della velocità Vs dello strato superficiale, in base ai quali si sceglie all'interno della scheda di valutazione la curva di correlazione T-Fa più appropriata fra le tre disponibili. Nei casi in esame lo spessore e la velocità del primo strato sono stati desunti dai profili di velocità delle onde S ricavati con la tecnica ReMi. In presenza di uno strato superficiale con spessore inferiore ai 4 m, si è assunto un primo strato con spessore pari alla somma del superficiale più il sottostante, caratterizzato da una velocità pari alla media pesata tra quella dei due strati. Questo discorso vale solo per il periodo compreso fra 0,1 e 0,5 s in quanto per il periodo superiore la curva di correlazione T-Fa è unica.

Il passo successivo consiste nella determinazione di T, che rappresenta il periodo proprio del sito espresso in secondi; in base alle indicazioni della normativa, il calcolo deve essere svolto considerando la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore delle velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente relazione:

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

dove :

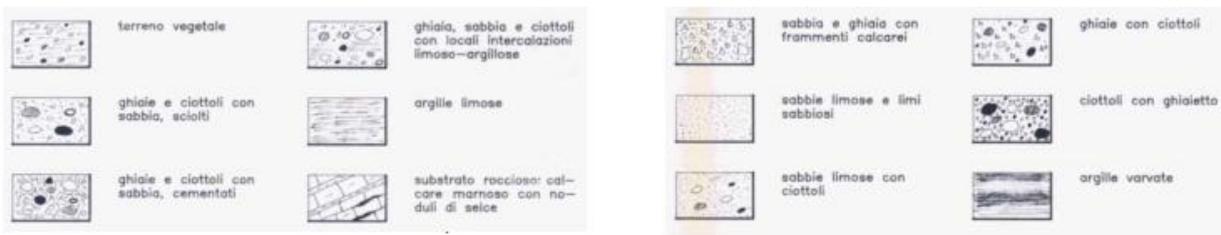
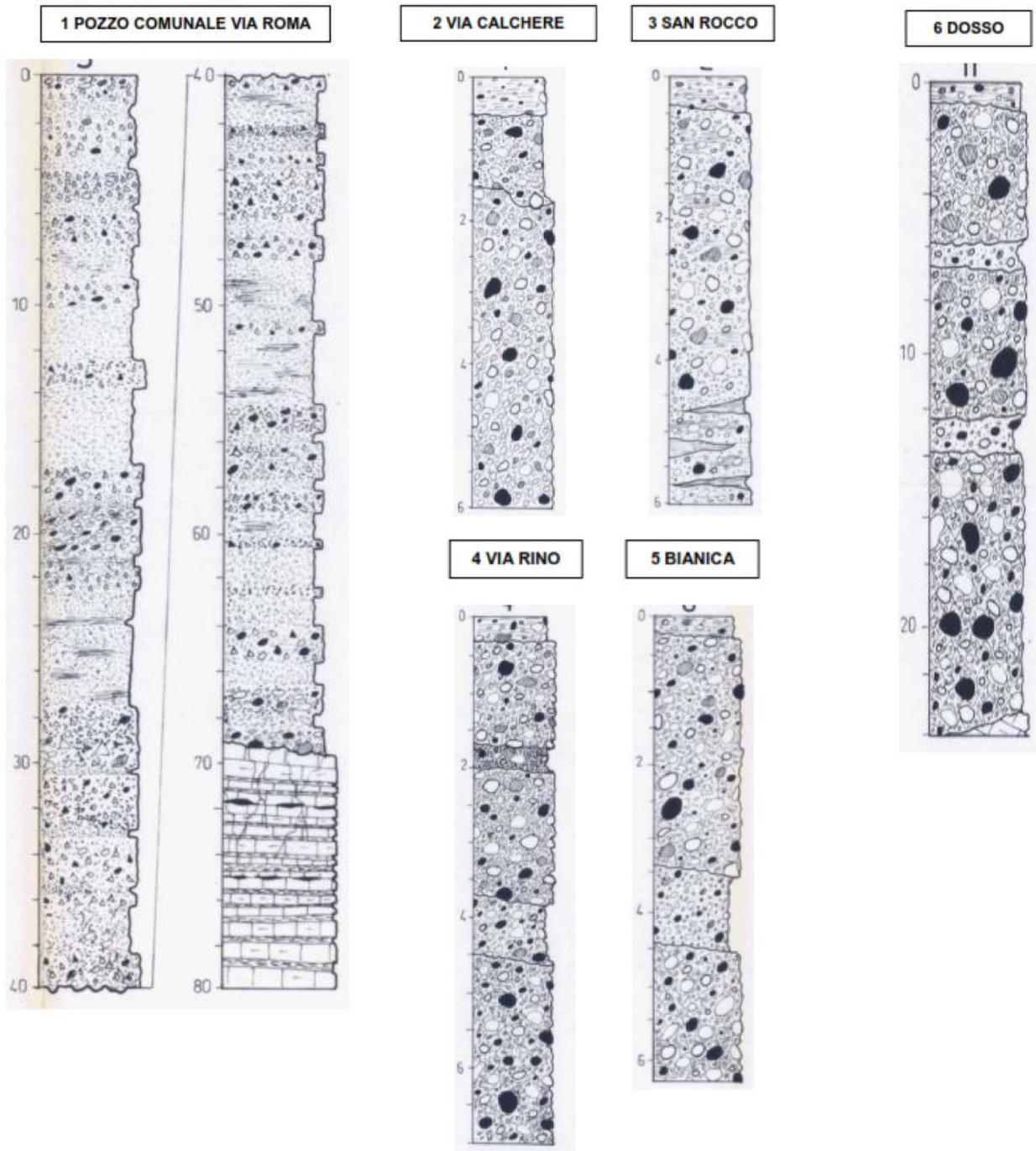
- h_i = spessore (m) dello strato i-esimo;
- V_{s_i} = velocità (m/s) delle onde di taglio dello strato i-esimo;
- n = numero degli strati.

= simbolo di sommatoria

Nei siti esaminati in cui la profondità del bedrock sismico ($V_s=800$ m/s) non è stata raggiunta direttamente dall'indagine (ReMi 1 e ReMi 2), in accordo con le indicazioni contenute nell'allegato 5, tale dato è stato ricavato ipotizzando un opportuno gradiente di Vs con la profondità sulla base dei dati dell'indagine, fino al raggiungimento del valore di 800 m/s.

L'ultimo passo permette di determinare il valore di Fa lungo le curve di correlazione T-Fa in base al valore di T, sia per il periodo compreso fra 0,1 e 0,5 s sia per il periodo compreso fra 0,5 e 1,5 s; in base alle indicazioni della Normativa il valore di Fa deve essere arrotondato alla prima cifra decimale e inoltre, nel confronto con il corrispondente valore di soglia, deve essere considerata una variabilità di un decimo per tener conto della variabilità del valore di Fa ottenuto.»

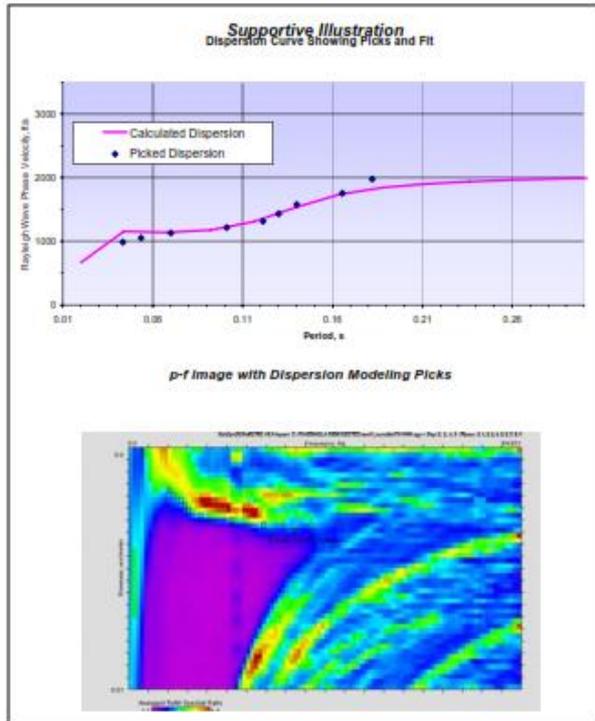
-----00000000000000-----



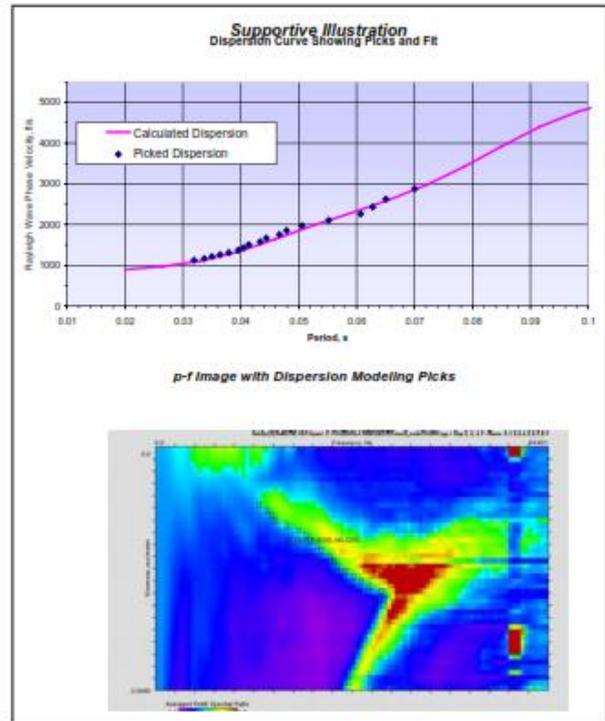
Stratigrafie di Tavernola Bergamasca: quelle utilizzate per l'indagine sismica di II livello sono 1)- conoide Rino, 6)- Moia, 2)- Calchere, 5)- Bianica



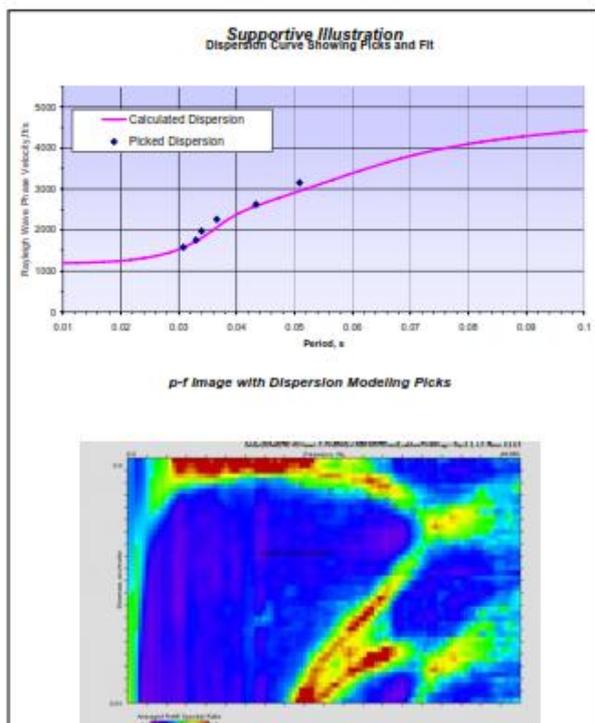
REMI 1 "CONOIDE"



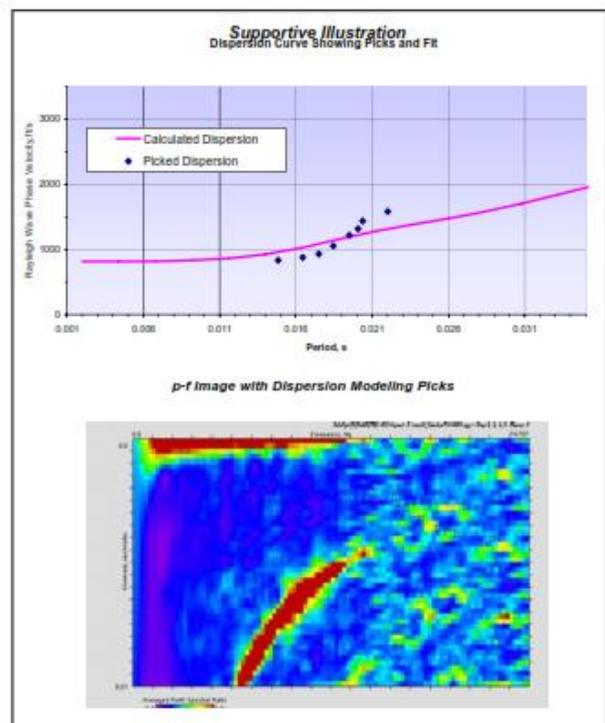
REMI 2 "MOIE"



REMI 3 "CALCHERE"



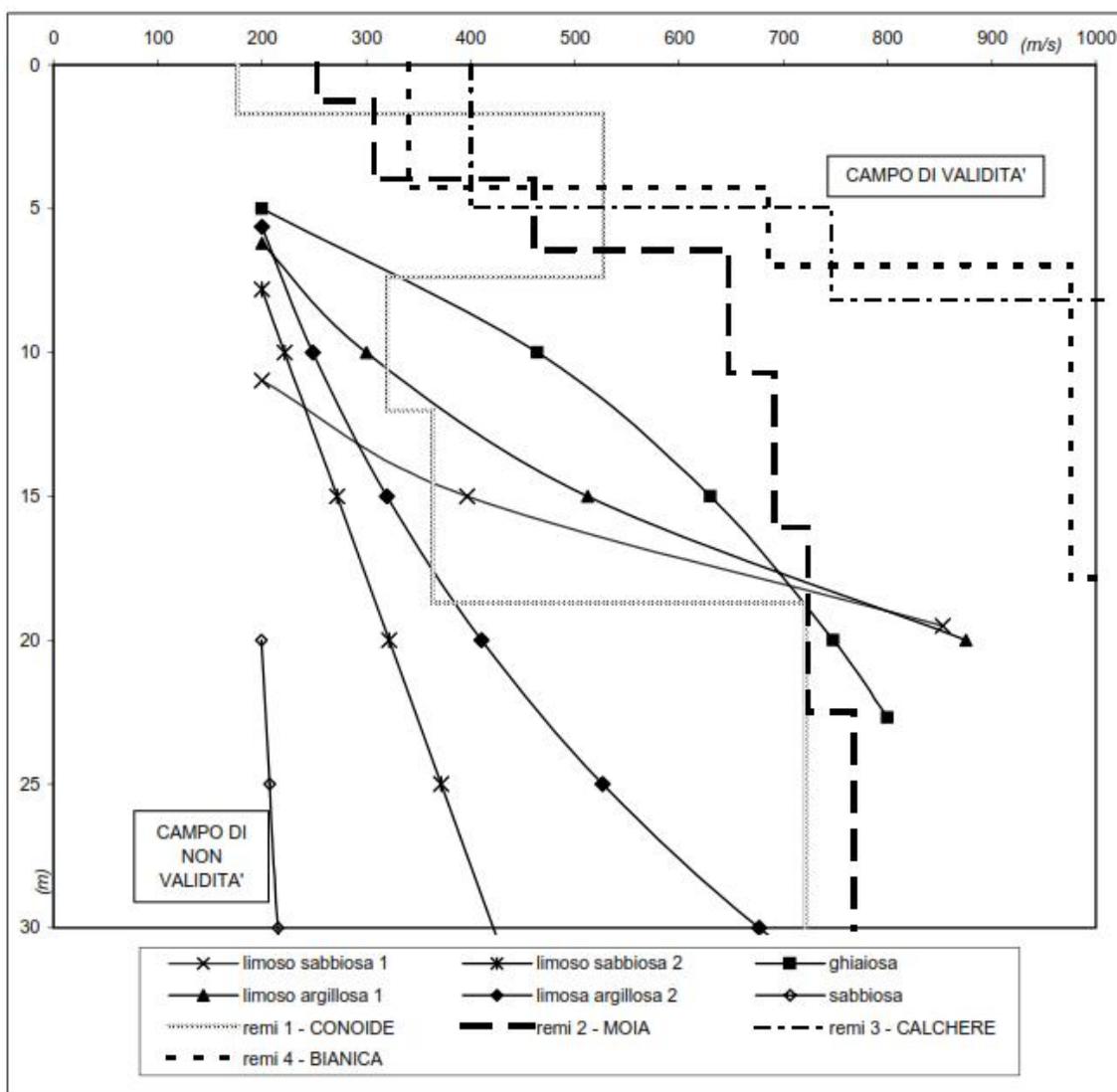
REMI 4 "BIANICA"



Indagini Re.Mi. effettuate per l'indagine sismica di II Livello (Geo.Te.C., 2010)



INDAGINE SISMICA	PROFONDITÀ		SPESSORE	VS	INDAGINE SISMICA	PROFONDITÀ		SPESSORE	VS
	m	m	m	m/sec		m	m	m	m/sec
Re.Mi. 1 "CONOIDE"	0	1.69	1.69	176.63	Re.Mi. 3 "CALCHERE"	0	4.94	4.94	400.78
	1.69	7.39	5.7	527.3		4.94	8.19	3.25	746.09
	7.39	12	4.61	319.78		8.19	13.04	4.85	1217.45
	12	18.69	6.69	363.82		13.04	18.07	5.03	1469.58
	18.69	30	11.31	721.69		18.07	30	11.93	1716.22
Re.Mi. 2 "MOIA"	0	1.25	1.25	252.8	Re.Mi. 4 "BIANICA"	0	4.28	4.28	340.49
	1.25	3.97	2.72	307.61		4.28	6.98	2.7	685.79
	3.97	6.43	2.46	461.07		6.98	17.85	10.87	976.29
	6.43	10.71	4.28	647.43		17.85	30	12.15	1431.21
	10.71	16.07	5.36	691.28					
	16.07	22.5	6.43	724.16					
	22.5	30	7.5	768.01					



Risultati delle indagini sismiche Re.Mi. effettuate per lo studio di II livello e grafici dell'andamento delle velocità delle onde di taglio secondo la profondità, nei profili di Tavernola Bergamasca e in quelli di riferimento dei Criteri regionali (Allegato 5 - D.g.r. 30 novembre 2011 n.IX/2616)



Sito Indagine	Scheda di valutazione	Curva Fa	T sec	Fa 0,1-0,5 sec	Fa 0,1-0,5 sec	Profondità bedrock m	VS ₃₀ m/sec	Categoria di sottosuolo
1 conoide Rino	limoso-sabbiosa 2	3	0,248	1,7	1,2	33	436	B
	sabbiosa	3		1,4	1,3			
2 Moia	ghiaiosa	3	0,213	1,3	1,1	35	575	B
	limoso-sabbiosa 1	2		1,6	1,1			
3 Calchere	ghiaiosa	3	0,061	1,1	1,0	8,19	490	B
4 Bianica	ghiaiosa	3	0,059	1,1	1,0	6,975	340	B
NOTE:	Fa FS+0,1		Fa > FS+0,1					
<i>schema riassuntivo dell'elaborazione dei dati sismici (da GeoTeC, 2010)</i>								

«In base ai risultati ottenuti ed all'analisi svolta si esprimono le seguenti considerazioni.

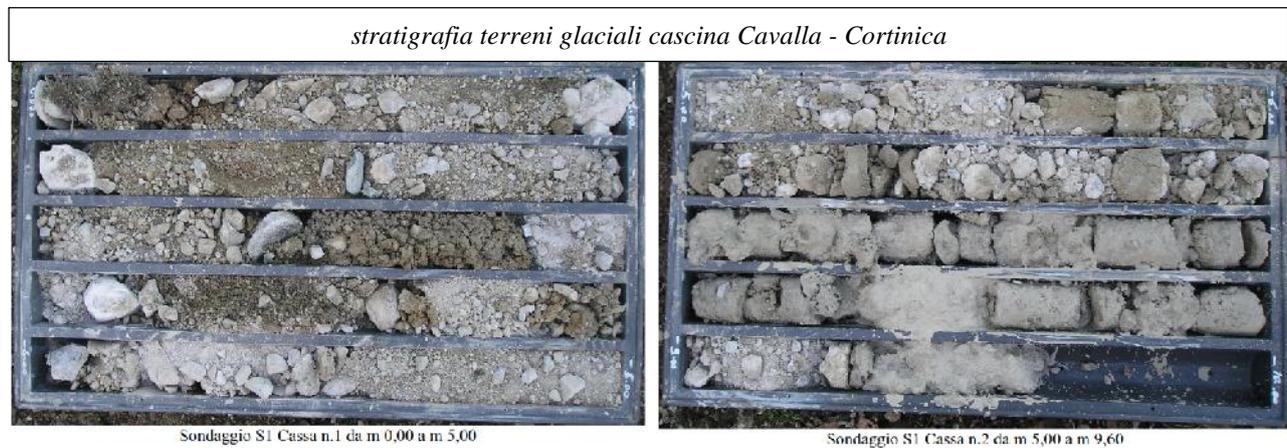
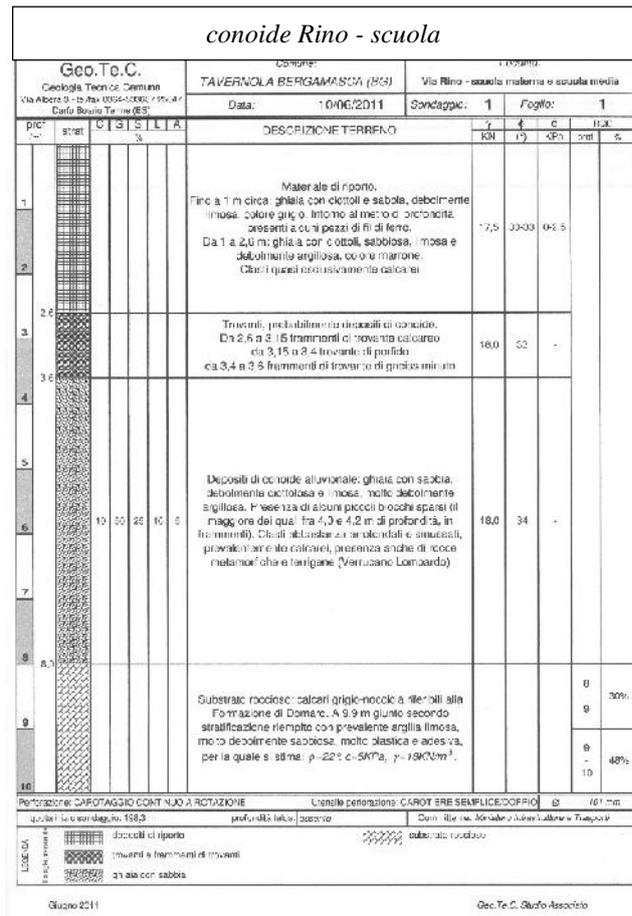
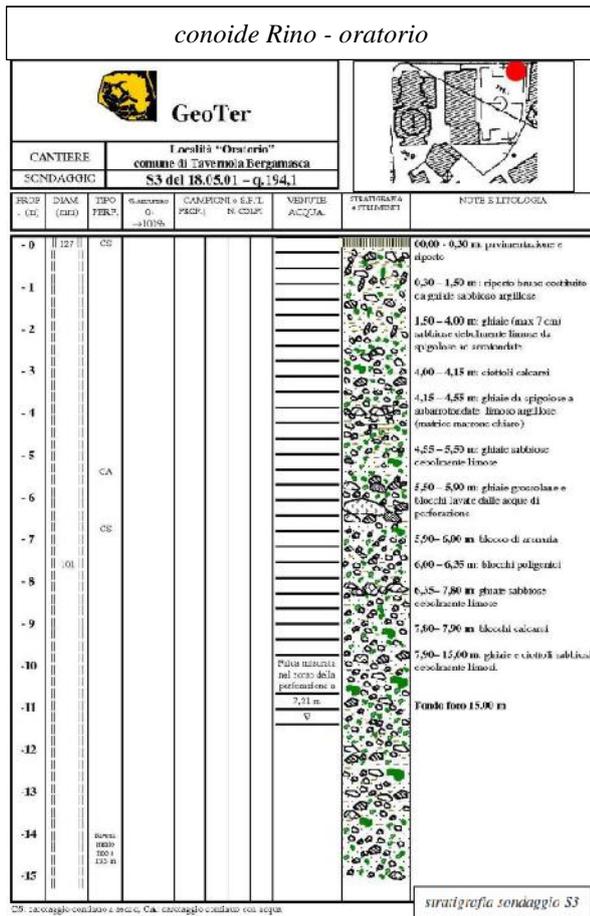
- Per il sito 1, conoide del torrente Rino, e periodo compreso fra 0,1 e 0,5 secondi, si ha un valore di Fa maggiore rispetto alla soglia; nel caso di tipologie edilizie basse, regolari e piuttosto rigide, indicativamente inferiori a 5 piani, la normativa sismica nazionale vigente non è quindi sufficiente a tenere in considerazione anche gli effetti di amplificazione sismica per cause litologiche. In fase progettuale sarà quindi necessario applicare gli approfondimenti definiti di "terzo livello" nella d.g.r. 8/7374 oppure, anziché lo spettro della categoria di suolo B, far riferimento allo spettro della categoria di suolo C. Questa indicazione è stata estesa a tutta l'area individuata nelle carte di fattibilità (tavole 5,6 7), comprendente il conoide del torrente Rino e gli altri conoidi posti lungo la sponda del lago aventi caratteristiche morfologiche e litologiche simili.

- Per tutte le altre aree analizzate si è ottenuto un valore di Fa inferiore rispetto alla soglia, anche per il sito 1 in relazione al periodo superiore, compreso fra 0,5 e 1,5 secondi; la normativa sismica nazionale è quindi sufficiente a tenere in considerazione anche gli effetti di amplificazione sismica per cause litologiche. In fase progettuale è quindi corretto applicare lo spettro della categoria di suolo B.»

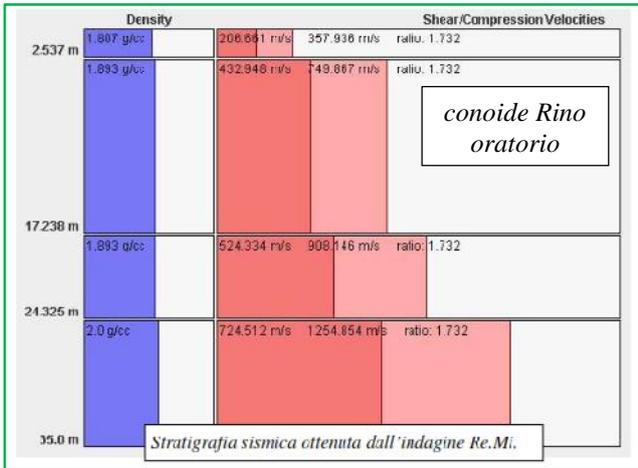
Anche in questo caso sono stati effettuati dei controlli sulla procedura adottata nello studio precedente per verificarne la congruenza, inserendo nell'analisi anche altre indagini, svolte nel corso degli ultimi dieci anni in relazione alla costruzione di alcuni edifici, reperite presso l'Archivio Comunale e riportate nella tavola 8; "Progetto per la costruzione di autorimesse interrato presso l'oratorio "S.Giovanni Bosco" – GEOTER, 2008; "Lavori di restauro, risanamento conservativo e adeguamento alle norme di sicurezza della scuola dell'infanzia e secondaria di primo grado" – GEOTEC, 2011; "Costruzione Complesso Residenziale in località Moia" – SALVETTI L., 2009; "Cambio di destinazione d'uso e manutenzione straordinaria della cascina Cavalla in Tavernola Bergamasca" – GEOTER, 2007; "Ampliamento e opere interne di manutenzione straordinaria della residenza sanitaria la "Casa di Nicola" in Tavernola Bergamasca" – GEOTER, 2015.



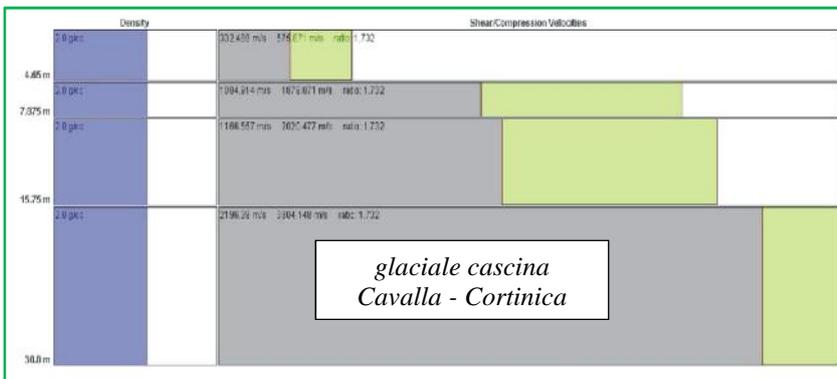
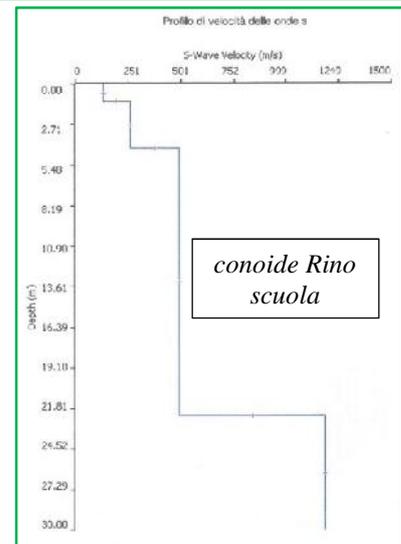
Le schede seguenti illustrano le stratigrafie litologiche e simiche dei quattro siti utilizzati per ulteriore approfondimento d'indagine e, per un immediato confronto, uno schema riassuntivo analogo a quello definito da Geo.Te.C. I casi esposti riguardano la conoide del Rino in classe "Z4b" (5 - Oratorio e 6 - Istituto scolastico Omnicomprensivo) e terreni glaciali in classe "Z4c" (7 - via Moia e 8 - Cortinica).



Stratigrafie utilizzate per l'approfondimento dell'indagine sismica di II livello

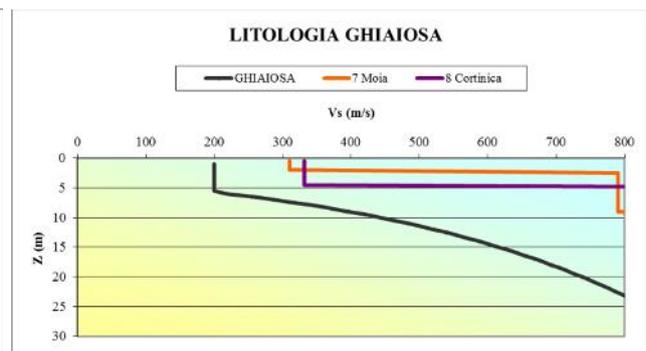
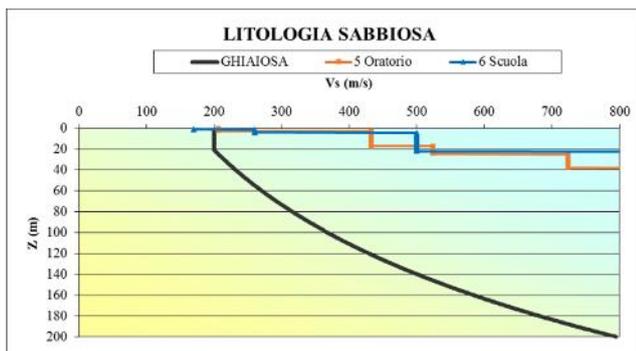


Spessore strati	Litotipo	Spessore strato in metri	Velocità onda P misurata in sito (m/s)	Velocità onda S misurata in sito (m/s)
h ₁	Coprature	2	600,00	310,00
h ₂	Terreni compatti	7	1500,00	790,00
h ₃	Roccia alterata	4	2000,00	1035,00
h ₄	Roccia compatta	17	2700,00	1640,00
h_{totale}	glaciale Moia	30	VS₃₀ = 588 m/s	



Indagini sismiche utilizzate per l'ulteriore approfondimento sismico di II livello e grafici dell'andamento delle onde di taglio confrontate con le schede regionali di riferimento

INDAGINE SISMICA	PROFONDITÀ		SPESSORE	VS	INDAGINE SISMICA	PROFONDITÀ		SPESSORE	VS
	m	m				m	m		
Re.Mi. 5 "CONOIDE" ORATORIO	0	2.5	2.5	206.66	Re.Mi. 7 "via MOIA"	0	2	2	310
	2.5	17.2	14.7	432.95		2	9	7	790
	17.2	24.3	7.1	524.33		9	13	4	1035
	24.3	30	5.7	724.51		13	30	17	1640
Re.Mi. 6 "CONOIDE" SCUOLA	0	1	1	170	Re.Mi. 8 "CORTINICA"	0	4.6	4.6	332.49
	1	4	3	260		4.6	7.9	3.3	1084.91
	4	22	18	500		7.9	15.75	7.85	1166.56
	22	30	8	1180		15.75	30	14.25	2196.39





Sito Indagine	Scheda di valutazione	Curva Fa	T sec	Fa 0,1-0,5 sec	Fa 0,1-0,5 sec	Profondità BEDROCK	VS ₃₀	Categoria di sottosuolo
5 conoide Rino Oratorio	sabbiosa	3	0,281	1,5	1,4	38	445	B
6 conoide Rino scuola	sabbiosa	2	0,162	1,5	1,1	8	411	E
	sabbiosa	2	0,202	1,6	1,2	17	411	E (B)
7 via Moia	ghiaiosa	3	0,053	1,1	1,0	9	588	E (B)
8 Cortinica	ghiaiosa	3	0,055	1,1	1,0	4,6	332	E (C)
NOTE:	Fa FS+0,1		Fa > FS+0,1					
<i>schema riassuntivo dell'elaborazione dei nuovi dati sismici</i>								

Queste ulteriori indagini, pur confermando in generale le conclusioni dello studio precedente (Geo.Te.C., 2010), evidenziano alcune difformità, una delle quali porta a modificare l'articolato delle N.T.A. del P.G.T.:

- a) La categoria di riferimento assegnata da GEO.TE.C. nei casi di Calchere e di Bianica è la "B", ma la presenza del substrato roccioso a circa sette-otto metri di profondità permette l'assegnazione alla categoria di sottosuolo "E". Questa precisazione non inficia comunque il risultato ottenuto, perché l'amplificazione di soglia "Fs" per la categoria di sottosuolo "E" è più alta rispetto a quella della "B". Per altro, in parecchie relazioni di progetto esaminate presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale l'attribuzione delle categorie di sottosuolo, spesso non è corretta; ad esempio, si attribuisce categoria "A" invece di "E" o "B", come accade per via Moia (Salveti, 2009); l'errore determina condizioni sismiche meno gravose, non adeguate al grado di sicurezza sismico richiesto per quel sito.
- b) Sono utilizzate più schede di valutazione per descrivere la stessa indagine (conoide del Rino e Moia). La procedura di Regione Lombardia indica che occorre utilizzare la scheda più aderente alla situazione litologica e granulometrica del sito di indagine e non scegliere la scheda in base al grado di sicurezza più favorevole. Per la località Moia (indagine 2 - Moia di GEO.TE.C., scenario "Z4c") la scheda di valutazione più adatta è quella "limoso sabbiosa 1" dalla quale risulta $Fa = F_{s+0,1}$ (1,6 1,6), cioè che il valore indicato dalla Normativa nazionale è sufficiente per determinare l'azione sismica. Per la conoide del Rino (indagine 1 – conoide Rino, scenario "Z4b") la scheda più corretta è quella "sabbiosa": ciò comporta che in Tavernola anche per i terreni di conoide la Normativa nazionale è sufficiente per valutare l'azione sismica, senza che siano necessari studi di approfondimento di III Livello, come invece ritiene Geo.Te.C.. Questa conclusione richiede di escludere dalla parte sismica delle N.T.A. del P.G.T. la necessità di ricorrere a studi di III Livello per amplificazioni di tipo litologico.



8. CARTA DI SINTESI

(cfr. tavola 9)

Questa carta è ricavata dal confronto tra quelle dei diversi tematismi geologici analizzati (fase di analisi del territorio) a cui si aggiunge un'analisi clivometrica. Da tale sovrapposizione di dati e dal loro confronto critico si ottengono numerosi quadri di caratterizzazione geoambientale del territorio, dai quali si individuano le situazioni di *pericolosità geologica*.

Rispetto alla carta di sintesi del precedente studio geologico di supporto al P.G.T. (GEOtec, 2010), questo elaborato è interamente rivisto e aggiornato conformemente ai più recenti *Criteri* della L.r. 11 marzo 2005, n. 12. Vi sono distinte otto tipologie elementari d'area (classi), ciascuna delle quali è dominata dal prevalere di un fattore di pericolosità geologica; l'ultima - classe 8 - considera gli interventi di mitigazione della pericolosità eventualmente messi in atto. Ciascuna classe è suddivisa in sottoclassi, che dettagliano maggiormente la situazione trovata sul terreno. La frequente concomitanza di più fattori di pericolosità introduce numerosi altri quadri geoambientali, come risultato della diversa combinazione delle otto classi di pericolosità.

La carta è redatta alla scala 1:5.000 per un opportuno dettaglio e maggiore chiarezza e copre l'intero territorio di Tavernola Bergamasca. Le indicazioni in essa contenute hanno un significato sia qualitativo sia quantitativo; infatti gli ambiti definiti costituiscono le classi d'ingresso nella "tabella 1" 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. 11 marzo 2005, n. 12*": essa consente di ricavare le classi di fattibilità geologica, rappresentate nelle tavole n.10 (scala 1:10.000) e n.10a, b, c (scala 1:2.000).

La su indicata procedura in genere non comporta un semplice automatismo di attribuzione, poiché il valore della classe di fattibilità può essere aumentato o diminuito in funzione di alcune considerazioni tecniche effettuate sul singolo ambito; tuttavia non per tutti gli ambiti si possono modificare (declassare) le attribuzioni di classe che risultano dall'applicazione delle suddette tabelle. È il caso, ad esempio, di quelle che riguardano le aree interessate da *trasporto in massa su conoide*, definite nei *Criteri* attuativi della L.r. n.12/05 e individuate dettagliatamente nello studio di aggiornamento per la revisione del Quadro del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I.

Gli ambiti di pericolosità geologica e le relative classi distinte sono:

- (1) pericolosità per acclività del terreno
- (2) pericolosità per instabilità dei versanti
- (3) pericolosità per trasporto in massa su conoidi
- (4) pericolosità per vulnerabilità idrogeologica
- (5) pericolosità da dinamica idraulica
- (6) pericolosità per mediocri caratteri geotecnici
- (7) pericolosità da modificazioni antropiche
- (8) fattori di mitigazione della pericolosità.



PERICOLOSITÀ PER ACCLIVITÀ DEL TERRENO (1)

La classe individua ambiti in cui la pericolosità è dovuta alla forte acclività del terreno: infatti la pendenza del terreno oltre certi limiti induce inevitabilmente situazioni di instabilità attive o potenziali, che creano condizioni di pericolo diretto o indiretto per l'eventuale insediamento. Del resto occorre anche dire che in situazioni di forte pendenza gli interventi insediativi possono, a loro volta, innescare facilmente significative forme di instabilità e, in ogni caso, impatti sul terreno molto più pesanti di quanto non facciano sulle superfici pianeggianti.

Riguardo all'acclività, la Normativa attuale chiede di evidenziare come pericolosi i pendii inclinati oltre 20°, qualora siano costituiti da terreni sciolti, e oltre 35° quando formati da roccia. La nostra esperienza sui territori montani e considerazioni sui caratteri geotecnici di rocce e terreni del territorio tavernolese ci portano a distinguere tre sottoclassi di pericolosità in situazioni di superfici acclivi, graduando in base ad esse le conseguenti classificazioni di pericolosità e di fattibilità e che si rappresentano con un'apposita campitura, onde evitare un'ulteriore distinzione con lettere e numeri:

- CLASSE 1A → $\beta = 25^\circ \div 35^\circ$ per terreni e rocce deboli; → $\beta = 25^\circ \div 42^\circ$ per le rocce;
- CLASSE 1B → $\beta = 35^\circ \div 40^\circ$ per terreni e rocce deboli; → $\beta = 42^\circ \div 50^\circ$ per le rocce.
- CLASSE 1C → $\beta > 40^\circ$ per terreni e rocce deboli; → $\beta > 50^\circ$ per le rocce.

In questo modo e in linea generale sono ritagliate le situazioni in cui la pendenza rappresenta un elemento influente riguardo ai progetti urbanistici ed edilizi, ma non tali da impedire la trasformazione delle aree, usando determinati accorgimenti (CLASSE 1A e 1B), e quelle invece dove la pendenza del terreno è tale da costituire un reale impedimento alla trasformazione e all'insediamento (CLASSE 1C). Si tratta di una distinzione particolarmente importante per le aree di montagna e collinari, dove sono molti i terreni sensibilmente acclivi. È ovvio che questi limiti numerici generali non sarebbero credibili né giusti se, nel definire in dettaglio le classi di fattibilità, essi non fossero calati sui caratteri litologici e geomorfologici delle diverse aree, permettendo di giustificare il giudizio finale sia in senso più restrittivo sia in quello più permissivo.

Comunque oltre i limiti massimi di acclività su definiti, la morfologia aspra, anche in presenza di ammassi rocciosi molto resistenti o di terreni dotati di ottimi parametri geotecnici, preclude la possibilità di trasformazione delle aree per insediamenti di normale edificazione, anche in considerazione degli eccessivi sbancamenti che comporterebbero degli interventi su tali aree.

I limiti applicati per i terreni granulari sono validi anche per le rocce deboli (rocce cataclasate o intensamente fratturate), i cui caratteri geotecnici sono intermedi tra quelli delle terre e quelli delle rocce. I terreni granulari cementati (conglomerati) sul territorio di Tavernola Bergamasca hanno invece caratteri geotecnici più simili a quelle di ammassi rocciosi.



PERICOLOSITÀ PER INSTABILITÀ DEI VERSANTI (2)

Evidenzia pericolosità geologica dovuta a instabilità del pendio, di diverso grado e per diversa ampiezza di superficie: da quella dei piccoli smottamenti e dell'incipiente soliflusso, fino a quella delle frane. In quest'ultimo caso, sono distinte le forme attive, riconosciute dalle evidenze di campagna e/o in base a notizie storiche, le aree potenzialmente instabili e le forme quiescenti o stabilizzate, secondo quanto propone la Carta Geomorfologica con Legenda Uniformata P.A.I..

- classe 2a: comprende **aree predisposte a caduta massi** da pareti rocciose. Tali situazioni sono dovute alla presenza di rocce fratturate e con scadenti caratteri geomeccanici, a cui si possono aggiungere le condizioni di forte acclività, fino a morfologie strapiombanti, e l'azione disgregante delle radici delle piante. Per prevenire e/o ripristinare condizioni di stabilità accettabili in queste tipo di situazioni si può ricorrere ad interventi di consolidamento corticale (disgaggi, tiranti, bullonature, chiodature, reti in aderenza).

Il pericolo riguarda soprattutto i fronti rocciosi risultanti dall'escavazione mineraria sui quali sono state messe in atto opere di difesa a protezione della strada di Parzanica a monte di via Sarnico, dove sono le storiche ville di Tavernola. L'indicazione di questa classe intende sollecitare, anche in aree oggi non gravate da forme attive, particolare attenzione alle condizioni di stabilità del pendio durante lo sviluppo di eventuali lavori di costruzione.

- CLASSE 2B: in questo ambito rientrano le **aree soggette a caduta di massi** da pareti rocciose, cioè le fasce di terreno sottostanti ai punti di distacco e raggiunte dalle traiettorie dei blocchi, dunque a valle dei siti individuate nella classe precedente. Per mitigare o controllare questo tipo di pericolosità, oltre agli interventi di consolidamento già citati, si ricorre in genere a opere di difesa passiva, come le barriere elastoplastiche, i muri in gabbioni, i valli e tomi in terre armate o le gallerie artificiali.

Questo tipo di pericolosità riguarda l'area estrattiva cementifera, la zona di Predello, il parcheggio presso il pozzo "Moia" e un'area vicina (Sud) a Gallinarga. Per affrontare queste situazioni e la conseguente progettazione di difese, occorrono studi specifici che forniscano i parametri necessari al posizionamento e dimensionamento di tali presidi.

- CLASSE 2C: comprende **ambiti di frana attiva**, corrispondenti alla classe P.A.I. "Fa"; sono rappresentati da ammassi rocciosi molto fessurati e con giacitura a franapoggio, come si riscontra nel settore in frana nella parte alta della concessione mineraria "Ognoli" fino alla contrada Squadre di Vigolo. Le dimensioni di tale frana hanno richiesto una riprofilatura del versante, onde alleggerirne il corpo, consolidamento corticale (tiranti, bulloni e pannelli in fune d'acciaio) e un sistema di contrasto all'erosione e all'infiltrazione d'acqua, costituito da drenaggi, sistemazioni idrauliche (briglie, canali di gronda) piantumazioni e varie opere d'ingegneria naturalistica. Questi ambiti sono costantemente monitorati e devono essere considerate nei piani di Protezione Civile, anche se attualmente sono gestite internamente alla Società cementifera. Il monitoraggio continuo consente mediante tempestivi allarmi di mitigare il rischio per il transito sulla variante di Cambianica.

- CLASSE 2D: segnala la pericolosità legata alle **frane quiescenti** (scivolamenti, frane in roccia per caduta massi e avvallamenti spondali) che il P.A.I. distingue come "Fq". Tali forme di dissesto potrebbero essere riattivate dagli stessi fattori che le hanno originariamente create; si affrontano con gli stessi metodi descritti per la classe precedente.



In Tavernola vi sono forme di frana quiescente vicine o collegate con quella attiva già citata, mentre altre sono diffuse lungo la valle del Rino e in alcune sue minori tributarie (valli di Negrignana e di Mondara). Sono particolari le frane quiescenti che caratterizzano la sponda lacustre (avvallamenti), che con una certa ricorrenza coinvolgono soprattutto la strada litoranea.

- **CLASSE 2E:** riguarda la pericolosità degli ambiti di **frane stabilizzate** (“Fs” del P.A.I.); queste situazioni sono già ricondotte, per evoluzione naturale o per intervento dell’uomo, a condizioni di stabilità e non richiedono opere di presidio; tuttavia per mutare la destinazione d’uso di tali ambiti è opportuno eseguire approfondimenti e valutazioni di carattere geologico, al fine di evitare la riattivazione dei dissesti. Un esempio di questa situazione è offerto dalla sistemazione effettuata a Mondara dove l’erosione regressiva del ciglio del pianoro è stata fermata con la costruzione di un muro di contenimento in terre armate. Qualche frana stabilizzata si trova nell’area mineraria.

- **CLASSE 2F:** evidenzia la pericolosità che deriva da **potenziale instabilità dei terreni acclivi**, come si può avere sui cigli di scarpate spondali incise nei terreni glaciali. Questi ambiti spesso sono compresi nelle fasce di rispetto dei corsi d’acqua e la loro fruibilità, quando possibile, deve essere soggetta a una preventiva valutazione della stabilità anche della parte sottostante della scarpata, con particolare riguardo alla sua evoluzione geomorfica (erosione al piede, arretramento del ciglio, solchi di erosione, ecc.). Questa categoria è molto frequente nelle valli di Negrignana, Mondara, Valzello e del Rino.

- **CLASSE 2G:** evidenzia la pericolosità che deriva da **potenziale instabilità dei terreni lungo la sponda lacustre**. In molti punti si sono verificati, anche di recente, frane della sponda lacustre (“avvallamenti”) soprattutto nei tratti in cui, sebbene non rocciosa, la scarpata sotto lo specchio d’acqua è molto ripida; si può considerare che il verificarsi di tali fenomeni abbia una particolare predisposizione proprio di questa parte del lago, poiché qui si raggiungono le massime profondità. Lesioni si osservano su manufatti e su murature di costruzioni esistenti e indicano la necessità di tempestivi interventi di consolidamento. Il recente ampliamento della sede stradale della litoranea tra Villa Capuani e la cemeniteria ha richiesto notevoli lavori di consolidamento del terreno spondale, che fanno ritenere poco fruibile questa fascia per l’espansione edilizia. Questa fascia può anche essere sede di esondazione delle acque del lago.

- **CLASSE 2H:** evidenzia la pericolosità che deriva da **potenziale instabilità dei terreni acclivi su roccia subaffiorante**, dove sia la giacitura sfavorevole degli strati sia lo stato di fratturazione dell’ammasso roccioso determinano instabilità del sottile strato di terreno e il distacco di piccoli sassi; spesso ciò è causato o aggravato dall’incuria del bosco. Questa categoria è molto frequente nella valle delle Pertiche, nei dintorni di Case il Monte e sulle pendici rocciose soprastanti via Sarnico.

- **CLASSE 2I:** identifica la pericolosità geologica legata a **lieve instabilità del pendio**. Si tratta di ambiti in cui il terreno presenta forme di soliflusso, solchi da ruscellamento diffuso, decorticamenti del suolo per sradicamento di piante, terrazzette da pascolo, piccole ma diffuse altre forme di erosione superficiale. Nella maggior parte dei casi si tratta di problemi risolvibili con una maggior cura del suolo e del soprassuolo o con piccoli interventi di contenimento (biostuoie, viminate, palizzate, muretti, ecc.) o di riprofilatura del pendio. Le zone a monte di Cambianica e di Negrignana, i boschi attorno a cascina Mondara e Case il Monte, le superfici coltivate presso cascina Piazzone e attorno a Moia ricadono in questa classe. L’indicazione intende sollecitare, anche in aree oggi non ancora segnate da forme attive, particolare attenzione alle condizioni di stabilità del pendio durante lo sviluppo di eventuali lavori di costruzione.



PERICOLOSITÀ PER TRASPORTO IN MASSA SU CONOIDE (3)

Questa categoria di pericolosità riguarda le conoidi e si può ritenere che rappresenti una forma di pericolosità mista tra quella da instabilità del versante e quella dovuta alla dinamica dei corsi d'acqua.

- CLASSE 3A: si riferisce ad **aree di conoide attiva** (“Ca” del P.A.I.); questo tipo di pericolosità grava attorno ai tratti terminali del torrente Rino e del rio Gallinarga, interessa l'edificato storico di Tavernola e un settore vicino a Predello. Le opere di mitigazione di tale pericolosità potrebbero prevedere la costruzione di una o più vasche di dissipazione e sedimentazione a monte, all'apice delle conoidi, e lo svasso e la assidua pulizia degli alvei.

- CLASSE 3B: pericolosità degli ambiti di **conoide parzialmente protetta** (“Cp” del P.A.I.) si evidenzia soprattutto nel centro storico di Tavernola. In questi casi la difesa è affidata ad opere di rinforzo spondale, come quelle che già sono lungo il Rino e il rio Valzello o presso Gallinarga, all'apice delle conoidi.

- CLASSE 3C: indica pericolosità relativa agli ambiti di **conoide protetta** (“Cn” del P.A.I.), cioè quelle situazioni in cui si sono già attuati adeguati lavori di regimazione, funzionali ad ottenere condizioni di sicurezza; indica altresì quelle parti delle conoidi in cui è bassa la probabilità di essere raggiunte da eventi di trasporto in massa (colate di detriti) e da esondazioni del torrente, poiché l'alveo è ben approfondito tra sponde sicure rispetto al terreno circostante (zone di Predello e settori distali delle conoidi di Gallinarga e del Rino).

PERICOLOSITÀ PER VULNERABILITÀ IDROGEOLOGICA (4)

Questa classe comprende ambiti in cui la rapida infiltrazione delle acque superficiali nel sottosuolo costituisce condizione di elevata vulnerabilità delle acque sotterranee. In queste aree la dispersione di reflui fognari o di altre sostanze negli strati superficiali del terreno può causare seri danni, anche irreversibili, alla risorsa idrica. Rientrano in questa classe le aree di salvaguardia delle sorgenti e dei pozzi ad uso potabile, definite ai sensi del D.lgs. 152/1999, integrato dal D.lgs. 258/2000 e con riferimento alla D.G.R. n. 7/12693 del 10 aprile 2003.

D'altra parte, assegnando questa classe di pericolosità s'intende anche evidenziare alcune situazioni in cui le emergenze idriche diffuse, ovvero l'impregnazione d'acqua, anche in presenza di captazioni parzialmente abbandonate, possono creare problemi alla stabilità dei terreni. Analogamente anche la bassa soggiacenza della falda nelle zone prospicienti il lago può creare problemi agli scavi, ai sistemi fondazionali e alle costruzioni (infiltrazioni nei locali interrati, cedimenti, ecc.).

Le sottoclassi individuate per questa categoria sono:

- CLASSE 4A: pericolosità idrogeologica in **area di tutela assoluta** di captazioni idriche ad uso potabile per le sorgenti “Milesi” e “Rogginò” e per i pozzi di “via Roma” e “Moia” (oggi UNIACQUE).

- CLASSE 4B: pericolosità idrogeologica in **area di rispetto** di captazioni idriche ad uso potabile, definite con “criterio geometrico” (sette circolare con raggio duecento metri intercettato dall'isoipsa alla quota della sorgente per le sorgenti e cerchio con raggio duecento metri per i pozzi).



- **CLASSE 4C**: situazioni di pericolosità idrogeologica in **aree con emergenze idriche diffuse** che possono creare problemi di instabilità al terreno, nel caso di Tavernola, coincidono con la presenza di piccole venute d'acqua che alimentano alcune fontane; sono diffuse soprattutto al passaggio tra i terreni argillosi e ghiaiosi glaciali e il substrato roccioso, come presso il campo sportivo di Cambianica, alla Foppa, al cimitero di Tavernola, a Predello e a Moia.

- **CLASSE 4D**: indica pericolosità idrogeologica in **area di bassa soggiacenza della falda acquifera**, che per Tavernola riguarda la superficie della conoide del Rino e i dintorni di Moia e Gallinarga. La poca profondità della falda da un lato rappresenta un fattore di vulnerabilità dell'acquifero dei pozzi ad uso idropotabile, dall'altro costituisce un ostacolo o, quanto meno, un elemento d'attenzione per i volumi interrati.

PERICOLOSITÀ DA DINAMICA IDRAULICA (5)

Questa classe indica situazioni di pericolosità geologica legate alla dinamica dei corsi d'acqua. Vi rientrano sia gli ambiti di normale pertinenza dei fiumi e dei torrenti, sia le aree che per effetto di condizioni di dissesto o di alterazione degli alvei (sovralluvionamenti, occlusioni, cedimenti spondali) o per condizioni idrauliche particolari (piene eccezionali) possono essere investite e danneggiate da deflussi idrici. Eventuali opere di regimazione idraulica e di difesa realizzate e il loro grado di manutenzione ed efficacia sono considerati a parte, tra i fattori di mitigazione della pericolosità.

- **CLASSE 5A**: ambiti con **pericolosità da esondazione molto elevata** (“**Ee**” del P.A.I.), rappresentati in carta da areali, che indicano al tempo stesso le aree di normale pertinenza di ciascun corso d'acqua superficiale. Di fatto si tratta degli alvei stessi dei principali corsi d'acqua di Tavernola (Rino, Negrignana, Mondara, rio delle Pertiche e rio Valzello).

- **CLASSE 5B**: indica pericolosità in ambiti di **normale pertinenza dei corsi d'acqua** superficiali: riguarda le fasce che racchiudono i corsi d'acqua minori rappresentati in carta con linea semplice e che sono soggette a possibilità di esondazione molto elevata (“**Ee**” lineare del P.A.I.). Di fatto sono gli alvei affluenti delle valli principali su indicate e le aste del R.I.M. afferenti direttamente a lago.

- **CLASSE 5C**: la **pericolosità elevata da esondazione** (“**Eb**” del P.A.I.) riguarda limitati settori della valle di Mondara, presso il villaggio Bone, e della valle delle Pertiche, presso lo sbocco a lago. In quest'ultima situazione, solamente una deviazione dell'alveo principale potrebbe garantire la sicurezza delle strutture residenziali esistenti (Casella).

- **CLASSE 5D**: rappresenta la **pericolosità da esondazione media o moderata** (“**Em**” del P.A.I.): interessa solamente i terreni sulle sponde della valle di Mondara, presso l'attraversamento della strada di Nesse, Mondara e Negrignana, dove le opere di regimazione idraulica sono incomplete e permane qualche possibilità di esondazione, soprattutto per il fatto che la vasca di sedimentazione è colma.

- **CLASSE 5E**: distingue il **pericolo di allagamenti con bassa probabilità di accadimento** (senza definizione del tempo di ritorno) causati soprattutto dalla scarsa manutenzione del R.I.M., dove vi sono anche da tratti coperti e/o poco inalveati, come nella zona di Cambianica e lungo il rio che scende dalla sorgente “Roggino”. Questa sottoclasse comprende anche le fasce attorno al canale di gronda (o fosso di guardia) tra Piazzone e Cortinica, ma in questo caso piuttosto che una pericolosità da esondazione si tratta di una fascia di rispetto della stessa opera idraulica.



- **CLASSE 5F:** distingue il **pericolo di allagamenti in occasione di eventi meteorici eccezionali** (senza definizione del tempo di ritorno) dovuto al raccogliersi di cospicui volumi di acqua piovana in occasione di certi temporali in rapporto alla esigua rete di drenaggio superficiale; si originano in tal modo deflussi idrici violenti che alluvionano strade e le sottostanti aree abitate. Il fenomeno riguarda le pendici settentrionale del monte Pingiolo, tra Piazzone, cascina Antema, Campodosso, Bianica e il centro di Tavernola. La questione è stata studiata da tempo e in più di un'occasione e si è giunti in ogni caso alla conclusione che per risolvere il problema l'unica possibilità sia quella di costruire un articolato sistema di canali di gronda a monte delle zone abitate disposti in modo che possano far defluire l'acqua raccolta in alvei sicuri (cfr. "*Studio dei principali dissesti del territorio tavernolese*" - GEO TER, 1997).

Situazioni analoghe di pericolo si presentano anche in un settore della valle di Mondara, in corrispondenza della vecchia strada, e in alcune parti di Negrignana, Nesse, Cortinica e della conca di Vasso.

- **CLASSE 5G: pericolosità da sovralluvionamento**, cioè dovuta all'accumulo eccessivo di sedimenti ghiaiosi, portati dalle piene o da colate detriti, negli alvei; ne sono soggette l'asta del Rino e quella della valle di Negrignana, ma il fenomeno riguarda, in minor misura, anche l'asta del Valzello sopra Prespino. Questa classe di pericolosità di solito è compresa entro le aree di esondazione molto elevata e/o a quelle di normale pertinenza dei corsi d'acqua.

PERICOLOSITÀ DA SCADENTI CARATTERI GEOTECNICI E/O GEOMECCANICI (6)

Le seguenti sottoclassi descrivono diverse situazioni di pericolo dovute alla scarsa qualità tecnica dei terreni o degli ammassi rocciosi, che rende necessaria l'adozione di accorgimenti costruttivi speciali. Ci si riferisce soprattutto ai terreni limo-sabbiosi e limo-argillosi di origine glaciale e a quelli delle conoidi, ma anche alla sfavorevole giacitura degli strati rocciosi e/o alla presenza in essi di livelletti argillosi che, soprattutto se bagnati, possono agire da lubrificanti. L'utilizzo di aree che presentano questi caratteri non può prescindere da preventive indagini geotecniche, comprendenti la misurazione diretta e puntuale dei parametri fisici del terreno (granulometria, peso di volume, angolo di attrito interno, coesione, ecc.) e/o della roccia (RQD, peso di volume, parametri di resistenza di Hoek e Brown dell'ammasso roccioso e parametri di Barton JCS-JRC dei singoli giunti), e da valutazioni sul loro drenaggio.

- **CLASSE 6A: pericolosità dovuta a terreno limo-argilloso e/o con scarso drenaggio;** contraddistingue solamente il pianoro di Mondara, dove si osserva comunque che il terreno presenta un forte grado di addensamento (cfr. costruzione dei muri in terre armate al piede della scarpata).

- **CLASSE 6B: pericolosità dovuta a lenti limo-sabbiose** riguarda gli ambiti distali della conoide del torrente Rino, dove accade che i terreni di buoni caratteri geotecnici (ghiaia e ciottoli con sabbia o sabbia limosa) presentino intercalazioni di sedimenti fini cedevoli (limo sabbioso sciolto); può essere necessario il ricorso a fondazioni su pali (come per la passerella lungolago ai giardinetti di via Roma).

- **CLASSE 6C: pericolosità dovuta alla presenza di riporti** di inerti terrosi o di discariche: il caso riguarda significativamente l'area mineraria e industriale cementifera, anche se in genere si tratta di materiale ben compattato e spesso sostenuto da muri al piede (terre armate) o da altri presidi di ingegneria ambientale.



- **CLASSE 6D: pericolosità dovuta a rocce disposte a franapoggio**; riguarda in particolare il settore più alto della concessione mineraria, in corrispondenza della frana attiva (Fa); ciò è dovuto anche alla presenza di una diffusa disarticolazione dell'ammasso roccioso. Anche il settore tra Foppe e Calchere sopra la cascina Arianna, fino all'area della piazzola ecologica, è soggetto da questo tipo di pericolosità, sebbene il grado di fratturazione della roccia sia minore e non vi siano interstrati argillosi.

Questa sottoclasse è assegnata a tutti i pendii in cui la giacitura degli strati rocciosi è a franapoggio, come sul fianco meridionale della sinclinale di Tavernola (immersione a N o NNE con inclinazione di 35°÷40°) sebbene in linea generale i caratteri geomeccanici siano buoni. Questo tipo di situazione riguarda i versanti esposti a Nord della parte alta della valli di Negrignana, Mondara e delle Pertiche e tutto il versante settentrionale del monte Pingiolo.

- **CLASSE 6E: pericolosità dovuta a rocce fratturate giacenti a traverpoggio o a reggipoggio**; sui versanti mediamente acclivi tale giacitura delle rocce associata a fratturazione può dar luogo a distacchi di blocchi isolati, come accade sotto Cambianica, a Sud di Piazzone, sopra Predello, in gran parte della valle delle Pertiche e a Est di Case il Monte. Nei punti in cui l'acclività del pendio è molto forte, come sul Corno di Predore, il distacco di blocchi può assumere proporzioni ed effetti rilevanti, con crolli che condizionano pesantemente la viabilità, tanto da rendere necessario per la sicurezza del transito la costruzione di tracciati alternativi (galleria) per garantirne la sicurezza. A riguardo della classificazione del P.A.I. una simile situazione si definisce nel complesso come frana quiescente (Fs) con puntuali frane attive (Fa).

PERICOLOSITÀ DA MODIFICAZIONI ANTROPICHE (7)

Le seguenti sottoclassi dettagliano ambiti in cui l'intervento umano (o il mancato intervento) ha introdotto condizioni di instabilità ovvero ha modificato la dinamica evolutiva naturale del territorio, apportandovi fattori di pericolosità geologica reale o potenziale. L'indicazione riguarda sia opere di sostegno dei pendii, come terrazzamenti e muri a secco non più mantenuti, ma soprattutto strutture idrauliche, intubazioni o alterazioni della sezione dei corsi d'acqua, che introducono la possibilità di avarie, rotture, occlusioni ed esondazioni. Effetti negativi possono essere legati anche all'attività estrattiva:

- **CLASSE 7A: pericolosità da opere di sostegno e terrazzamenti agricoli**. L'uso agricolo di superfici mediamente acclivi è stato reso possibile anticamente con la costruzione di terrazzi artificiali tipicamente sostenuti da muretti in pietra a secco; il progressivo abbandono di queste pratiche colturali e la conseguente crescita di piante infestanti favoriscono la disgregazione dei muri, le cui pietre spesso rotolano a valle. Tale fenomeno è particolarmente evidente in un settore lungo "via de Bas", sopra di via Sarnico. Sarebbe sufficiente mantenere i fondi agricoli per ricondurre tali ambiti a condizioni soddisfacenti di stabilità.

- **CLASSE 7B: evidenza la pericolosità per occlusione d'alveo** o restringimento della sezione idraulica causati da attraversamenti viari (ponti e tombotti) o da tratti coperti e/o intubati. Particolare rilievo assumono in questa casistica i corsi d'acqua intubati nei dintorni di Cambianica, in particolare quelli tra Prespino e il ponte del Diavolo, sul torrente Rino. Qui, oltre alla manutenzione delle strutture esistenti sarebbe necessaria un'approfondita verifica idraulica, al fine di garantire le aree da flussi di trasporto solido e da eccessiva quantità d'acqua raccolta dalla strada di Vigolo; per tale motivo occorrerebbe anche un'attenta cura del soprassuolo sulle pendici soprastanti.



- **CLASSE 7C:** evidenzia la **pericolosità dei canali di drenaggio** realizzati per raccogliere e allontanare le acque dalle zone franose o da quelle allagabili a seguito di piogge intense. La sottoclasse riguarda i fossi e le canalette costruite nel settore franoso della miniera “Ognoli” e le cunette lungo le strade interne al perimetro della concessione, ma anche il canale di gronda costruito tra Piazzone e Cortinica per intercettare e smaltire parte delle acque piovane che si raccolgono sul Pingiolo.
- **CLASSE 7D:** indica la **pericolosità relativa all’area estrattiva** connessa alla presenza di riprofilature, riporti terrosi e pareti di roccia acclivi, generalmente protette da interventi di stabilizzazione e di drenaggio, la cui efficacia deve però essere garantita nel tempo attraverso periodiche manutenzioni per poter fruire dell’area in sicurezza.

ELEMENTI DI MITIGAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ (8)

Sul territorio di Tavernola Bergamasca sono stati effettuati numerosi interventi di mitigazione della pericolosità geologica di alcune aree. Si tratta di lavori di stabilizzazione e messa in sicurezza dei versanti, di regimazioni idrauliche e di consolidamenti tesi a migliorare la qualità tecnici di taluni terreni e ammassi rocciosi. La maggior parte delle opere eseguite interessa i corsi d’acqua che attraversano le zone abitate e le scarpate rocciose che sovrastano alcuni tratti della viabilità comunale e provinciale. In ogni caso tali presidi richiedono controlli periodici e manutenzione, onde garantirne l’efficacia. Secondo la loro tipologia sono distinti:

- **classe 8a: opere in alveo (trasversali e longitudinali).** Si tratta di opere idrauliche con le quali si sono sistemati alcuni alvei dissestati (valle di Mondara), soprattutto con lo scopo di limitare il trasporto solido e fenomeni che possano coinvolgere i centri abitati. Numerosi muri spondali sono stati costruiti lungo numerose aste del reticolo idrico, principale e minore, soprattutto per proteggere le abitazioni da possibili esondazioni dei torrenti e/o per contenere l’erosione dell’alveo: riguardano i tratti terminali del torrente Rino, della valle delle Pertiche e del rio Gallinarga; il rio Valzello presso l’area artigianale di via S.Rocco; qualche valzello presso Cambianica, come il rio Ognoli.
- **classe 8b: canale di gronda.** Si tratta di una struttura idraulica costruita all’inizio di questo millennio per mitigare il pericolo di allagamenti nel centro storico di Tavernola (vedi classe 5f). Non si tratta di un intervento di per sé risolutivo, ma della prima parte di un progetto complessivo di sistemazione idraulica delle pendici del monte Pingiolo.
- **classe 8c: difese per la caduta massi.** Sono state posti in opera presidi di questo tipo soprattutto per alcune scarpate rocciose molto acclivi lungo la strada litoranea, sulla strada di Vigolo prima di Cambianica e nella parte alta di via Moia: si tratta di reti metalliche e di barriere paramassi. Tra le zone di Tavernola più interessate da questi lavori si evidenziano l’area estrattiva “Ognoli”, dove è necessario per garantire il transito sulla bretella di Cambianica, e il tratto dismesso della vecchia strada statale al Corno di Predore. In quest’ultimo luogo alle reti si sono aggiunte anche tratti di galleria artificiale. Anche la galleria di variante della strada che unisce Tavernola a Predore si può considerare un’opera contro la caduta massi.
- **classe 8d: opere di ingegneria naturalistica.** Sono segnalati numerosi interventi realizzati con questa tecnica, che è stata applicata per sistemare alcune frane, prevenirne l’insorgere o rendere fruibili alcune aree vicine alle abitazioni: si tratta di muri in terre armate, palificate semplici o doppie, gabbionate e altre applicazioni bioingegneristiche (geostuoie). Oltre alle vaste aree recuperate nell’ambito estrattivo cementifero, queste mitigazioni riguardano la zona del canale di gronda, le sistemazioni della valle di Mondara e la zona di più recente costruzione a Moia.



9. CARTA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA

(cfr. tavola 10, scala 1:10.000; tavola 10a-b, scala 1:2.000)

La carta conclusiva di tutto questo lavoro d'indagine geologica è redatta su tavole in scala 1:2.000 per un ampio settore del territorio, comprendente le aree urbanizzate o urbanizzabili e, in conformità con le disposizioni regionali, anche in scala 1:10.000 per l'intero territorio comunale. La base topografica utilizzata per la redazione di entrambe le scale è il rilievo aerofotogrammetrico comunale del 2010.

La "Carta della fattibilità geologica di Piano" rappresenta il documento finale sul quale si focalizza l'attenzione degli Amministratori e dei Cittadini; deve essere quindi uno strumento chiaro, inequivocabile, di immediata comprensione. Il suo scopo principale è quello di fornire al Pianificatore uno strumento che visualizzi in modo immediato la vocazione del territorio, in particolare ai fini edilizi o per la realizzazione di opere di urbanizzazione, indicando nel contempo le condizioni alle quali questo processo deve avvenire, nel rispetto del contesto geoambientale. La carta è il risultato della valutazione mediata di tutti gli elementi studiati e, in sintesi, della pericolosità geologica, come illustrato nell'apposito documento, qui tradotto in classi di fattibilità.

La base tematica di partenza di questo elaborato è la carta di sintesi della pericolosità geologica. Nel caso in cui in un'area omogenea per pericolosità/vulnerabilità vi sia la contemporanea presenza di più fattori, si attribuisce la classe di fattibilità più restrittiva, secondo le indicazioni dell'apposita tabella dai *Criteri* attuativi della l.r. 12/05.

Sulle campiture che rappresentano le classi di fattibilità è sovrasegnata, mediante una retinatura trasparente, la zonazione di amplificazione sismica locale, illustrata nelle pagine precedenti e definita nella "Carta degli scenari di pericolosità sismica". Sono anche evidenziate le aree per le quali è stato effettuato lo studio sismico di secondo livello (zone Z4). La zonazione di amplificazione sismica locale non influisce sull'attribuzione delle classi di fattibilità geologica.

Conformemente alle indicazioni di Regione Lombardia, sono distinte quattro classi di fattibilità, delle quali la prima senza particolari limitazioni, mentre le altre con grado di limitazione crescente dalla seconda alla quarta. Per rendere più agevole la lettura di queste carte, ciascuna area è identificata anche da una sigla che indica la sottoclasse di appartenenza e, in pratica, ne evidenzia il fattore limitante più rappresentativo. Nell'utilizzo pratico, è necessario confrontare la Carta di Fattibilità almeno con la Carta di Sintesi, per ottenere tutte le informazioni riguardanti la pericolosità di una determinata area. Le classi sono così distinte:

- **aree di fattibilità senza particolari limitazioni (1)**: si tratta di aree per le quali non sono state individuate significative situazioni di pericolosità geologica. In tali ambiti non vi sono preclusioni o attenzioni di carattere geologico che in qualche modo possano limitare il loro utilizzo ai fini insediativi e edilizi; dunque ad oggi le progettazioni e le relative costruzioni sono qui sottoposte solamente alle norme contenute nel D.M. 14 gennaio 2008.

In classe 1 di fattibilità geologica sono compresi alcuni settori già urbanizzati in corrispondenza del centro storico di Tavernola e della frazione Bianica e anche alcune aree vocate ad attività agricole o zootecniche, come quelle presso Negrignana e nella conca di Vasso.



- **aree di fattibilità con modeste limitazioni (2)**: in questi ambiti la situazione geologica ha una significativa incidenza sulle scelte progettuali e sulle costruzioni ovvero essa presenta un quadro leggermente problematico, ma l'applicazione di opportuni accorgimenti e/o l'introduzione di qualche eventuale limitazione d'uso possono consentirne un utilizzo normalmente soddisfacente. Le fasi di progettazione urbanistica ed edilizia per queste aree devono essere supportate da accertamenti geologici di fattibilità finalizzati al singolo progetto, oltre che dalle normali verifiche geotecniche ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008.

Si tratta di ambiti in cui l'acclività del terreno è sensibile, ma rientra in valori accettabili (fino a 35° per le terre e le rocce deboli; fino a 42° per rocce sane o poco fratturate) e non sono richieste particolari attenzioni nei confronti della stabilità dei pendii. In queste aree i terreni superficiali contengono una certa frazione limo-sabbiosa, ma generalmente presentano un elevato grado di addensamento e localmente possono essere addirittura cementati (qualità geotecniche da medie a buone) o gli ammassi rocciosi sono poco fessurati o a stratificazione media (buone qualità geomeccaniche). Questi ambiti sono o possono essere interessati da fenomeni gravitativi ed erosivi di modesta entità (piccoli smottamenti, ruscellamenti e ristagni d'acqua) o da forme di instabilità sulle quali si è già intervenuti con efficaci sistemazioni.

La relativa cartografia tematica mette in evidenza il principale fattore geologico che determina la limitazione di fruibilità di ogni area mediante una sigla che definisce una sottoclasse; per un completo esame delle problematiche di ciascuna area occorre comunque verificare tutte le carte che compongono lo studio geologico ed in particolare la Carta di Sintesi e quella dei Vincoli.

SOTTOCLASSE	CARATTERISTICHE LIMITANTI
2a	aree poco acclivi ($S = 10^\circ \div 25^\circ$) nelle quali possono presentarsi modestissimi forme erosive del cotico erboso e solchi di ruscellamento
2b	aree moderatamente acclivi ($S = 25^\circ \div 35^\circ$) con terreni di origine glaciale, interessate da locali forme di smottamento e decorticamento del suolo sulle balze dei pendii gradonati (terrazzati) e da modesti solchi di ruscellamento
2c	aree da moderatamente acclivi ad acclivi ($S = 25^\circ \div 42^\circ$) su roccia affiorante e/o subaffiorante, con piccole forme di instabilità e/o d'erosione del sottile terreno eluviale
2d	aree di conoide con bassa probabilità (H2) di essere interessate da esondazione del corso d'acqua o da colate di detriti

Le aree in classe 2 sono piuttosto diffuse nel territorio tavernolese e interessano gran parte di alcune frazioni (Cambianica, Campodosso, Moia, Gallinarga) e sono rappresentate da terreni soprattutto agricoli e pascolivi, ma anche diffusamente toccati dall'urbanizzazione degli anni '70 e '80 del secolo scorso.

La classe **2a** comprende gran parte delle aree di Cambianica e si estende sino alla dorsale che separa la profonda gola del torrente Rino, interessando i terreni di Copiana e quelli verso Vigolo. Anche le aree di Nesse, Madonna di Cortinica, Villaggio Bone, Campodosso e un settore a Sud di Bianica hanno la stessa classificazione, come è attribuita pure alla fascia in fregio alla strada lungolago a Moia e Predello e alla zona circostante il Dosso. Anche il terrazzo di Mondara, caratterizzato da terreno abbastanza argilloso ma molto compatto, è assegnato alla classe "2a", così come i non aspri crinali



rocciosi che racchiudono i solchi vallivi principali del settore meridionale di Tavernola (valle di Negrignana, valle di Mondara e valle delle Pertiche).

La classe **2b** segnala ambiti in cui il terreno presenta acclività lievemente maggiori; vi appartengono le morfologie e i terreni di origine glaciale appena a monte delle aree "2a" in corrispondenza dei crinali sopra Cambianica, le aree tra Piazzone e il cimitero di Tavernola, quelle vicine alla cascina Antema, quelle tra Vasso e Negrignana, gran parte della zona di Moia e quelle attorno a Gallinarga. La stessa classe è assegnata ai terreni eluviali degli ambiti collinari a SE di Mondara e presso Case il Monte.

Alla classe **2c** indica superfici moderatamente acclivi su ammassi rocciosi ben abbancati; vi appartengono una fascia a valle di Cambianica che guarda il lago, un piccolo settore presso la cascina Arianna e Foppe e soprattutto il settore subito a Sud del centro storico, quello di alcune ville storiche di Tavernola, risalendo fino a Piazzone. La stessa classe di fattibilità è attribuita anche ad alcune aree prossime al crinale tra Vasso e Mondara e attorno a Case il Monte.

La classe **2d** interessa solamente la parte più esterna della conoide di Gallinarga.

- **aree di fattibilità con consistenti limitazioni (3)**: va sottolineato che si tratta di aree utilizzabili, nelle quali i fattori di pericolosità geologica possono essere mitigati e superati fino a ricondurre la situazione alla normalità; tuttavia la tipologia di tali fenomeni richiede interventi di notevole consistenza, che devono essere definiti mediante studi e specifiche progettazioni a livello di intero comparto. Sono dunque necessari accurati approfondimenti d'indagine geologica e/o idraulica, con conseguente progettazione e attuazione di lavori mirati alla difesa, al consolidamento, alla bonifica o al riordino idraulico e idrogeologico, ove necessario anche per l'esistente, e con eventuale attivazione di adeguati sistemi di monitoraggio. Tale specifica progettazione e la messa in sicurezza delle aree devono necessariamente precedere e conformare la realizzazione degli interventi edilizi, ferma restando l'applicazione delle norme di carattere geotecnico contenute nel Testo Unitario per le Costruzioni D.M. 14.01.2008.

Questa classe appresenta dunque un preciso segnale di attenzione per l'Amministrazione, che potrebbe venirsi a trovare nella necessità di intervenire dove il Cittadino non ha la possibilità di farlo, ma dove spesso capita che, dopo aver costruito, esso ponga all'Ente pubblico richiesta d'intervento.

Si tratta di ambiti con superfici sensibilmente acclivi, ma non tali da essere escludenti (fino a 40° per le terre e le rocce deboli o anche più per le rocce sane); sono aree dove le rocce giacciono a franapoggio e/o superfici interessate da accentuata erosione, soliflusso e smottamenti e/o ambiti in cui i terreni sono incisi da ruscellamenti diffusi e deflussi disordinati e/o superfici sottostanti a scarpate rocciose o glaciali instabili. La classe 3 comprende superfici che possono essere investite dall'esondazione di corsi d'acqua, anche a causa di inopportune modificazioni antropiche, o da trasporto solido su conoidi; identifica anche le aree che per la loro conformazione geologica possono raccogliere grandi quantità d'acqua che, in assenza di un adeguato reticolo idrico, defluiscono a valle disordinatamente investendo il centro abitato sottostante. Qui rientrano anche aree con emergenze idriche diffuse e/o zone di bassa soggiacenza della falda e l'area estrattiva del settore settentrionale del territorio tavernolese dove gli scavi hanno profondamente modificato il quadro geomorfologico.



Anche per la classe 3 di fattibilità un certo numero di sottoclassi, identificate ciascuna da una sigla, specificano sulla relativa cartografia il principale elemento geologico che determina le limitazioni d'uso del territorio ovvero le necessarie attenzioni da considerare. Per un completo esame delle problematiche di ciascuna area occorre comunque verificare tutte le carte che compongono lo studio geologico ed in particolare la Carta di Sintesi e quella dei Vincoli.

SOTTOCLASSE	CARATTERISTICHE LIMITANTI
3e	area acclive ($S > 35^\circ$) con modeste forme di instabilità gravitativa dei terreni, come piccoli smottamenti, anche in prossimità e in conseguenza di scaturigini d'acqua sotterranea.
3f	area acclive ($S > 35^\circ$) con forme d'erosione superficiale e di degrado dei terreni, anche connesse all'attività antropica (sentieri, piste o strade senza regolazioni idrauliche) o alla fauna selvatica (cinghiali).
3g	area acclive ($S > 35^\circ$) costituita da terreno detritico sciolto e caratterizzata da un forte stato di degrado dovuto ad abbandono o scarsa manutenzione di manufatti (muri di cinta, muretti di sostegno dei terrazzamenti, sentieri poco usati)
3h	area acclive ($S > 42^\circ$) rocciosa, con strati a traverpoggio, poco fratturati e abbastanza stabili, priva di drenaggio superficiale, con ruscellamento diffuso; situazioni di degrado del terreno dipendenti dalla mancata cura e rinnovamento colturale del bosco
3i	area con probabilità non elevata di essere soggetta a caduta massi (fasce di detrito colonizzato) alla base di pendii rocciosi molto acclivi o di scarpate di terreno glaciale in erosione con blocchi e ciottoli che possono essere scalzati dal terreno
3j	area di frana stabilizzata (Fs) indicata sulla carta P.A.I. cioè pendio molto acclive dal quale potrebbero staccarsi blocchi rocciosi, ma già stabilizzato mediante l'applicazione di reti addossate oppure con possibilità di scivolamento, ma già protetto da tomo in terre armate
3k	area di conoide parzialmente protetta (Cp) con media probabilità (H3) di essere interessata da esondazione del corso d'acqua o da colate di detrito
3l	area prevalentemente formata da rocce stratificate con giacitura a franapoggio ovvero di scadente qualità geomeccanica, o con forme di soliflusso del sottile terreno eluviale
3m	area caratterizzata da scaturigini d'acqua isolate o diffuse, spesso al passaggio tra terreno glaciale quaternario cementato e substrato roccioso
3n	area indicata sulla carta P.A.I. come a pericolosità di esondazione media o moderata (Em)
3o	area in fregio a un corso d'acqua del R.I.M. con una certa possibilità di essere interessata da esondazione, a causa di mancata pulizia dell'alveo o della scarsa manutenzione delle opere di regimazione esistenti o dell'ostruzione di tombinature.
3p	area in cui il carente drenaggio superficiale favorisce lungo sentieri e strade la concentrazione d'acqua piovana che in tal modo alluviona nuclei abitati minori e/o il centro storico.
3q	area estrattiva con pareti rocciose subverticali in gran parte protette consolidamenti corticali di vario genere, con ampie superfici pianeggianti occupate da fabbricati industriali propri dell'attività mineraria e riporti terrosi provenienti dallo scoticamento dei settori in scavo e percorsa da strade. Le trasformazioni sono qui governate da norme di polizia mineraria.

La classe 3 comprende gran parte del territorio tavernolese altimetricamente più elevato, soprattutto sul versante settentrionale del monte Pingiolo e nella valle delle Pertiche, ma interessa anche le fasce adiacenti ai corsi d'acqua del R.I.M. e alcuni ambiti costruiti su terreni di conoide o che possono essere interessati da eventi alluvionali, come il centro storico di Tavernola, Bianica e Gallinarga. Anche la parte settentrionale del territorio di Tavernola soggetta a una concessione mineraria ("miniera Ognoli") è inserita nella stessa classe di fattibilità.



Le aree in classe **3e** corrispondono a scarpate in erosione dei terreni fluvioglaciali a valle di Nesse, presso Copiana, Trossano e Ciura; si tratta di ambiti terrazzati utilizzati per attività zootecnica. È incluso in questa sottoclasse anche il ciglio della profonda scarpata spondale della valle di Negrignana dove il bosco ha occupato da tempo gli spazi un tempo agricoli e in parte terrazzati.

La classe **3f** interessa in prevalenza i cigli di scarpata potenzialmente franosi dei terrazzi fluvioglaciali quaternari, non molto alti ma estesi, come nella parte retrostante la zona industriale di via S.Rocco o quella del crinale che separa la Foppa dalla forra del Rino. Questa classe comprende ambiti in cui piste e mulattiere bordano i cigli di scarpata delle valli di Mondara e Negrignana: qui i problemi di stabilità del ciglio sono appesantiti dalla mancata cura per lo smaltimento delle acque superficiali raccolte dalle stesse piste.

La classe **3g** riguarda solamente un settore del versante sopra le abitazioni di via Sarnico, tra Predello e il centro storico: si tratta di una fascia di terreno detritico colonizzata nella quale vi sono recinzioni e muretti a secco franati e non c'è alcuna cura del bosco, elementi che incrementano il rischio di caduta di sassi sui terreni sottostanti.

La classe **3h** comprende aree con caratteristiche molto frequenti sul territorio tavernolese, soprattutto nella valle delle Pertiche e tra Case il Monte e Gallinarga: qui il bosco è abbandonato. Vi sono molte piante cadute a terra, sradicate dalla troppo sottile coltre di terreno che copre la roccia subaffiorante; gli strappi del terreno innescano erosioni e solchi di ruscellamento.

La classe **3i** riguarda Predello, l'area di parcheggio presso il pozzo "Moia" e un piccolo settore a Sud di Gallinarga; si tratta di ambiti che hanno una certa probabilità di essere raggiunti da sassi che occasionalmente si staccano dalle scarpate retrostanti.

La classe **3j** comprende le frane stabilizzate (Fs) definite nel quadro del dissesto P.A.I.; si trovano a Mondara e all'interno dell'area estrattiva della miniera "Ognoli".

La classe **3k** segnala invece le zone di conoide protetta (Cn) definite nel quadro del dissesto P.A.I., ubicate allo sbocco a lago del torrente Rino e presso Predello.

La classe **3l** riguarda i sottili terreni eluviali e le rocce stratificate subaffioranti, con giacitura a franapoggio, che compaiono nel settore meridionale della "sinclinale di Tavernola"; l'inclinazione degli strati rocciosi assai prossima a quella del versante, come si riscontra sul versante settentrionale del Pingiolo, sopra Vasso e nella valle delle Pertiche, predispone a locali distacchi di blocchi e richiede molta attenzione nel programmare e attuare interventi.

La classe **3m** indica la presenza di sorgenti e/o zone di risorgive che devono essere tenute in debito conto per la possibile influenza sulla stabilità dei pendii e che richiedono adeguate opere di drenaggio; sono diffuse soprattutto al passaggio tra i terreni glaciali e il sottostante substrato roccioso, delineando una fascia che attraversa Bianica presso il campo sportivo, la Foppa e il settore del cimitero di Tavernola, Predello e la Moia. Altre zone isolate riguardano venute minori collocate negli ammassi rocciosi parzialmente fessurati, come presso la fontana di Lose in valle delle Pertiche.



La classe **3n** contraddistingue le zone con moderata pericolosità da esondazione come individuate nel quadro del dissesto P.A.I.; sono presso la zona industriale di via S.Rocco e in un breve tratto della valle di Mondara, presso la sede degli Alpini.

La classe **3o** comprende le aree prossime ai corsi d'acqua del R.I.M. e soggette a possibile esondazione soprattutto per mancanza di pulizia degli alvei, scarsa manutenzione delle opere idrauliche presenti o a causa di ostruzioni di tombature. Sono situazioni diffuse nella frazione di Cambianica e nelle zone ad essa soprastanti, fino a Calchere, come pure nel solco che scende dalla sorgente Roggino. Anche la fascia attorno al canale di gronda, tra Piazzone e Cortinica, è inserita in questa classe.

La classe **3p** evidenzia una delle problematiche più serie del territorio tavernolese: individua infatti la zona dove si raccolgono le acque piovane e dalla quale hanno origine i deflussi idrici che investono in particolari, ma non infrequenti occasioni il centro storico di Tavernola e una parte della frazione di Bianica. Riguarda gran parte delle pendici settentrionale del monte Pingiolo, compresa tra Piazzone, cascina Antema, Campodosso, Bianica e il centro di Tavernola. Questa perimetrazione si sovrappone in parte con quella della sottoclasse 3l. Anche la vecchia strada di cascina Mondara presenta la stessa tipologia di pericolosità e le è assegnata questa classe di fattibilità, come per alcune parti di Negrignana, Nesse, Cortinica e della conca di Vasso.

Alla classe **3q** appartengono le aree di pertinenza della concessione mineraria, modellate da escavazioni che hanno profondamente cambiato la morfologia naturale dei luoghi, innanzitutto esponendo completamente l'ammasso roccioso formando alternanze di platee e di gradoni subverticali di considerevoli ampiezza e altezza. In generale i vecchi fronti di scavo sono consolidati e sono presenti opere di difesa per la caduta massi a salvaguardia della sottostante area industriale e della strada Sebina Occidentale.

- **aree di fattibilità con consistenti limitazioni soggette a normativa P.A.I. (3Cp e 3Eb):** queste sottoclassi sono attribuite a piccole porzioni di territorio per le quali il quadro della dinamica geomorfologica è stato dettagliatamente approfondito, in relazione all'attività di alcune conoidi ("Cp" dei torrenti Rino e del rio Gallinarga) o alla pericolosità di esondazione elevata del torrente che solca la valle delle Pertiche.

Tali aree sono soggette alle prescrizioni dell'art.9, comma 8 delle N.d.A. del P.A.I. Senza interventi preventivi che modifichino in modo sostanziale e permanente le condizioni di pericolosità geologica e/o di rischio, questi ambiti devono essere trattati come quelli in classe 4 di fattibilità: è esclusa ogni nuova edificazione residenziale, produttiva, commerciale e di servizio; per gli edifici esistenti sono ammessi interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, restauri conservativi, adeguamenti igienici, recupero del patrimonio edilizio esistente, anche con demolizione e ricostruzione (cfr. L.r. 12/2005, art. 27, comma 1, lettere a, b, c, d). Sono consentite le innovazioni necessarie all'adeguamento antisismico.

L'eventuale sviluppo di insediamenti in queste aree dipende da preventivi interventi di sistemazione geologica e/o idrogeologica la cui progettazione e realizzazione sia sostenuta da approfondimenti di studio effettuati a livello di comparto (non di singola costruzione), secondo quanto specifica la D.G.R. 30 novembre 2011 n.IX/2616, con conseguente approvazione regionale e relativa variante di P.G.T.



- **aree di fattibilità con gravi limitazioni (4):** in questa classe è da escludere nuova edificazione, ad eccezione di opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica e alla messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti sono consentiti esclusivamente lavori di demolizione senza ricostruzione oppure interventi per recupero del patrimonio edilizio esistente, limitati a manutenzioni ordinarie e straordinarie, restauri conservativi e adeguamenti igienici, come definiti dall'articolo 27, comma 1, lettere a), b), c) della L.r. 12/05 senza incremento di superficie o volume e del carico insediativo. Sono consentite le opere necessarie per l'adeguamento di tali edifici alla Normativa antisismica.

Nelle situazioni di pericolo più gravi è necessario prevedere il trasferimento delle strutture o degli interi nuclei abitativi a rischio o, se ciò non fosse possibile, dovranno essere approntati idonei piani di Protezione Civile, con l'attivazione di adeguati sistemi di monitoraggio che permettano di controllare l'evoluzione dei fenomeni geologici di cui trattasi e di gestire eventuali allarmi.

Nelle zone in classe 4 di fattibilità è consentita la realizzazione di reti tecnologiche e di eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico, qualora non altrimenti localizzabili; tali opere dovranno comunque essere puntualmente e attentamente valutate in funzione sia della tipologia del fenomeno geologico in atto sia del grado di rischio connesso. È altresì consentita la realizzazione di lavori di sistemazione idrogeologica, consolidamento e messa in sicurezza dei siti.

In questa classe sono compresi: i pendii eccessivamente acclivi ($\beta > 35^\circ$ per le terre; $\beta > 42^\circ$ per le rocce), le aree franose e/o di stacco e caduta di massi e le zone soggette a tali dinamiche e non difendibili, le zone di avvallamento spondale lungo il lago e la fascia di esondazione lacustre, le aree di conoide attiva, le zone di pertinenza dei corpi idrici superficiali e le loro fasce di esondazione e di rispetto.

Anche per la classe 4 sulla carta di fattibilità si evidenzia il principale fattore geologico che determina la classificazione e la conseguente limitazione d'uso di ciascuna area, mediante una sigla che definisce una sottoclasse, anche se in questo caso spesso il criterio limitante è univoco. Per un completo esame delle problematiche di ciascuna area occorre comunque verificare tutte le carte che compongono lo studio geologico ed in particolare la Carta di Sintesi e quella dei Vincoli.

<i>SOTTOCLASSE</i>	<i>CARATTERISTICHE LIMITANTI</i>
4r	area molto acclive su terreno sciolto e vicina a settori in frana attiva e/o quiescente
4s	area molto acclive in roccia adiacente a settori soggetti a frequente stacco di blocchi o a frane di crollo
4t	area sulla sponda del lago soggetta ad avvallamento e a possibile esondazione lacustre
4u	area in frana attiva (Fa) inserita nella cartografia P.A.I.
4v	area in frana quiescente (Fs) inserita nella cartografia P.A.I.
4w	area in conoide attiva (Ca) inserita nella cartografia P.A.I.
4x	area di pertinenza delle acque superficiali a pericolosità di esondazione molto elevata (Ee) individuata nella cartografia P.A.I.
4y	area di pertinenza delle acque superficiali delimitata attorno agli elementi lineari con pericolosità di esondazione molto elevata (Ee lineare) nella cartografia P.A.I.



La classe **4r** è assegnata a zone attigue a corsi d'acqua, in presenza di erosioni molto accentuate, a scarpate molto acclivi attigue ad aree riconosciute in frana attiva o quiescente sulla Carta del dissesto P.A.I.; comprende soprattutto le sponde delle valli di Negrignana, di Mondara e del Valzello.

La classe **4s** denota aree molto acclivi con potenziale stacco di blocchi e/o adiacenti a frane indicate nella Carta P.A.I.. Nel caso di Tavernola si trovano nel settore a Nord della miniera "Ognoli" presso il confine con Parzanica e sul versante roccioso tra Predello e la sorgente Roggino.

La classe **4t** corrisponde alla sponda del Sebino, dove sono diffuse le segnalazioni di avvallamenti spondali e franamenti che hanno coinvolto la riva lacustre e anche tratti della strada litoranea.

La classe **4u** si riferisce all'area di frana attiva (Fa) che interessa la parte più alta della concessione mineraria "Ognoli", a monte del crollo del novembre 2010, e che è individuata nel quadro del dissesto P.A.I.

La classe **4v** comprende le aree in frana quiescente (Fq) individuate nel quadro del dissesto P.A.I. e riguarda alcuni settori della miniera cementifera (ex cantiere "Cicara"), così come le cadute di massi e i crolli del Corno di Predore e quelli delle scarpate rocciose della forra del Rino, delle valli di Negrignana, Mondara e delle Pertiche, la frana di Piazzone appena sopra la sorgente Roggino e le scarpate a franapoggio a monte di Calchere e Foppe.

Per la classe 4v - *aree di franosità quiescente* ("**Fq**") - così classificate nella "*Carta del dissesto con legenda uniformata P.A.I.*", la normativa fa un'eccezione: in tali ambiti possono essere autorizzate trasformazioni, totali o parziali, previa verifiche di compatibilità e studi di approfondimento idrogeologico e geotecnico, sulla base dei quali attuare interventi atti a contrastare e/o prevenire il dissesto in modo sicuro.

La classe **4w** rappresenta terreni di conoide attraversati dai relativi corsi d'acqua, ovvero l'asta del Rino e quella del rio Gallinarga. La sottoclasse si estende a una parte della conoide a Nord di Predello che non ha elementi regimanti sufficienti a contenere eventuali deflussi di piena.

La classe **4x** comprende le fasce dei principali torrenti del territorio tavernolese, individuate come aree con pericolosità di esondazione molto elevata (Ee) nel quadro del dissesto P.A.I. Si tratta degli alvei del torrente Rino, della sua diramazione verso Vigolo presso il ponte di Lughel, delle valli di Negrignana, Mondara e delle Pertiche e del rio Valzello.

La classe **4y** coincide con fasce in fregio alle aste del R.I.M. di Tavernola, individuate come aree di pertinenza delle acque superficiali in corrispondenza degli elementi lineari con pericolosità di esondazione molto elevata (Ee lineare) inserite nel quadro del dissesto P.A.I.; si tratta di tutti gli impluvi minori sede di scorrimento idrico individuati nello studio di definizione del Reticolo Idrico Minore.



10. CONCLUSIONI E RICHIAMI NORMATIVI

IL LAVORO SVOLTO

La sintesi, la revisione e l'aggiornamento dello studio geologico che ha supportato il Piano di Governo del Territorio di Tavernola Bergamasca fino allo sviluppo di questa "Variante n.1", fa riferimento alla specifica Normativa regionale (L.r. 12/2005 e suoi *Criteri* attuativi riguardanti la componente geologica D.G.R. 30 novembre 2011, n.IX/2616) e comprende anche la stesura di una nuova "Carta Geomorfologica con Legenda Uniformata P.A.I."

Partendo, infatti, da una dettagliata e puntuale verifica geologica di tutta l'area urbanizzata e di un suo significativo intorno, è stato riconsiderato soprattutto il quadro geomorfologico e dei processi geomorfi in atto, giungendo con ciò ad una nuova "Carta Geomorfologica con Legenda Uniformata P.A.I. in sostituzione della precedente (GeoTeC, 2010)

Onde avvicinare il tempo d'istruttoria ed emissione del parere vincolante di Regione Lombardia sulla Variante, quest'ultima revisione della cartografia P.A.I. è già stata sottoposta all'iter di approvazione regionale prima della conclusione del presente lavoro, anche considerando che le categorie del P.A.I. hanno stringente relazione con la carta di sintesi e con la conseguente fattibilità geologica.

I nuovi rilevamenti geologici eseguiti e il confronto con la cartografia regionale (CARG) e con la documentazione geologica disponibile presso il Comune e altri Enti, hanno mostrato che non era necessaria la revisione e l'aggiornamento dell'analisi geologica effettuata nel 1994 (RAVAGNANI D.), pertanto sono riproposte le stesse tavole: Carta litologica, Sezioni geologiche, Carta geomorfologica, Carta idrogeologica e Carta litotecnica.

A eseguito del parere regionale (29.04.2016) e di successive ulteriori precisazioni dei Funzionari regionali, si è resa necessaria la revisione anche della componente sismica, onde conformarla alle procedure indicate dai più recenti e aggiornati *Criteri* e ai nuovi dissesti franosi individuati (zone "Z1a" e "Z1b"); ciò ha comportato anche una nuova compilazione delle Carte di Pericolosità Sismica di I livello. Lo studio sismico di II Livello è stato integrato con i dati di recenti nuove indagini reperiti presso l'Ufficio Tecnico Comunale e si sono confermate quasi interamente le definizioni del precedente studio sismico II livello (GEO.TE.C., 2010).

L'analisi geologica ha determinato una nuova stesura della Carta di Sintesi della Pericolosità Geologica per tutto il territorio comunale e quindi l'elaborazione di una nuova Carta della Fattibilità Geologica, che tiene conto delle diverse problematiche esistenti, in funzione della loro effettiva pericolosità, all'interno del confine comunale fornito dall'Ufficio Tecnico.

Una delle conclusioni più evidenti è l'attribuzione della classe 2 di fattibilità geologica ad ampi settori caratterizzati da terreni glaciali terrazzati, i quali in precedenza era stata assegnata la classe 3 (GeoTeC, 2010); si distingue inoltre l'attribuzione della classe 3 fattibilità geologica all'intera valle delle Pertiche, invece della precedente classe 4, poiché è venuto meno l'ampio settore già classificato come frana quiescente (Fq); per altro si riconosce oggi un vasto settore di bosco molto degradato, per mancanza di manutenzione e cure colturali, che contribuisce al dissesto idrogeologico.



SITUAZIONE GENERALE DEL TERRITORIO

Considerata la sua conformazione e la sua esposizione geografica, il territorio di Tavernola Bergamasca sotto il profilo geologico presenta ancora aree adatte all'insediamento e, nello stesso tempo, trova al suo interno diverse situazioni di rischio per le aree già edificate.

L'espansione edilizia residenziale e produttiva ha praticamente saturato gran parte della superficie della fascia prossima al lago, dove tra l'altro una buona fetta di territorio nel settore settentrionale è a tutt'oggi occupata da un importante polo industriale per la produzione di cemento. In questo ambito costiero si individuano aree di sicura possibile espansione urbanistica solo nelle zone di Predello, Caselle e Gallinarga.

Pur considerandone la vocazione agricola e zootecnica e l'intrinseco alto valore paesaggistico dovuto in gran parte alla conservata naturalità dei luoghi, sono geologicamente compatibili con un eventuale sviluppo insediativo le aree che si trovano sui dolci pendii tra Cambianica e Copiana, sul pianoro di Negrignana, da questo scendendo a Nesse e sul pianoro di Vasso.

D'altra parte le principali situazioni di dissesto geologico che limitano di molto le superfici utilizzabili sulla destra del Rino e al suo sbocco a lago derivano dal disordinato deflusso delle acque superficiali e al sovralluvionamento degli alvei, che si verificano in occasione di piogge intense di breve durata. Tuttavia la sistemazione di questi ambiti mediante una corretta - e quindi completa - regimazione idraulica potrebbe creare condizioni tali da garantire, da un lato la sicurezza degli edifici esistenti, dall'altro lo sviluppo di nuova edificazione. In questa direzione va la costruzione di un canale di gronda (o fosso di guardia) tra Piazzone e Cortinica, la quale per quanto al momento incompleta, ha sicuramente migliorato la situazione. Va ribadito che sono necessari il suo completamento e un'assidua manutenzione.

Sono invece da escludere ai fini insediativi le aree prossime ai corsi d'acqua o le scarpate acclivi che presentano condizioni di criticità geologica e, per altro, in parte già inopportuna raggiunte dall'urbanizzazione come in gran parte del settore di Cambianica o nella zona di Caselle a lato della valle delle Pertiche. In questi ambiti una soddisfacente fruibilità delle strutture già esistenti richiede un regolare controllo periodico e la manutenzione delle opere di difesa già realizzate per la mitigazione della pericolosità geologica, oltre alla necessità di nuovi interventi di mitigazione.

Situazioni analoghe, seppure di portata più limitata, riguardano tutti i principali corsi d'acqua e soprattutto gli impluvi che si immettono direttamente nel lago, costituendo talora seri problemi anche per la strada statale rivierasca. La stessa strada e la fascia urbanizzata adiacente la riva del lago sono soggette a episodici avvallamenti spondali, talora di dimensioni ragguardevoli. Interventi di parziale sistemazione e di consolidamento delle sponde sono stati eseguiti negli ultimi decenni e sono in atto, soprattutto per l'allargamento della strada statale; ma la zona a lago, per la natura, l'articolazione e l'ampiezza dei fenomeni geomorfici che la interessano rimane caratterizzata da un elevato rischio.

ACQUE SUPERFICIALI

Gli alvei che solcano il territorio di Tavernola Bergamasca sono per la maggior parte del tempo in magra o addirittura asciutti, poiché le sorgenti che li alimentano hanno portate modeste e spesso sono



captate ad uso potabile. I deflussi idrici divengono importanti solamente in occasione di piogge intense, temporalesche, e/o prolungate; tali piene possono essere improvvise e violente e manifestano un forte potere erosivo sul fondo e sulle sponde, soprattutto nelle aree dove i torrenti incidono terreni sciolti di origine glaciale o detritica (valli di Mondara e di Negrignana). Sui fianchi collinari e nelle aree più alte delle valli che gravitano su Tavernola si è quasi completamente abbandonata la cura dei boschi, lasciando il campo a un progressivo sviluppo della vegetazione spontanea, infestante, che occupa anche alvei e sponde, causando una significativa perdita della capacità di smaltimento delle portate di piena. Ormai anche i settori della valle di Mondara in cui furono eseguiti interventi di sistemazione idraulica e idrogeologica una decina di anni sono aggrediti da una impenetrabile coltre di vegetazione infestante che rende difficile l'eventuale manutenzione delle opere realizzate.

Questa situazione riguarda indistintamente gli alvei principali e tutte le aste del Reticolo Idrico Minore, soprattutto nei tratti in cui essi attraversano i centri abitati, anche nella fascia a lago. Sono importanti ed efficaci i lavori di manutenzione dei tratti terminali dei torrenti principali effettuati periodicamente dalla Protezione Civile, ma occorre mettere in atto soluzioni più radicali per mitigare significativamente il pericolo di esondazione e alluvioni, secondo le linee proposte nello studio dei principali dissesti del territorio tavernolese (GEOTER, 1997) ed effettuando qualche sistemazione idraulica anche all'interno della frazione di Cambianica.

Oltre al dissesto delle aste torrentizie divenute in genere incapaci di smaltire senza danni i deflussi di piena, su una parte del territorio tavernolese permane la seria problematica degli eventi alluvionali che possono generarsi dal deflusso disordinato e violento di ingenti volumi d'acqua piovana raccolti dal versante settentrionale del Pingiolo in occasione dei maggiori temporali: si determinano condizioni di pericolosità elevata per il centro storico e per la frazione di Bianica. Per risolvere tale situazione, all'inizio degli Anni Duemila si è steso un progetto di sistemazioni idrauliche consistente in una serie di canali di gronda da costruire alla base del Pingiolo e a monte della zona abitata, ma tali opere, sebbene risolutive e importanti per la sicurezza del paese, a tutt'oggi sono state realizzate solo in piccola parte. Il completamento di tale progetto sarebbe da porre tra gli interventi prioritari dell'Amministrazione comunale e degli Enti sovracomunali preposti alla salvaguardia del territorio e alla sicurezza degli abitanti (Comunità Montana, Regione, Protezione Civile), come richiede anche la recente Normativa sulle alluvioni (L.R. n.4 del 15 marzo 2016).

Allo stato attuale, sembra anche opportuno eseguire un aggiornamento del Documento di Polizia Idraulica, onde renderlo più cogente rispetto alla Normativa vigente, prevedendo per questo uno studio particolareggiato di tutto il R.I.M., considerando, ad esempio, che oggi è richiesta la definizione dei cigli di sponda per tutte le aste del territorio comunale.

FRANOSITÀ

Le zone abitate di Tavernola non sono soggette a fenomeni franosi, che invece interessano soprattutto le strade e il polo estrattivo.

Negli ultimi anni, anche a seguito di frane recenti, si sono attuati lavori che hanno completamente o almeno in parte stabilizzato e messo in sicurezza situazioni di caduta massi nei pressi del confine comunale con Parzanica e all'interno dell'area mineraria, la quale, va ricordato, è percorsa anche da strade ad uso pubblico. È comunque necessario un assiduo monitoraggio di tali situazioni e, nel caso



della miniera, è a tutt'oggi attivo un costante monitoraggio con l'impiego di strumenti di precisione (stazione totale), onde permettere il transito in sicurezza sulla bretella di Cambianica e, in tale ottica, la Società proprietaria dei terreni e titolare della concessione mineraria deve garantire un completo accesso del Comune ai dati di tale monitoraggio.

Un'altra situazione problematica riguarda il Corno di Predore e in particolare un tratto in disuso della vecchia strada litoranea (da una quarantina d'anni sostituito da un by-pass in galleria) che è soggetto alla caduta di massi e a frane di crollo dall'alta e ripida parete rocciosa che fu incisa a suo tempo per realizzare la strada stessa.

Negli ultimi anni si è tentato di utilizzare il vecchio tracciato, che corre in fregio al lago e consente di godere di un suggestivo panorama, per approntare una pista ciclopedonale: il lavoro è stato eseguito ma senza una sufficiente valutazione delle condizioni del dissesto e in definitiva dell'entità dell'intervento, col quale infine si è deturpata in maniera permanente la naturalità di questo ambito paesaggistico e naturalistico costruendo alcune gallerie artificiali paramassi in calcestruzzo armato che comunque non determinano la completa sicurezza del tracciato.

RISORSE IDRICHE

Nel territorio di Tavernola vi sono numerose sorgenti d'acqua, ma spesso esse sono di portata assai modesta e molto variabile; tuttavia alcune scaturigini sono importanti in quanto utilizzate dal sistema acquedottistico comunale.

Il comune di Tavernola Bergamasca per soddisfare il suo fabbisogno d'acqua potabile utilizza anche due pozzi che prelevano l'acqua negli strati ghiaioso-sabbiosi delle conoidi del Rino e della valle delle Pertiche, sotto il livello del lago. Le sorgenti captate - "Milesi" e "Roggino" - sono entrambe alimentate da un acquifero fissurale e/o di tipo carsico, mentre i pozzi, almeno in un caso, sostanzialmente prelevano l'acqua del lago e, quindi, sono in situazione di elevata vulnerabilità.

Occorre prendere coscienza del fatto che il notevole carico antropico già presente sul territorio e addirittura un suo prevedibile sviluppo rende incompatibile, almeno in parte, lo svolgimento di talune attività e di certi comportamenti ritenuti tradizionali e consolidati: sempre maggiore attenzione dovrà essere riservata alla disponibilità d'acqua potabile e alla sua salvaguardia, così come allo smaltimento dei rifiuti di ogni tipo e ai rapporti tra insediamenti residenziali, qualità della vita, strutture produttive, viabilità e mobilità: valutazioni queste alle quale non sono estranei gli aspetti geoambientali.

Tavernola sembra avere una buona disponibilità di acqua proprio in relazione del bacino idrogeologico della sorgente "Milesi", sul quale si conducono ricerche da parecchi anni e che recentemente è stato esplorato da un gruppo di speleologi.

Pur non essendo più utilizzate a scopo potabile, non è da sottovalutare la salvaguardia e la valorizzazione delle piccole sorgenti, che attualmente alimentano le fontane pubbliche, diffuse sul territorio comunale e oggetto di interessanti ricerche da parte delle scuole tavernolesi.

Considerata la presenza di una falda acquifera poco profonda in una significativa parte insediata del territorio, soprattutto nella fascia prossima al lago, occorre porre in evidenza il fatto che Tavernola



ha un'ottima predisposizione allo sfruttamento dell'energia geotermica a bassa entalpia (pozzi geotermici e "pompe di calore"), per la quale la Variante o un successivo strumento di governo potrebbero farsi occasione di sviluppo e documento di indirizzo.

PREVENZIONE SISMICA

Il territorio di Tavernola Bergamasca è soggetto a obbligo di approfondimento sismico nello sviluppo della sue strutture edilizie, come indicano con gli studi di I e II livello già acquisiti (GEOtec, 2010) e che in questa occasione sono stati qui rivisitati e aggiornati.

Le prescrizioni di prevenzione sismica contenute nell'articolato delle norme geologiche delle N.T.A. del Piano delle Regole sono adeguate e sufficienti, sebbene sia auspicabile, anche in un successivo momento, l'effettuazione di uno studio di maggior dettaglio anche su settori del territorio che non sono stati esaminati in questa sede; ciò riguarda non solo i temi inerenti la Normativa specifica (VS30), ma soprattutto la valutazione delle caratteristiche di amplificazione dei terreni di fondazione in rapporto all'effetto di risonanza possibile nelle diverse strutture edilizie (centro storico, Predello, Moia e Gallinarga).

PECULIARITÀ GEOLOGICHE

Il territorio di Tavernola, sebbene molto antropizzato, presenta una notevole varietà di ambienti geologici e racchiude in sé alcune peculiarità geologiche e naturalistiche di pregio, che meritano considerazione, conservazione e valorizzazione.

Le più evidenti e caratterizzanti il contesto sono **il lago e le conoidi** che vi si protendono, quella del Rino e quella di Gallinarga; queste seppur quasi completamente coperte dal tessuto urbano, presentano morfologie singolari che si raccordano con il fondo lacustre e conservano i segni di storici avvallamenti che hanno coinvolto anche il centro storico (1906).

Altri siti di interesse geologico e naturalistico sono **la forra del Rino** presso il Ponte del Diavolo, profondamente incisa negli strati della formazione del Calcere di Domaro; **la cascata di travertino** formata dal piccolo rio che nasce dalla sorgente "Roggino"; **il pianoro di Mondara** che con le sue argille varvate è il muto testimone della storia di un lago di sbarramento glaciale quaternario; **il pozzo glaciale** che si trova nel tratto dismesso della strada litoranea presso il Corno di Predore, una interessantissima forma di carsismo già nota ai naturalisti e celebre ai tempi in cui la strada statale era transitabile.

Del resto, lo stesso **Corno di Predore** nel suo insieme forma un'emergenza geologica e paesaggistica di suggestiva bellezza, con le sue bianche pareti calcaree a picco sul lago, in un punto in cui si potrebbe ancora godere di un panorama molto ampio su Montisola e la sponda bresciana, se non fosse per l'incombente pericolo di caduta massi che persiste sul sito nonostante i lavori eseguiti.

Un panorama spettacolare offre il **sentiero da Case il Monte a S. Gregorio di Predore** che percorre la sommità del Corno e consente di cogliere in uno sguardo la parte meridionale del Sebino con le torbiere di Iseo.



Qui di seguito si propone un elenco dei principali riferimenti normativi in materia geologico-tecnica e ambientale, cui fare riferimento nella programmazione e nella gestione del territorio:

GOVERNO DEL TERRITORIO

L.r. 11 marzo 2005, n.12 - *“Legge per il Governo del territorio”*.

D.G.R. 30 novembre 2011 n.IX/2616 - *“Aggiornamento dei Criteri e indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell’art.57, comma 1, della L.r. 11 marzo 2005, n.12, approvati con D.G.R. 22 dicembre 2005, n.8/1566 e successivamente modificati con D.G.R. 28 maggio 2008, n.8/7374”*.

EDILIZIA, INGEGNERIA

Circolare del 2 febbraio 2009 n.617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (G.U. n. 47 del 26 febbraio 2009 – Suppl. Ordinario n.27) – *“Istruzioni per l’applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008”*.

D.M. 14 gennaio 2008 - *“Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”*

In attuazione della L. 5 novembre 1971, n. 1086 e della L. 2 febbraio 1974, n.64, così come riunite nel D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380, e dell’art.5 del D.L. 28 maggio 2004 n.136 convertito in legge con modificazioni dall’art.1 della L. 27 luglio 2004, n. 186 e successive modificazioni e integrazioni. Considerando che la normativa pregressa di seguito riportata rimane valida per alcuni aspetti specifici:

D.M. 14 settembre 2005 - *“Norme tecniche per le costruzioni”*.

D.M. 16 gennaio 1996 - *“Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”*.

D.M. 16 gennaio 1996 - *“Norme tecniche relative ai “Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”*.

D.M. 6 gennaio 1996 - *“Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”*.

D.M. 4 maggio 1990 - *“Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo dei ponti stradali”*.

D.M. 11 marzo 1988 - *“Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”*.

D.M. 3 dicembre 1987 - *“Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate”*.

D.M. 20 novembre 1987 - *“Norme tecniche per gli edifici in muratura”*.

D.M. 24 marzo 1982 - *“Norme tecniche per la progettazione e la costruzione delle dighe di sbarramento”*.

D.M. 10 agosto 2012 n.161 – *“Regolamento recante la disciplina dell’utilizzazione delle terre e delle rocce da scavo”*

D.L. 16 aprile 2006 n.152 – *“Testo unico ambientale”* e successive modifiche e integrazioni (D.L. 16 gennaio 2008, n.4 et al.) in cui si normano le terre e rocce da scavo

PREVENZIONE SISMICA

D.d.u.o. 21 novembre 2003, n.19904 - *“Approvazione elenco delle tipologie edifici e opere infrastrutturali e programma temporale delle verifiche di cui all’art.2, commi 3 e 4 dell’ordinanza p.c.m. n.3274 del 20 marzo 2003, in attuazione della d.g.r. n. 149647 del 7 novembre 2003”*.



D.G.R. 7 novembre 2003 n.7/14964 - *“Disposizioni preliminari per l’attuazione dell’Ordinanza Presidenza del Consiglio dei Ministri n.3274 ‘Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica’”*.

O.P.C.M. 20 marzo 2003, n.3274 - *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”*.

D.G.R. 11 luglio 2014 n.X/2129 - *“Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)”*.

D.G.R. 10 ottobre 2014 n.X/2489 - *“Differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio approvata con d.g.r. 21 luglio 2014, n. 2129 «Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, comma 108, lett. d)»”*

L.R. n.33 12 ottobre 2015 - *“Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche”*.

D.G.R. 30 marzo 2016 n.X/5001 - *“Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l’esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015)”*.

ACQUE SUPERFICIALI

L.r. 5 gennaio 2000, n. 1 - *“Riordino del sistema delle autonomie in Lombardia. Attuazione del decreto legislativo n. 112 del 1998”*

(obbligo di definire il Reticolo Idrico Principale; ai Comuni le competenze sul Reticolo Idrico Minore).

D.G.R. 22 dicembre 1999 n°47310 con successivi aggiornamenti, indica i criteri per l’individuazione del Reticolo Idrico Principale.

D.G.R. 23 ottobre 2015 n.X/4229 - *“Riordino dei reticoli idrici di Regione Lombardia e revisione dei canoni di polizia idraulica,”*.

DIFESA DEL SUOLO

D.G.R. 11 dicembre 2001 n. 7/7365 – *“Attuazione del Piano Stralcio per l’Assetto idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI) in campo urbanistico”*.

D.P.C.M. 24 maggio 2001 - *“Approvazione del Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Po”*.

NORME DI ATTUAZIONE DEL P.A.I.: all’art. 9, commi 5, 6, 6 bis: delimitazione delle aree di esondazione e di dissesto morfologico di carattere torrentizio lungo le aste dei corsi d’acqua; all’art.12 portate scaricabili in alveo dalle reti di drenaggio artificiale.

DIRETTIVA P.A.I., ai sensi L. 18 maggio 1989 n. 183, art. 17, comma 5, per l’applicazione del Piano Stralcio per l’assetto idrogeologico del bacino del fiume Po (P.A.I.) in campo urbanistico.



L. 18 maggio 1989, n. 183 - *“Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo”*

Delibera n.4 2015 AdBPo – *“Adozione del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni nel Distretto Idrografico Padano (PGRA)”*

D.G.R. 10 dicembre 2015 n. X/4549 – *“Approvazione del PGRA del Distretto Padano”*.

L.R. 15 marzo 2016, n.4 - *“Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d’acqua”*

PROTEZIONE CIVILE

D.d.u.o. 30 dicembre 2013, n.128124 - *“Aggiornamento tecnico della direttiva per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allerta per i rischi naturali ai fini di protezione civile (d.g.r 8753/2008)”*.

Legge 12 luglio 2012 n.100 – *“Conversione in Legge, con modificazioni, del decreto legge 15 maggio 2012, recante disposizioni urgenti per il riordino della protezione civile”*.

D.G.R. 1 dicembre 2010 n. 9/924 – *“Determinazione in ordine alle modalità per il finanziamento delle opere di pronto intervento in relazione ai beni degli enti locali. (ai sensi della l.r.5 gennaio 2000, n.1 art.3, comma 110)”*.

D.G.R. 16 maggio 2007 n. 8/4732 – *“Revisione della Direttiva Regionale per la Pianificazione di Emergenza degli Enti Locali. (l.r.16/2004, art.4, comma 11)”*.

TUTELA DELLE ACQUE SOTTERRANEE AD USO POTABILE

D.G.R. 10 aprile 2003, n.7/12693 - *“Disciplina delle aree di salvaguardia delle acque sotterranee destinate al consumo umano”*.

D.Lgs. 18 agosto 2000, n. 258 - *“Disposizioni correttive e integrative del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152, in materia di tutela delle acque dall'inquinamento, a norma dell'articolo 1, comma 4, della legge 24 aprile 1998, n. 128”*.

D.Lgs. 11 maggio 1999, n. 152 - *“Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole”*.

D.G.R. 27 giugno 1996 n.6/15137 - *“Direttive per l'individuazione aree di salvaguardia captazione acque sotterranee per consumo umano”*.

GeoTer

Dott. geol. Sergio Santambrogio

Ardesio, gennaio 2017.