

COMUNE DI CASNIGO
PROVINCIA DI BERGAMO



**COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO**

in attuazione dell' Art. 57 L.R. 11 marzo 2005, n.12

Relazione Tecnica

**ADEGUAMENTO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL P.G.T.**

(ai sensi D.G.R. IX/2616 del 30/11/2011 e s.m.i.)

INDICE

1. PREMESSA	4
1.1. PRINCIPALI MODIFICHE RISPETTO AGLI STUDI PRECEDENTI	4
2. INDIVIDUAZIONE DEGLI EVENTI STORICI DI TIPO ALLUVIONALE E DEI FENOMENI DI DISSESTO GRAVITATIVO	6
3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	10
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - STRUTTURALE	13
5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	15
6. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	23
6.1. Reticolo Idrico Principale	23
6.2. Reticolo Idrico Minore	24
7. INQUADRAMENTO IDROLOGICO ED IDRAULICO	25
7.1 RISULTATI DELLO STUDIO IDRAULICO DI DETTAGLIO	28
8. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	30
8.1. Struttura idrogeologica locale	32
8.2. Risorse idriche sfruttate ad uso idropotabile	34
8.3. Vulnerabilità intrinseca degli acquiferi captati	36
8.4. Delimitazione delle aree di salvaguardia	36
9. ANALISI DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	37
9.1. Terremoto di riferimento (input sismico)	38
9.2. Analisi di primo livello	42
9.2.1. Metodologia analisi di primo livello	43
9.2.2. Risultati analisi di primo livello	44
9.3. Analisi di secondo livello	50
9.3.1. Metodologia analisi di secondo livello	50
9.3.2. Risultati analisi di secondo livello	57
10. CARTA DEI VINCOLI	65
11. CARTA DI SINTESI	66
12. CARTA DI FATTIBILITA' GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO	67
13. CARTA PAI - PGRA	70

Allegati cartografici aggiornati

- Tav.1 **Carta dei Vincoli** (aggiorn. 2024) scala 1:5.000;
- Tav.2 **Carta di Sintesi** (aggiorn. 2024) scala 1:5.000;
- Tav.3 **Carta della Pericolosità Sismica Locale** (aggiorn. 2024) scala 1:5.000;
- Tav.4 **Carta di Fattibilità geologica per le azioni di piano** (aggiorn. 2024) scala 1:2.000;
- Tav.5 **Carta PAI - PGRA** (aggiorn. 2024) scala 1:5.000.

Per la realizzazione di tale cartografia è stato utilizzato l'aereofotogrammetrico comunale del 2011.

Proprietà degli elaborati

Gli elaborati dello studio resteranno di proprietà piena ed assoluta dell'Amministrazione comunale, fatti salvi i diritti d'autore (proprietà intellettuale – D.P.R. 184 del 12/04/2006).

Bergamo, 31-12-2024

Dott. Geol. Carlo Pedrali
O.G.L. 860



1. PREMESSA

Il primo studio per la redazione della componente geologica comunale risale al 1994, recepito nel 2003; il primo aggiornamento è del 2011, mentre il secondo è del 2018 ed è stato redatto ai sensi della D.G.R. n.9/2616 del 30/11/2011.

1.1. PRINCIPALI MODIFICHE RISPETTO AGLI STUDI PRECEDENTI

Per l'aggiornamento della **cartografia di sintesi e valutazione** e quella di **proposta** si è partiti dall'aggiornamento della Componente Geologica vigente datata febbraio 2018.

Per prima cosa è stata effettuata una verifica dell'**Inventario aggiornato delle Frane e Dissesti Idrogeologici della Regione Lombardia oltre a rilievi da fotoaerea e di numerosi controlli di terreno.**

L'attuale aggiornamento riprende quindi tutto quanto prodotto nel 2018 e lo integra recependo anche i risultati de:

- la perimetrazione delle aree allagabili lungo il torrente Romna definite dallo **“Studio idrogeologico e progettazione preliminare a scala di sottobacino idrografico dei torrenti Romna, Re, Rino e Togna”** a cura di Studio GEA s.n.c. per conto di Regione Lombardia, Comunità Montana Valle Seriana, UNIACQUE Servizio Idrico Integrato, ottobre 2017. Da questo studio è stata derivata la pericolosità idraulica lungo il torrente Romna secondo quanto previsto dal PGRA (D.G.R. X/6738 del 19 giugno 2017) .
- la corretta delimitazione delle Aree di Salvaguardia delle **“Sorgenti del Costone”** Comune di Casnigo (Provincia di Bergamo) ripresa dallo studio redatto da GEOTER di Ravagnani per BERGAMO AMBIENTE E SERVIZI S.p.A. nel maggio 2000.

Ad esso si aggiungono lo Studio di Impatto Ambientale **“Sorgenti del Costone” (Rel. PA/5602/2006) e relative integrazioni (Rel. PA/6384/2007)** e la **D.d.u.o. n.9091 del 03/10/1994 Concessione Sorgenti del Costone e relativo Disciplinare n. 3082 del 01/10/2014**La ripermimetrazione è stata effettuata sulla scorta delle derivazioni effettivamente captate da UNIACQUE a scopo idropotabile;

- la D.G.R. n.XI / 7564 del 15/12/2022. Integrazione dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio relativi a al tema degli sprofondamenti (SINKHOLE) e in particolare l'**Allegato A** - "Sinkhole e cavità sotterranee - **Integrazione al testo dei Criteri e indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologia e sismica del piano di governo del territorio**";
- i nuovi dati sismici acquisiti dal sottoscritto con le più recenti linee sismiche ubicate in corrispondenza dell'abitato;
- l'aggiornamento della posizione planimetrica di alcuni alvei e delle relative fasce di rispetto del Reticolo Idrico Minore sull'aereofotogrammetrico comunale, derivate dallo studio denominato "**Reticolo Idrografico Minore**" ai sensi della D.G.R. n. 7/7868 del 25/01/2002 redatto da Studio GEA s.n.c, per conto della Comunità Montana Valle Seriana, settembre 2004;
- le prescrizioni in materia di invarianza idrologica ed idraulica fornite dal Regolamento Regionale n.7 del 23 novembre 2017 e successivo aggiornamento (R.R. n.8 del 19/04/2019).
- il "**Documento Semplificato del Rischio Idraulico comunale ai sensi dell'Art. 7 L.R. 4 del 15/03/2016 e dell'Art. 14 del R.R. 7 del 23 novembre 2017 e s.m.i.**" redatto dal sottoscritto nel 2024;
- la presa in carico dei contributi avanzati dai cittadini con le relative proposte di riclassificazione della fattibilità.

Pertanto la documentazione di questo studio sostituisce quella prodotta nell'aggiornamento del 2018 da EUROGEO. Sono state aggiornate la **Carta della Pericolosità Sismica Locale** (tavola n.1), la **Carta dei Vincoli** (tavola n.2); la **Carta di Sintesi** (tavola n.3)); e per quanto riguarda la fase di proposta, è stata aggiornata la **Carta di Fattibilità Geologica** (tavola n.4); la **Carta PAI – PGRA** (tavola n.5), la **Relazione Tecnica** e le **Norme geologiche di Piano**.

La componente geologica costituisce, nel suo complesso, una parte importante del Piano di Governo del Territorio, in particolare:

- l'intero studio deve essere inserito nel "**Documento di Piano**" che ha lo scopo di contenere tutti gli elementi conoscitivi del territorio comunale;

- la parte di studio che contiene le fasi di sintesi, di valutazione e quella di proposta, dovrà essere inserita nel “**Piano delle Regole**” che ha il compito, una volta individuate le aree a pericolosità e vulnerabilità geologica, idrogeologica e sismica, d’individuare le norme e le prescrizioni a cui le medesime sono assoggettate.

Tali elaborati dovranno inoltre essere citati nelle delibere di adozione e di approvazione del P.G.T. e caricati sul nuovo applicativo regionale "Studi Geologici - Idraulici" per ottenere il parere regionale e/o avviare la procedura di modifica delle aree allagabili del PGRA da parte dell'"Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po" (AdBPo).

2. INDIVIDUAZIONE DEGLI EVENTI STORICI DI TIPO ALLUVIONALE E DEI FENOMENI DI DISSESTO GRAVITATIVO

Consultando la bibliografia dell'area sono stati individuati diversi eventi storici significativi. Di seguito si riportano gli stralci relativi ai quotidiani dell’epoca o a pubblicazioni scientifiche:

1) Tratto da “**I dissesti prodotti nel nubifragio del 10 luglio 1972 nella bassa Val Seriana**” di Mario Govi e Giovanni Mortara (Boll. Assoc. Min. Subalpina, 1981)

La sera del 10 luglio 1972 si verificò un violento temporale nel tratto di valle (seriana) compreso tra Nembro e Gorno. Gli effetti del violento evento meteo, hanno provocato fenomeni di piena con trasporto solido lungo i corsi d'acqua minori classificabili come "**mud flow**"o "**debris flow/torrent**".

L’evento meteo ha determinato, lungo le parti medio-inferiori dei versanti, l’innescò di frane per lo più di piccole dimensioni, riconducibili a colate terrose che hanno coinvolto la sola copertura detritica fine, eluvio colluviale, non protetta dalla coltre boschiva. Tali fenomeni, codificati generalmente con il termine di "**Soil Slip**", sono veloci, s’innescano in seguito alla rapida saturazione della coltre detritica che ricopre un orizzonte competente meno permeabile ed evolvono altrettanto rapidamente percorrendo anche lunghi tratti di versante (lungo la direttrice di massima pendenza) ben oltre la zona di distacco.

La densità di tali fenomeni ha raggiunto in quest’area il numero massimo di **80 dissesti per chilometro quadrato**. Gli spessori coinvolti nei dissesti andavano da pochi decimetri fino a 3 metri, mentre lo sviluppo areale era compreso tra qualche decina di mq fino a circa 2000 mq. La superficie di scivolamento appariva piana (scivolamento planare) nel caso di spessori di frana inferiori al

metro (tipo a e b) e curvilinea (scorrimento rotazionale) per spessori metrici di copertura detritica in frana (tipo c). In quest'ultimo caso le pendenze inferiori della superficie topografica e gli spessori più elevati hanno determinato un processo di saturazione più lungo.

Relativamente alle curve di possibilità pluviometrica della zona di Casnigo, le isoiete delle massime altezze di precipitazione misurate nel periodo dal 1951 al 1970 indicano un valore di circa **55 mm in un'ora e di 80-85 in 3 ore**. Tuttavia nella zona non erano disponibili dati di precipitazione relativi all'evento meteo citato pertanto è stata effettuata una valutazione a posteriori "effettuando il confronto quantitativo con il numero di dissesti prodotto da eventi piovosi del passato di nota durata, verificatisi in zone contigue provviste di stazioni pluviometriche, fornisce un valore dell'intensità oraria delle precipitazioni durante il nubifragio del 1972", che secondo gli autori si attesterebbe sul valore di **79 mm/h**.

Nell'evento in questione il 71% di frane si è verificato su versanti con inclinazione compresa tra **30 e 40°**.

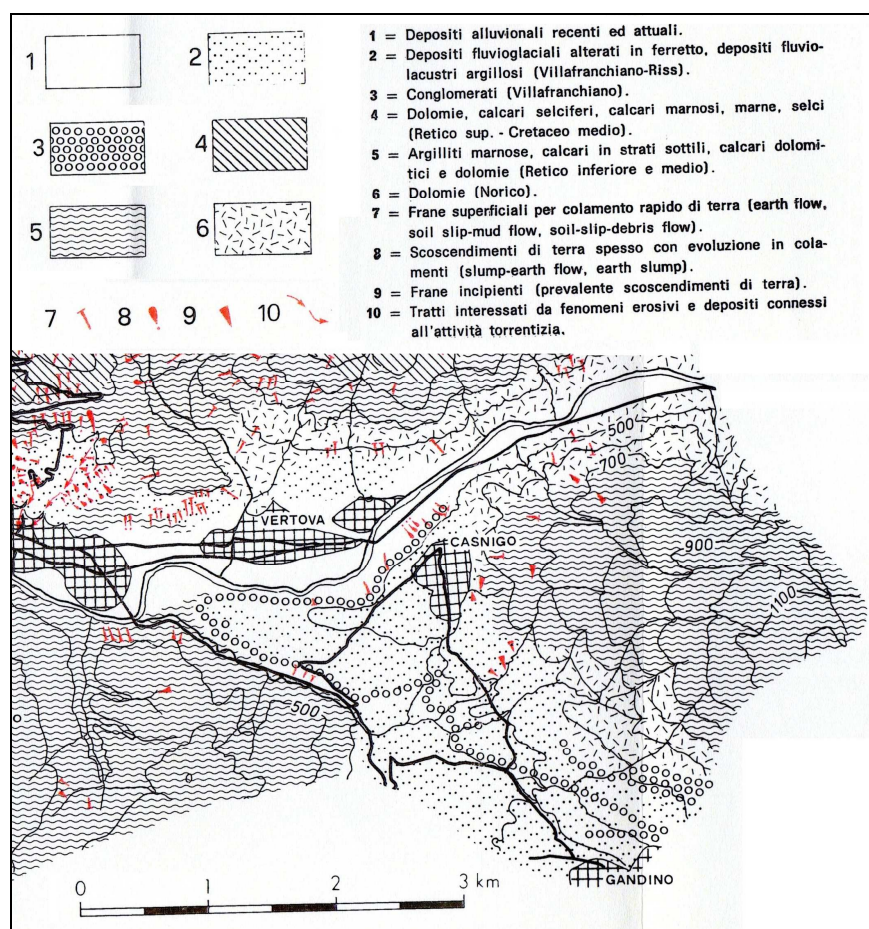


Figura n.1 Ubicazione delle frane verificatesi in seguito all'evento meteo. Diversi fenomeni si sono verificati a partire dall'orlo della scarpata occidentale del terrazzo di Casnigo.

Altri eventi meteo riportati in quest'articolo che hanno interessato storicamente la zona di Casnigo sono i seguenti:

- una serie di temporali verificatisi tra il 7 e il 9 agosto 1963 provocarono una serie di dissesti sui versanti di Casnigo e soprattutto a Leffe, dove le frane furono oltre 60. L'evento del 9 agosto ebbe una durata di **2,5 ore e 92 mm di pioggia**;
- il 19 luglio del 1956 si verificarono dissesti poco a monte di Gazzaniga a causa di un violento temporale che si sviluppò tra Ganda, Fiorano, Gazzaniga, Leffe e Gandino.
- il 12 giugno del 1937 si verificò la frana che interessò il ciglio del terrazzo di Casnigo. Essa viene descritta nella seguente pubblicazione.

2) Tratto da: **Successione pollinica della serie Superiore (Gunz - Mindel) di Leffe**. Autori: Lona Fusto e Follieri Maria, 1958.

Nella pubblicazione, si cita la frana della CornaLunga staccatasi dal bordo occidentale del terrazzo di Casnigo il **13 giugno 1937**. Il materiale di frana raggiunse il fondovalle ed ostruì parte dell'alveo del fiume Serio. Le dimensioni della frana erano: 200 (175) metri di nicchia e 30 metri di profondità (coinvolgendo la galleria scavata per raggiungere i banchi d'argilla sfruttata a scopi commerciali dalla soc. SILLA) per un volume complessivo di circa 170.000 mc. La frana distrusse due centrali idroelettriche, poste in fondovalle, di proprietà rispettivamente delle Industrie Riunite Filati e Cotonificio Bustese e della Società Idroelettrica Albini.

Un rapporto del Genio Civile dell'epoca la descrisse così: «...Dei **150.000 metri cubi** di materiale a cui può valutarsi il movimento... circa **25.000** venivano a precipitare nel fiume formando uno sbarramento della lunghezza di circa **70-80 metri**, e dell'altezza di **metri sei** circa, impedendo il deflusso delle acque e formando a tergo un lago di ritenuta...» (Ministero LL.PP., Corpo Reale del Genio Civile, Bergamo, Relazione, 21 giugno 1937). che, secondo altre fonti, si sarebbe esteso verso monte per circa **1 chilometro**.



Foto n.1 e 2 Frana della Costalunga del 13 giugno 1937

3) Tratto da: **Eventi di piena e frana in Italia settentrionale nel periodo 2002-2004**. Pubbl. CNR, gennaio 2006 AAVV.

Evento alluvionale del **23-24 giugno 1959**. «A seguito del nubifragio... comprendente la zona dei Comuni di Premolo, Parre e Ponte Nossa..., al fine di evitare danni assai più gravi derivanti da un eventuale ripetersi di simili avversità atmosferiche, mai viste a memoria d'uomo, il Signor Sindaco del Comune di Ponte Nossa ha affidato al sottoscritto [Geom. XX] l'incarico di accertare i danni... La forza di caduta e la elevata velocità dell'acqua a fosso pieno hanno trasportato a valle una massa enorme di detriti e veri massi di pietrame... Altra causa gravissima che ha provocato i luttuosi fatti di Nossa è il totale disboscamento dell'erta ripidissima che sovrasta minacciosa l'abitato di Nossa... Da questa erta si sono staccate numerose frane...» (Comune di Ponte Nossa, Relazione peritale... per stabilire i danni causati dall'alluvione del 23 giugno 1959, 26 giugno 1959).

«A seguito di un eccezionale nubifragio abbattutosi nel pomeriggio... su tutto il territorio della Provincia di Bergamo, ed in particolare con inaudita violenza sulla media Valle Seriana, si sono verificati notevoli danni... in Comune di Parre un vero fiume di fango ha invaso una casa a due piani, provocando il crollo di un muro perimetrale: una donna è stata soffocata dal fango, ed un passante che si era prodigato in un generoso tentativo di salvataggio è stato schiacciato dal crollo delle murature delle scale...» (Ministero LL.PP., Genio Civile Bergamo, Relazione, 26 giugno 1959).

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il territorio comunale è caratterizzato da tre settori morfologicamente ben riconoscibili:

1. il settore settentrionale E' caratterizzato da versanti che presentano un'acclività mediamente elevata con affioramenti del substrato roccioso di natura prevalentemente dolomitica che costituiscono la forra che si estende dall'abitato di Casnigo verso nord, sino alla confluenza della valle del Riso e Ponte Nossa. Solo in corrispondenza dello spartiacque con la Valle del Riso, in destra valle, in località Barbata, grazie all'affioramento di litologie più tenere ed argillitiche la morfologia diventa più dolce con depositi di copertura più estesi di natura eluvio colluviale.

Nel settore più acclive, sono evidenti le tracce dei piani di rilascio gravitativo che interessano sia il versante destro che sinistro della valle determinando il brusco restringimento della Valle Seriana all'altezza del Ponte del Costone.

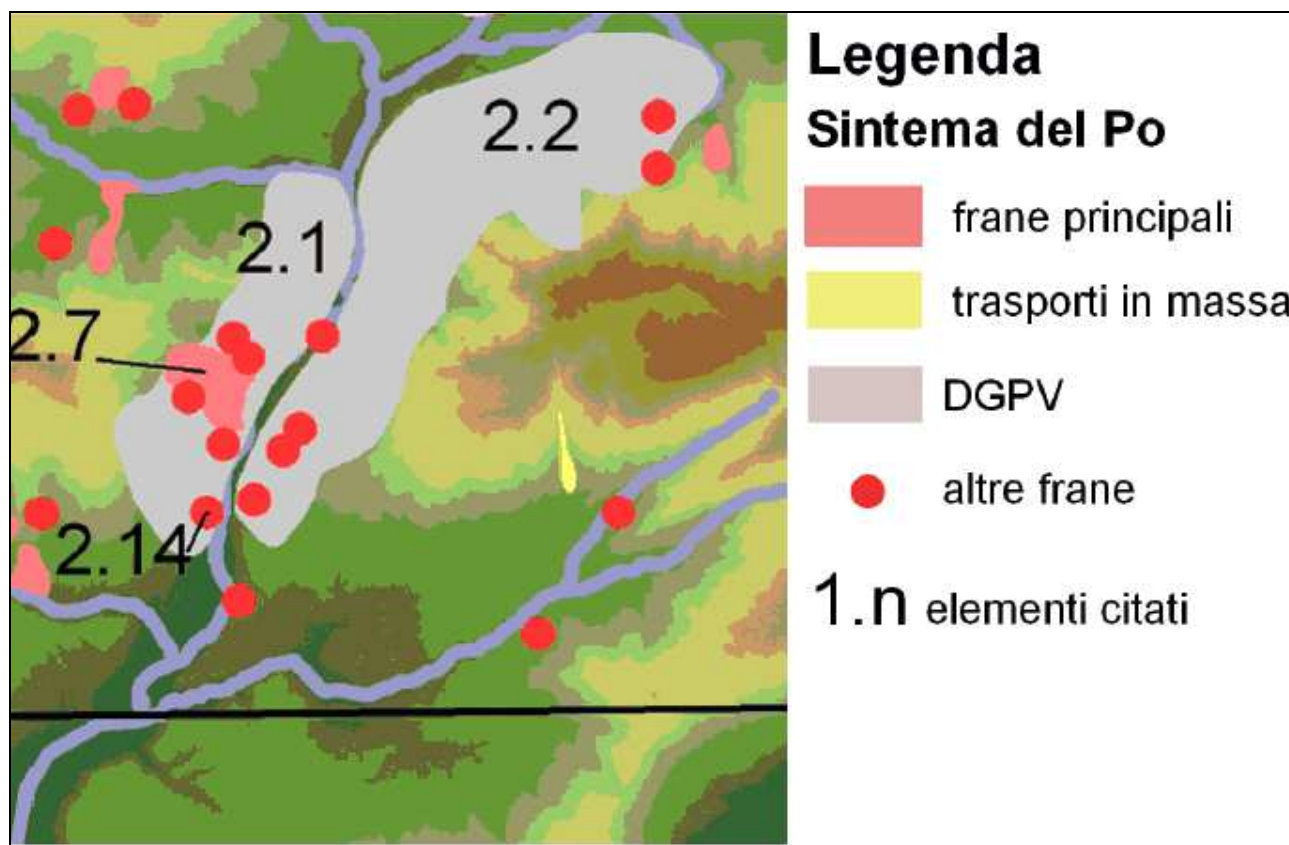


Figura n.2 Tratto delle Note illustrative del foglio CARG n. 077 Clusone; Capitolo VI Elementi di Geologia Tecnica ed Applicata.

Il versante destro, nel tratto compreso fra Colzate e la Val del Riso (**elemento 2.1 in figura**), si presenta con ripidi canali che isolano picchi e pinnacoli oltre che settori estesi completamente ribassati (Bondo di Colzate). Sul versante sinistro i fenomeni sono gli stessi, con canali curvilinei convergenti alla sommità che isolano contropendenze nettissime o una serie di piccole anticime alla cui sommità affiora un substrato talmente disarticolato da apparire un cumulo di massi. Sui versanti settentrionali del P. Formico, (**elemento 2.2**) prospicienti la conca di Clusone, compaiono fitti reticolati di trincee.

2. il settore centrale. E' caratterizzato dal terrazzo di Casnigo e Cazzano S. Andrea limitato a ovest dalla valle Seriana ed a sud dalla profonda incisione fluviale del torrente Romna. In quest'area affiorano prevalentemente depositi Pleistocenici - Olocenici a stratificazione orizzontale e morfologia pressoché pianeggiante.

Il bordo del terrazzo è netto e costituito da una scarpata subverticale e con tratti aggettanti, con altezza variabile da 20 (a est) fino ad 80 metri (a ovest) dalla quale si possono staccare blocchi e massi di dimensione variabile.



Foto n.3 Terrazzo di Casnigo - Castello visto dal versante opposto della Valle Seriana (foto Sergio Venzo 1958).

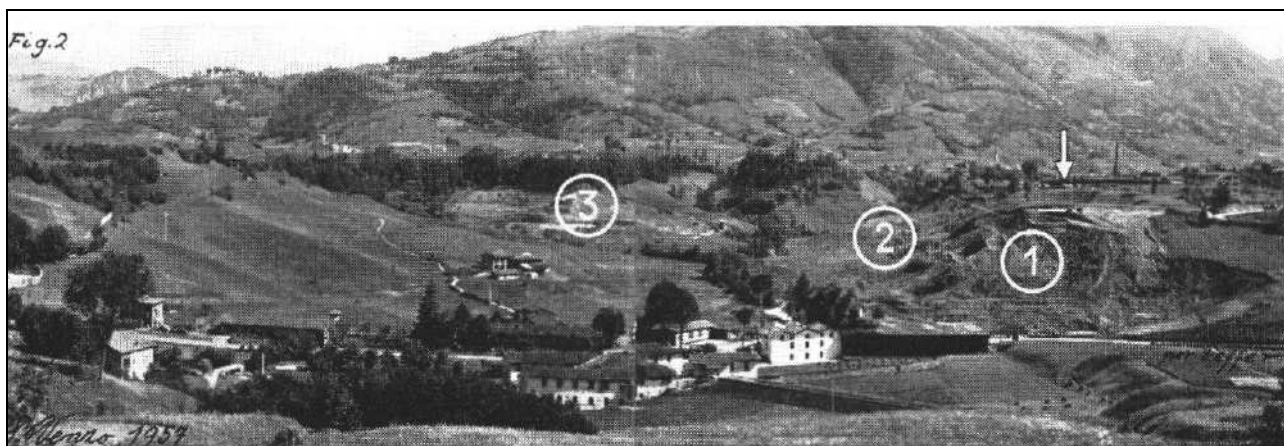


Foto n.4 Bacino del torrente Re sopra l'abitato di Villa Giuseppina. Le "cave" poste in 1 e 2 dove venivano estratte le "marne lacustri" impiegate nello stabilimento Cementi di Vertova, furono soggette a franamenti. Nel punto 3 è ubicata la "cava" che risultava attiva nel 1957 (foto Sergio Venzo 1957).

3. il settore meridionale. E' caratterizzato dalle blande ondulazioni dei rilievi denominati Romnei e Monte Bejo limitati a nord dall'incisione del torrente Romna e a sud dall'incisione del torrente Asinina. In quest'area prevalgono gli affioramenti rocciosi calcareo marnosi (Calcarea di Zorzino) ad eccezione della zona di sommità dei rilievi, riconducibili queste a paleo superfici sospese sul fondovalle attuale ove si sono sviluppati processi di alterazione e di dissoluzione carsica del

substrato roccioso che hanno prodotto l'accumulo di "terre rosse" con la conseguente formazione di un profilo di alterazione "a gradini" della roccia presente alla base del deposito.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - STRUTTURALE

Dal punto di vista geologico strutturale, sono riconoscibili tre aree delimitate dalle intersezioni tra la Linea Valtorta-Valcanale e la Faglia di Clusone - Linea di Antea. Si tratta di 3 unità tettoniche con diversa posizione strutturale (Berra & Siletto, 2001):

- **le unità strutturali inferiori**, costituite dal basamento metamorfico ercinico con la sua copertura sedimentaria, data da unità comprese tra il Conglomerato basale e il Servino-Carniola di Bovegno p.p.;
- **le unità strutturali intermedie**, costituite da unità comprese tra la Carniola di Bovegno e la formazione di San Giovanni Bianco;
- **le unità strutturali superiori**, costituite dalle unità litostratigrafiche a partire dalla Formazione di Castro.

La zona di studio si colloca all'interno delle **Unità Strutturali Superiori**.

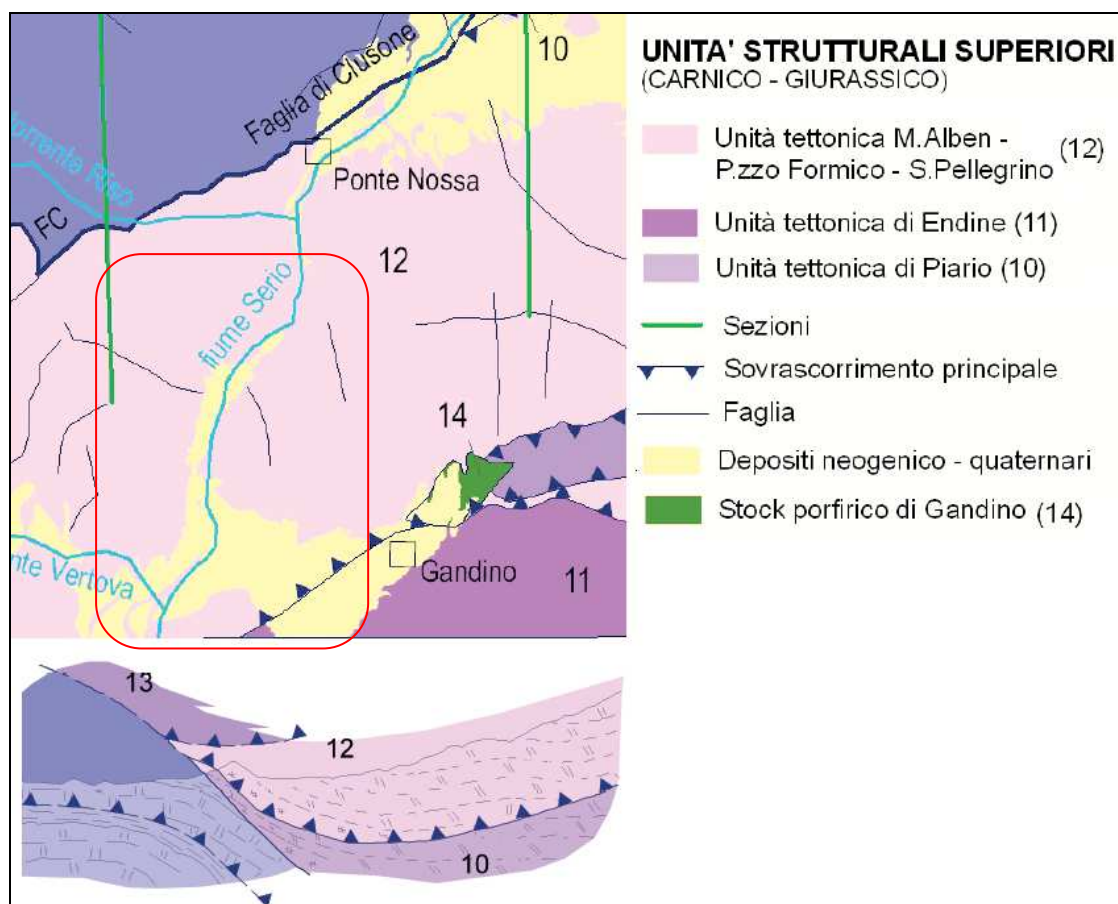


Figura n.3 Stralcio quadro strutturale area d'interesse

Le successioni stratigrafiche che costituiscono tale unità strutturale, appaiono non/poco disturbate tettonicamente, a causa dei due scollamenti principali presenti nella successione triassica.

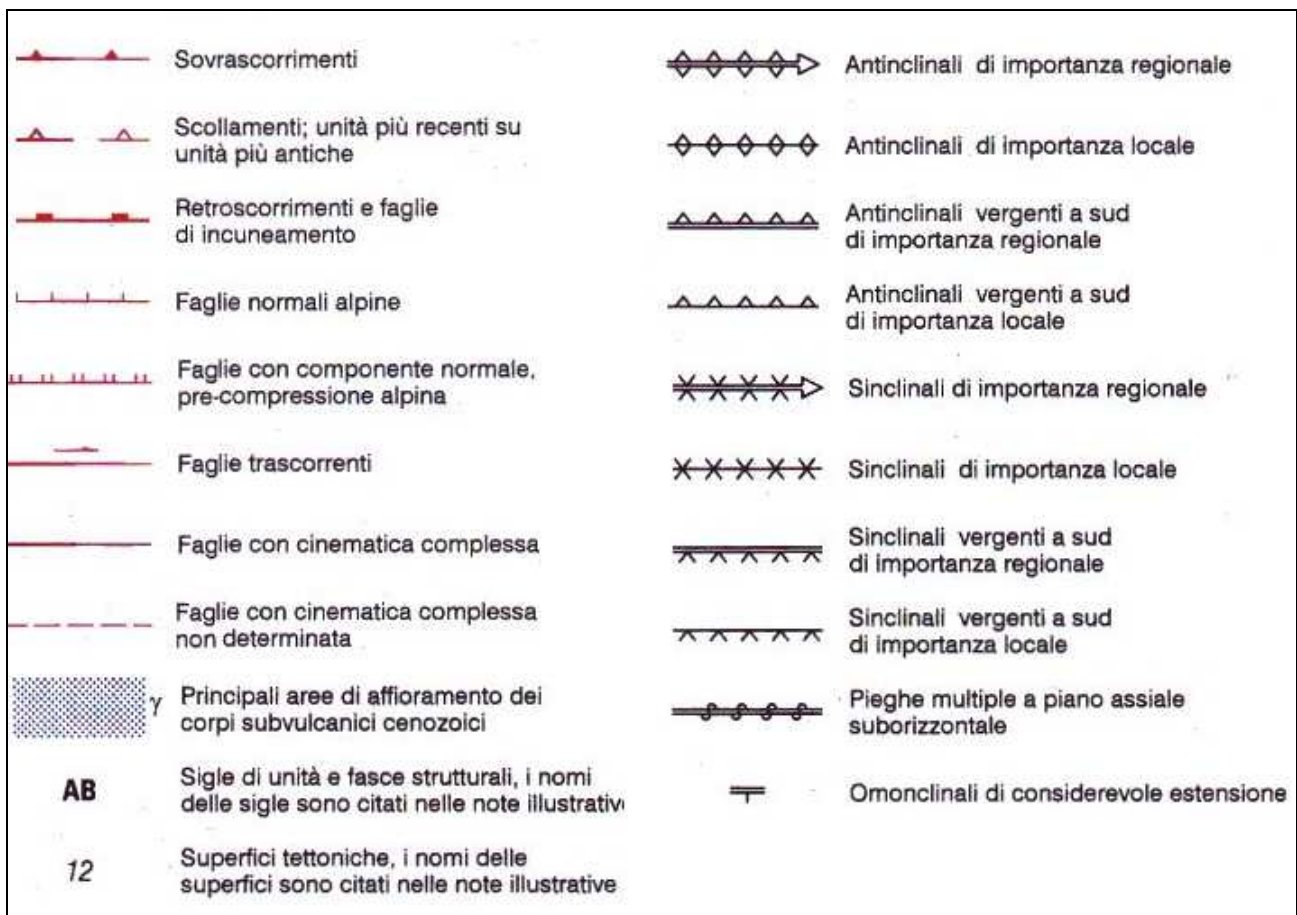
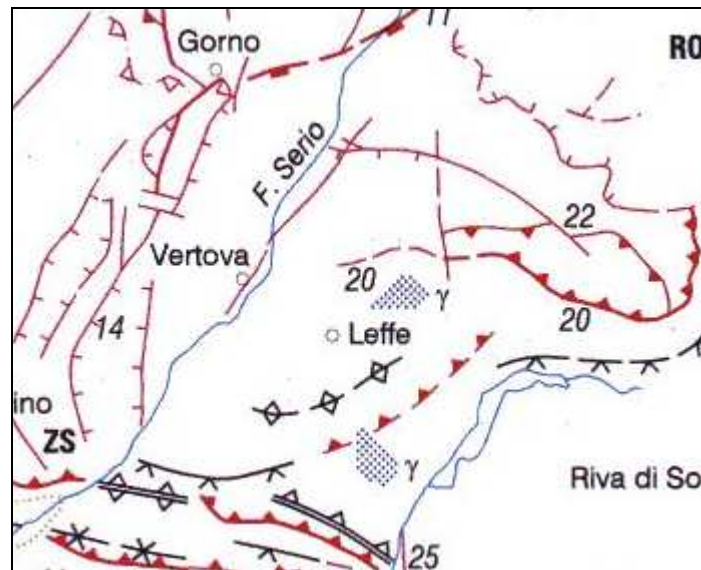


Figura n.4 Schema strutturale tratto dalla Carta Geologica della Provincia di Bergamo (2000)

5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Per le caratteristiche geologiche del territorio comunale, oltre ai rilievi di controllo del sottoscritto, si è fatto riferimento sia alla Carta Geologica della Provincia di Bergamo (AAVV, anno 2000), prodotta in scala 1:50.000, che alla cartografia più recente del Progetto CARG (Carta geologica d'Italia Foglio 077 Clusone, e Foglio 98 Bergamo, prodotta in scala 1:50000, 2012).

Le unità geologiche che affiorano nel territorio comunale risultano essere, dalla più recente a quella più antica:

Unità di copertura

- SINTEMA DEL PO - POI (Pleistocene sup- Olocene)
- GRUPPO DI PRATO GRANDE - GR (Pleistocene)
- GRUPPO DEL CULMINE - CU (Pliocene - Pleistocene)
 - **Bacino del Basso Serio**
- SUPERSINTEMA DI FIORANO - FR (Pleistocene Medio)
- FORMAZIONE DI TRIBULINA DEL CASTELLO - **TBC** (Pleistocene Medio)
- CONGLOMERATO DEL CASTELLO DI CASNIGO - **NIG** (Pleistocene Medio)
- CONGLOMERATO DI VAL BRONESCA - **ONE** (Calabriano)
- FORMAZIONE DI LEFFE - **LEF** (Gelasiano - Calabriano)
 - **Bacino Alto Serio**
- CONGLOMERATO DI GROPPINO (Pleistocene Medio)

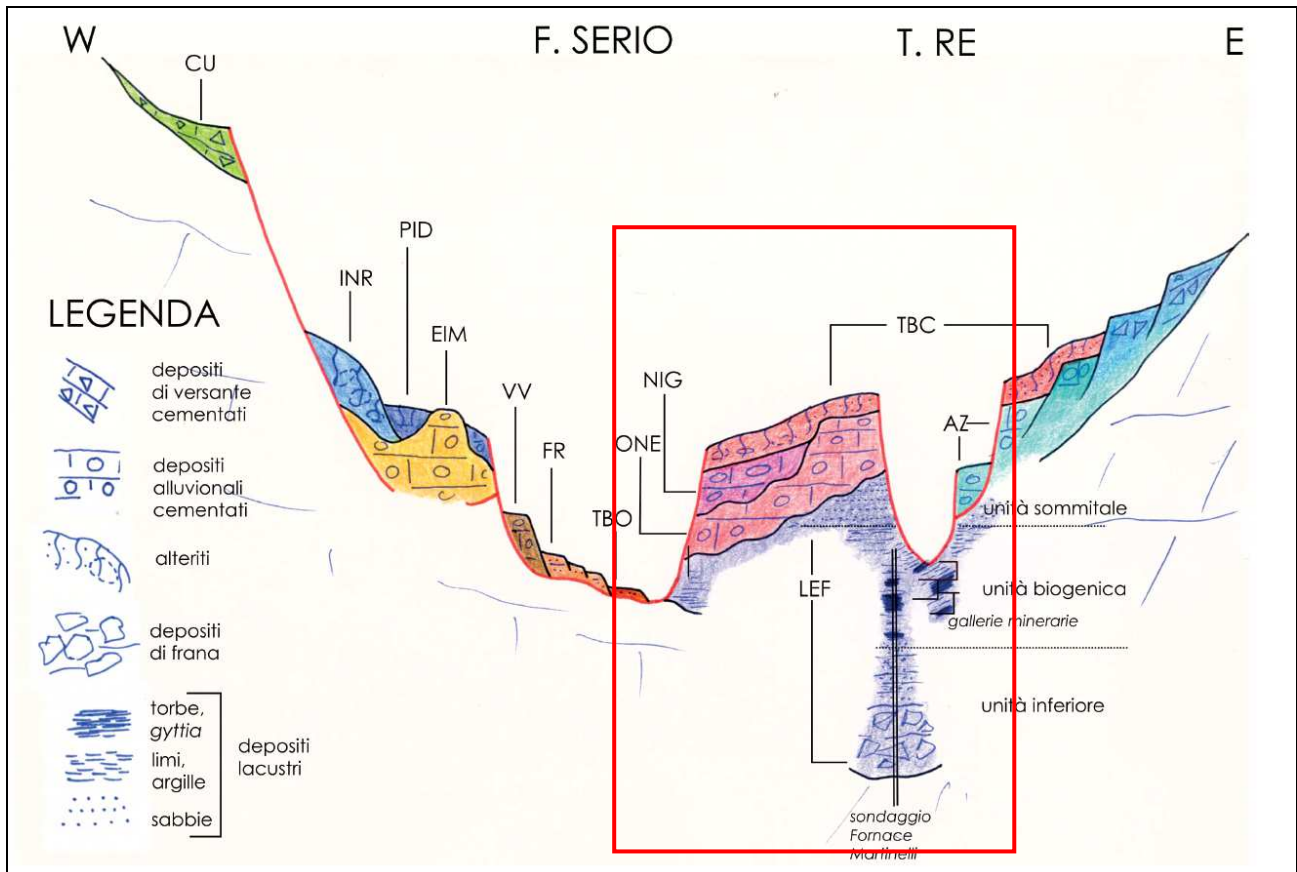


Figura n.5 Sezione tratta dal Foglio geologico 077 Clusone. Schema dei rapporti stratigrafici delle unità Pleistoceniche affioranti in corrispondenza del terrazzo di Casnigo.

Unità del substrato roccioso

- FILONI ANDESITICI - fn (Porfiriti del Cenozoico)
- CALCARE DI ZU - ZUUa (**litozona inferiore** - Retico)
- ARGILLITI DI RIVA DI SOLTO - ARS (Norico superiore)

- **Gruppo dell'Aralalta**

- CALCARE DI ZORZINO - ZOR (Norico Medio)
- DOLOMIE ZONATE - DZN in facies a (Norico Medio)
- DOLOMIA PRINCIPALE - DPR membri a e b (Carnico Superiore - Norico)
- FORMAZIONE DI CASTRO (Carnico Superiore)

In dettaglio:

SINTEMA DEL PO (POI)

Depositi di ghiaie con clasti spigolosi (**depositi di versante, di frana e di debris-flow**); ghiaie e sabbie stratificate (depositi alluvionali in alveo Serio e affluenti laterali principali); limi laminati, argille, torbe (depositi lacustri e di torbiera); diamicton massivi a blocchi (depositi glaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da alterazione assente e morfologie ben conservate o ancora in evoluzione.

GRUPPO DI PRATO GRANDE (GR)

Depositi massivi con clasti spigolosi; ammassi rocciosi disarticolati e coperture di blocchi accatastati *in situ* alla sommità di ammassi disarticolati.

Si tratta di depositi di versante e di frana: diamicton massivi pedogenizzati, a supporto clastico o di matrice con clasti spigolosi; **ammassi rocciosi disarticolati e ribassati per gravità; coperture di blocchi accatastati *in situ* alla sommità di ammassi disarticolati.**

GRUPPO DEL CULMINE (CU)

Conglomerati e diamicton massivi o rozzamente clinostratificati con clasti spigolosi, mal selezionati, locali (depositi di versante). Da ottimamente cementati a litificati sospesi rispetto al fondovalle attuale. Comprende unità locali non coeve, distinte in base alla posizione stratigrafica e/o alle geometrie.

Unità del bacino del Basso Serio

SUPERSINTEMA DI FIORANO (FR)

Si tratta di depositi alluvionali costituiti da ghiaie con ciottoli in corpi stratoidi a supporto clastico con clasti ben arrotondati, appiattiti o a disco, da centimetrici sino a 20-30 cm, ben selezionati; ghiaie a supporto clastico con abbondante matrice sabbiosa, clasti da subarrotondati a arrotondati, mal selezionati, carbonatici e silicei provenienti dall'alta valle.

Profilo di alterazione troncato, con decarbonatazione sino a 2.5 m dal piano campagna, matrice argilloso-limosa 5YR, sparsi clasti silicatici residuali arenizzati.

Il limite inferiore osservato è del tipo erosionale su Dolomia Principale (scavi edilizi a Fiorano). Il limite superiore coincide con la superficie topografica.

FORMAZIONE DI TRIBULINA DEL CASTELLO (TBC)

I depositi alluvionali del Conglomerato del Castello di Casnigo alla sommità appaiono alterati e ricoperti da depositi eolici (loess), che hanno seppellito l'originaria morfologia rendendo la superficie del terrazzo di Casnigo uniforme e debolmente inclinata verso sud. La presenza del loess testimonia che, durante le oscillazioni fredde molto accentuate (eventi glaciali), il territorio di Leffe si trovava in un ambiente steppico periglaciale, privo di foreste.

I loess più antichi - come i depositi fluviali sottostanti - sono stati alterati da un tipo di pedogenesi di ambiente temperato caldo, che ha dato origine ad un orizzonte argillico molto arrossato.

La copertura di spessore genericamente superiore alla decina di metri, è costituita a partire dal p.c. verso il basso da:

- **Depositi eolici:** limi pedogenizzati e di colorazione rossastra.

- **Alteriti:** limi argillosi pedogenizzati e diamicton massivi a supporto di matrice argilloso-limosa con sparsi clasti silicei residuali, spesso a disco; clasti da alterati ad arenizzati: litareniti verdi e rosse con *cortex* pluricentimetrico estremamente friabile e rubefatto, gneiss friabili, marne ocracee argillificate, conglomerati permiani con clasti quarzosi in rilievo; colore della matrice 7.5YR5/6 -

Il limite inferiore si presenta con un profilo ad organi geologici sulla formazione del conglomerato del Castello di Casnigo.

CONGLOMERATO DEL CASTELLO DI CASNIGO (NIG)

Conglomerati (depositi alluvionali). Si tratta di conglomerati stratificati in banchi metrici (1 ÷ 4 metri) con base netta erosionale, a supporto clastico con abbondante matrice arenacea grossolana, clasti mal selezionati, di diametro medio 15 cm e massimo fino a 20-30 cm, ben arrotondati di forma subsferica, talora appiattiti, presente embricazione; conglomerati in *set* a stratificazione obliqua, supporto clastico, matrice scarsa o assente, clasti ben selezionati, da 1 a 6 cm, arrotondati, subsferici, rivestiti da sottili e discontinue croste di cemento calcitico; arenarie medie e grossolane in strati decimetrici gradati. I clasti sono esotici (litologie assenti nel bacino di Gandino) di alimentazione seriana. Le litologie presenti sono nell'ordine: Calcari e dolomie, conglomerati permiani (Verrucano Lombardo), Vulcaniti e arenarie, metamorfiti del basamento. Cementazione da buona a ottima.

Il limite inferiore è sulla successione norica, oppure sul sottostante conglomerato di Val Bronesca, profondamente inciso da una superficie erosionale successivamente soggetta a pedogenesi. Il limite superiore, a organi geologici, avviene con la formazione di Tribulina del Castello.

Nel settore occidentale del bacino di Leffe, tali litologie si sovrappongono in maniera netta con limite planare ai depositi della formazione di Leffe. Il conglomerato di Casnigo non è eteropico ma bensì sovrapposto ai depositi dell'Unità Biogenica Intermedia della Form. di Leffe (Ravazzi 1993a).

CONGLOMERATO DI VAL BRONESCA (ONE)

Depositi alluvionali costituiti da conglomerati in banchi metrici a supporto clastico, clasti prevalentemente carbonatici, ben selezionati e subarrotondati e matrice arenacea e cementazione ottima. I clasti vanno da centimetrici sino a decimetrici, arrotondati e di forma ellissoidica. **Prevalenti nettamente i clasti carbonatici**, con subordinati clasti silicei (Verrucano Lombardo, micascisti, gneiss, arenarie e peliti). Cementazione ottima.

Limite inferiore marcatamente erosionale sulla parte superiore della formazione di Leffe; limite superiore erosionale, sottolineato da un evidente paleosuolo, su cui poggia, con contatti ad organi geologici, la formazione di Tribulina del Castello.

FORMAZIONE DI LEFFE (LEF)

Limi, limi argillosi, sabbie fini, limi calcarei laminati con livelli ricchi in gasteropodi dulciacquicoli (depositi lacustri). Torbe e ligniti in banchi metrici con macrofossili vegetali e resti di mammiferi (depositi palustri e di torbiera).

Il limite inferiore dell'unità poggia su porfiriti alterate (sondaggio Fornace Martinelli) mentre il limite superiore erosionale con il conglomerato di Val Bronesca.

Successione complessa di sedimenti legati in gran parte a situazioni di bassa energia (lacustre-torbiera), con stratigrafia nota solo attraverso dati puntiformi di sottosuolo (gallerie di miniera, grandi scavi edilizi, sondaggi).

La porzione affiorante comprende:

- depositi lacustri: limi calcarei laminati passanti verso l'alto a limi e limi argillosi con laminazioni parallele nonché sabbie fini, con gusci di molluschi dulciacquicoli; argille grigie massive;
- depositi di torbiera: livelli metrici di torbe e ligniti, talora con tronchi deformati per il carico, intercalati a banchi di limi argillosi nerastri con abbondante materia organica (*gyttja*), affioranti alla base della successione esposta.

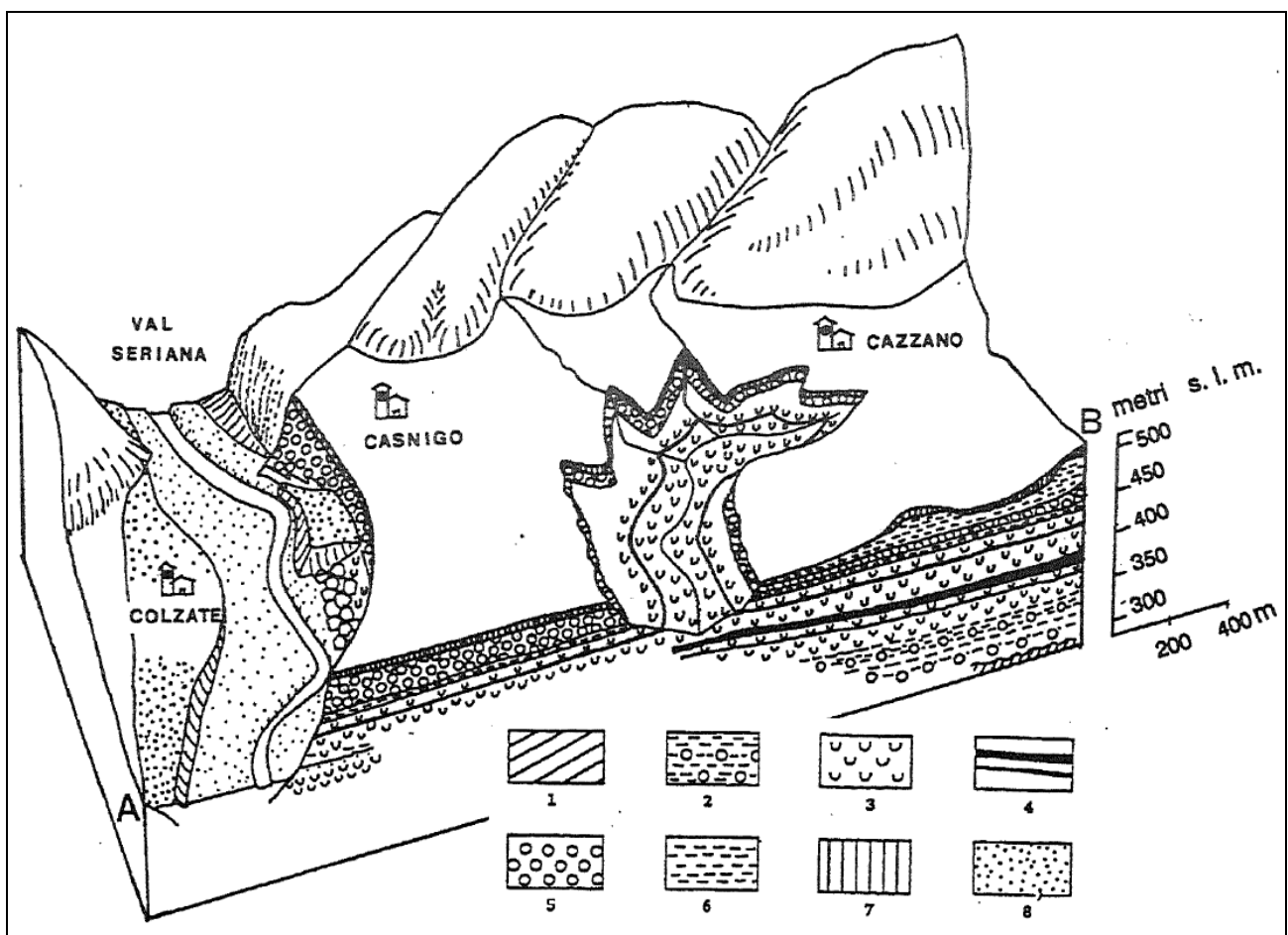


Figura n.6 Tratto dalla pubblicazione: "Nuovi dati stratigrafici e geocronologici sul Bacino di Leffe" (Prealpi lombarde, gennaio 1995).

Nella figura sopra è rappresentato il **settore occidentale del Bacino sedimentario di Leffe**. In legenda: **1**. Substrato costituito da porfiriti eoceniche nel **punto B**. Si tratta di porfiriti fortemente alterate (Saproliti); **2**. Depositi terrigeni dell'Unità Inferiore della Form. di Leffe; **3**. Depositi lacustri

carbonatici (Unità biogenica intermedia della Form. di Leffe); 4. Principali livelli organici (Unità biogenica intermedia); 5. Conglomerati e ghiaie (ex-Form. di Gandino ora Conglomerato del Castello di Casnigo (NIG) e Conglomerato della Val Dronesca (ONE)); 6. Depositi lacustri terrigeni (Unità sommitale della Form. di Leffe e Argille di Ca' Manot); 7. Pedocomplesso evoluto alla sommità della successione di Leffe (ora Formazione di Tribulina del Castello (TBC)); 8. Depositi quaternari recenti.

Unità del bacino dell'Alto Serio

CONGLOMERATO DI GROPPINO (ROP)

Conglomerati e ghiaie ben stratificati, clasti a disco, abbondanti silicoclasti dall'alta valle (depositi alluvionali); conglomerati e diamictiti clinostratificate, a clasti spigolosi (depositi di versante e di frana); facies eteropiche, che si intercalano variamente, non distinguibili alla scala della carta. Cementazione ottima in superficie, da scarsa a discreta in profondità.

Il conglomerato di Groppino, che affiora solamente in località **Ponte del Costone**, presenta gran parte delle facies caratteristiche di una valle non occupata da ghiacciaio, con frequenti intercalazioni ed eteropie non risolvibili alla scala del rilevamento; per tale motivo non vengono distinte in carta.

Esso comprende:

- **depositi alluvionali:** conglomerati e ghiaie ben stratificati in banchi metrici, supporto clastico, matrice sabbiosa grossolana scarsa; clasti ben selezionati, di dimensioni da 10 a 30 cm, ben arrotondati e appiattiti, spesso a disco, con frequente embricazione; conglomerati e ghiaie grossolanamente stratificati, a prevalente supporto clastico, con abbondante matrice sabbioso-ghiaiosa fine, clasti scarsamente selezionati, con dimensioni da 7 a 20 cm e subordinati blocchi da 30 sino a 60 cm, ben arrotondati, appiattiti o a disco frequentemente embricati; sabbie grossolane in corpi lenticolari con laminazioni oblique. Abbondanti silicoclasti provenienti dall'alta valle, di poco subordinati gli elementi carbonatici triassici. Cementazione buona in corrispondenza delle scarpate erosionali, scarsa in seno all'ammasso, con croste discontinue di cemento calcitico di spessore millimetrico che rivestono i clasti.

- **depositi di conoide alluvionale:** conglomerati stratificati in banchi metrici, talora con chiusura laterale a lente, supporto clastico con abbondante matrice arenaceo-conglomeratica fine ben arrotondata, clasti ben selezionati, ben arrotondati, talora appiattiti, embricazione frequente; intercalati livelli lenticolari di sabbie carbonatiche grossolane, non cementate e prive di strutture. Petrografia che riflette la successione medio-triassica affiorante nella valle di alimentazione. Cementazione buona.

- **depositi di versante e di frana:** conglomerati a supporto clastico e matrice arenaceo-limosa in corpi stratoidi clinostratificati, con clasti spigolosi eterometrici di dimensioni sino a decimetriche; parzialmente cementati, con croste discontinue di cemento calcitico che non riveste i clasti. Diamictiti a supporto clastico e abbondante matrice fine carbonatica, clasti sino a plurimetrici, spigolosi; in genere ben cementate entro l'ammasso. Clasti di provenienza strettamente locale, dai versanti soprastanti.

Unità del substrato roccioso

FILONI ANDESITICI

Affiorano, sotto forma di piccoli ammassi intrusivi ipoabissali e soprattutto filoni strato-concordanti e discordanti andesitici, sono definiti generalmente in bibliografia con il termine di “**porfiriti**”.

I corpi ipoabissali sono particolarmente diffusi nell’area sud-orientale del Foglio 077-Clusone, soprattutto nel settore della Val Gandino, dove è riconoscibile anche un piccolo *stock* sul fondovalle della Val d’Agro e sul versante meridionale del Pizzo Formico.

Si tratta generalmente di corpi con struttura porfirica, caratterizzati da fenocristalli sino a centimetrici di plagioclasio e orneblenda, con più rara biotite e localmente quarzo.

In genere i filoni sono intensamente fratturati e alterati, con formazione di zeoliti, calcite, idrossidi di ferro, clorite e epidoto. La massa di fondo è in genere a grana molto minuta.

Molti dei filoni osservati si impostano lungo lineamenti tettonici (sovrascorrimenti e faglie verticali) indicando una messa in posto successiva ad una importante fase tettonica.

CALCARE DI ZU

Questa formazione è stata suddivisa in due litozone: Calcarea di Zu - litozona inferiore (**ZUUa**) e Calcarea di Zu - litozona superiore (**ZUUb**)

La litozona inferiore del Calcarea di Zu (ZUUa) è costituita da prevalenti calcari micritici grigio scuri, raramente bioclastici e calcarenitici e da calcari marnosi da grigi a nerastri, in strati decimetrici piano-paralleli o in banchi plurimetrici costituiti da strati amalgamati; alla base dei cicli vi sono intercalazioni, di spessore metrico, di marne e calcari marnosi localmente fossiliferi e, più raramente, argilliti marnose nerastre. La sommità della litozona inferiore è caratterizzata da un orizzonte pluridecametrico prevalentemente carbonatico costituito da intercalazioni di calcareniti grigie e grigio scure, bioclastiche, raramente oolitiche, calcari fossiliferi.

ARGILLITI DI RIVA DI SOLTO

La litozona inferiore è caratterizzata da argilliti e argilliti marnose nere, molto compatte, fogliettate, organizzate in banchi planari di spessore plurimetrico. A esse si intercalano orizzonti marnoso-calcarei, fetidi, a volte con laminazioni parallele, *slumping*, ritmiti e patina d’alterazione ocracea, in singoli strati decimetrici a superficie ondulata, spesso lenticolari, per compattazione.

Le facies sommitali dell’Argillite di Riva di Solto sono verosimilmente eteropiche con la parte basale del Calcarea di Zu.

Gruppo dell’Aralalta

CALCARE DI ZORZINO

Il Calcarea di Zorzino è costituito in prevalenza da una successione monotona di calcari micritici neri, fetidi, in strati piano-paralleli di spessore da centimetrico a pluridecimetrico, con sottili intercalazioni di marne nere, più diffuse nella parte superiore dove si associano anche ritmi millimetrico-centimetriche di calcari marnosi e calcilutiti nere lastroidi, ricchi in sostanza organica e localmente fossiliferi.

DOLOMIE ZONATE

L'unità comprende le facies carbonatiche noriche, ben stratificate e di bacino intra-piattaforma eteropiche alla Dolomia Principale.

Le dolomie zonate sono costituite da alternanze di **calciruditi e calcareniti-calcisiltiti dolomitizzate** grigio scure, in strati sino a pluridecimetrici piano-paralleli, ma anche con geometrie lenticolari, con clasti millimetrici chiari e scuri, con clasti pelitici. Le facies medio-grossolane possono presentare granoclassazione, laminazioni parallele, oblique, e superfici erosive. Sono intercalate anche ritmi grigio nerastre di spessore centimetrico caratterizzate da alternanze di laminazioni parallele chiare e scure.

DZNa Localmente sono intercalate lenti e lingue di spessore anche plurimetrico di paraconglomerati e megabrecce a clasti intraformazionali della Dolomia Principale.

DOLOMIA PRINCIPALE

DPRb: raggruppa tutte le facies tipiche della Dolomia Principale rappresentate da dolomie grigie subtidali in banchi sino a metrici e dolomie in spessi cicli peritidali *shallowing upward*, a prevalenti facies subtidali.

DPRa: questa litofacies è costituita da litologie come brecce-megabrecce massive, caotiche, di spessore da metrico a plurimetrico, con clasti eterometrici di Dolomia Principale (dimensioni da pochi centimetri a oltre mezzo metro).

L'unità è dolomitizzata pervasivamente: le microfacies risultano spesso ricristallizzate, ma la dolomitizzazione precoce ha preservato le strutture primarie.

FORMAZIONE DI CASTRO

Le litofacies sono costituite in prevalenza da **brecce calcaree**, irregolarmente stratificate o in banchi massivi amalgamati, con clasti da grigio nocciola a grigio scuri spigolosi mediamente centimetrici, intraformazionali di calcari grigio chiari e scuri ricristallizzati, molto compatti, con numerose fratture tensionali primarie e tardo-diagenetiche. Sono presenti locali intercalazioni di calcari grigio chiari e scuri in prevalenza micritici e, alla base, orizzonti di carniole, banchi di brecce a clasti calcarei e dolomitici, calcari dolomitici con qualche sottile intercalazione marnosa.

6. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

In questo capitolo sono raccolte le conoscenze riguardanti il reticolo idrografico superficiale.

Per quanto riguarda l'individuazione del reticolo idrico comunale, si è fatto riferimento a quanto riportato sullo **Studio del "Reticolo Idrografico Minore"** ai sensi della D.G.R. n.7/7868 del 25/01/2002 redatto dallo Studio GEA s.n.c, per conto della Comunità Montana Valle Seriana, nel settembre 2004.

Il trasferimento del reticolo idrografico sulla base topografica comunale di maggior dettaglio (scala 1:2000, ediz. 2011), ha comportato alcune modifiche di piccola entità relativamente al tracciato di alcuni tributari laterali oltre che l'inserimento di alcuni rami secondari non segnalati.

Il reticolo idrografico del comune di Casnigo è costituito dai seguenti elementi:

1. **Reticolo Idrico Principale:** fiume Serio, torrente Romna e torrente Re;
2. **Reticolo Idrico Minore.** Tra questi, vi è la Valle Bronesca scomparsa negli anni successivi al 1975, per tutto il tratto che incideva il terrazzo di Casnigo ad opera di terreni di riporto con cui è stato riempito l'impluvio. Il tracciato originario è stato mantenuto nella cartografia e sostituito da una condotta fognaria.

Oltre al reticolo idrografico naturale, sono presenti diversi canali artificiali sia a cielo aperto che coperti destinati ad alimentare le centrali idroelettriche, poste in cascata, sui due lati del fiume Serio.

Dallo studio del Reticolo Idrografico Minore è stata ripresa anche la delimitazione delle fascia di rispetto di **10 metri** ai sensi del R.D. 523/1904 imposta lungo gli impluvi censiti sia sulla cartografia tecnica regionale che sulla cartografia catastale.

6.1. Reticolo Idrico Principale

Per quanto riguarda i corsi d'acqua appartenenti al Reticolo Idrografico Principale (R.P.) si allega quanto estratto dalla D.G.R. n.1615 del 18 dicembre 2023 "**Riordino dei reticoli idrici di Regione Lombardia e revisione dei canoni di polizia idraulica**".

Num. Progr.	Denominazione	Comuni attraversati	Foce o sbocco	Tratto classificato come principale	Elenco AA.PP.
BG088	Fiume Serio	CASNIGO	Fiume Adda	na alle sue sorgenti ed in ciascuno dei suoi rami di origine fino a tutto lo specchio	146
BG122	Torrente Romna	CASNIGO	Fiume Serio	dallo sbocco alla sua biforcazione nei rami della Valle Concozzola e Valle Piana	216
BG123	Torrente Re	CASNIGO	Torrente Romna	tutto il corso	217 e 680

Tabella n.1 Elenco corsi d'acqua appartenenti al Reticolo Idrico Principale

Fiume Serio

Il suo corso, sinuoso, interessa il territorio comunale per circa 7,6 Km, e nella parte centrale e meridionale del territorio comunale costituisce il confine occidentale di Casnigo rispettivamente con Colzate e Vertova. L'alveo è costituito prevalentemente da: ciottoli, ghiaie e sabbie nelle zone di calma. Localmente affiora roccia.

Torrente Romna

Il torrente Romna, affluente sinistro del Fiume Serio, rappresenta il corso idrico principale della Val Gandino, il bacino idrografico si estende su una superficie di 40,1 Km², mentre all'altezza della confluenza con il torrente Ré e Rino, il suo bacino si estende a monte per 22,9 Km². Il tratto che interessa il Comune di Casnigo si estende per circa 2,3 Km. L'alveo è frequentemente impostato su roccia affiorante.

Torrente Re

Affluente destro del torrente Romna, a monte della confluenza con quest'ultimo, il bacino idrografico si estende per 7.45 Km². L'alveo localmente è impostato sulle argille della Formazione di Lefte.

6.2. Reticolo Idrico Minore

Per quanto riguarda l'elenco dei corsi d'acqua appartenenti al Reticolo Idrico Minore sono stati censiti complessivamente oltre 117 incisi appartenenti a 20 bacini tributari principali.

L'attività di polizia idraulica sul R.I.M. è di competenza comunale. I Comuni della Valle Seriana, attraverso apposita convenzione, hanno delegato la Comunità Montana alla gestione associata delle funzioni inerenti il RIM, delegate ai comuni dall'art. 3 comma 114 della L.R.1/2000 e, per ultimo, regolamentate dalla DGR X/4229 del 23 ottobre 2015. Mentre il Servizio Lavori Pubblici-Patrimonio-Territorio dell'Ente Montano si occupa della mitigazione del dissesto idrogeologico e della messa in sicurezza del Reticolo Idrico Minore, attraverso la predisposizione di un piano annuale degli interventi da realizzare sulla base delle segnalazioni pervenute da parte dei Comuni convenzionati, il Servizio Agricoltura-Foreste-Ambiente-Difesa del suolo gestisce in forma associata il servizio delegato dalla Regione Lombardia relativo alle funzioni di polizia idraulica e all'istruttoria delle istanze per il rilascio di nulla-osta o concessione di area demaniale.

7. INQUADRAMENTO IDROLOGICO ED IDRAULICO

Per quanto riguarda gli aspetti idrologici ed idraulici dei torrenti Romna e Re', ci si è rifatti allo "Studio idrogeologico e progettazione preliminare a scala di sottobacino idrografico dei torrenti Romna, Re, Rino e Togna" redatto dallo Studio GEA s.n.c per conto di Regione Lombardia, Comunità Montana Valle Seriana e UNIACQUE Servizio Idrico Integrato, nell'ottobre 2017.

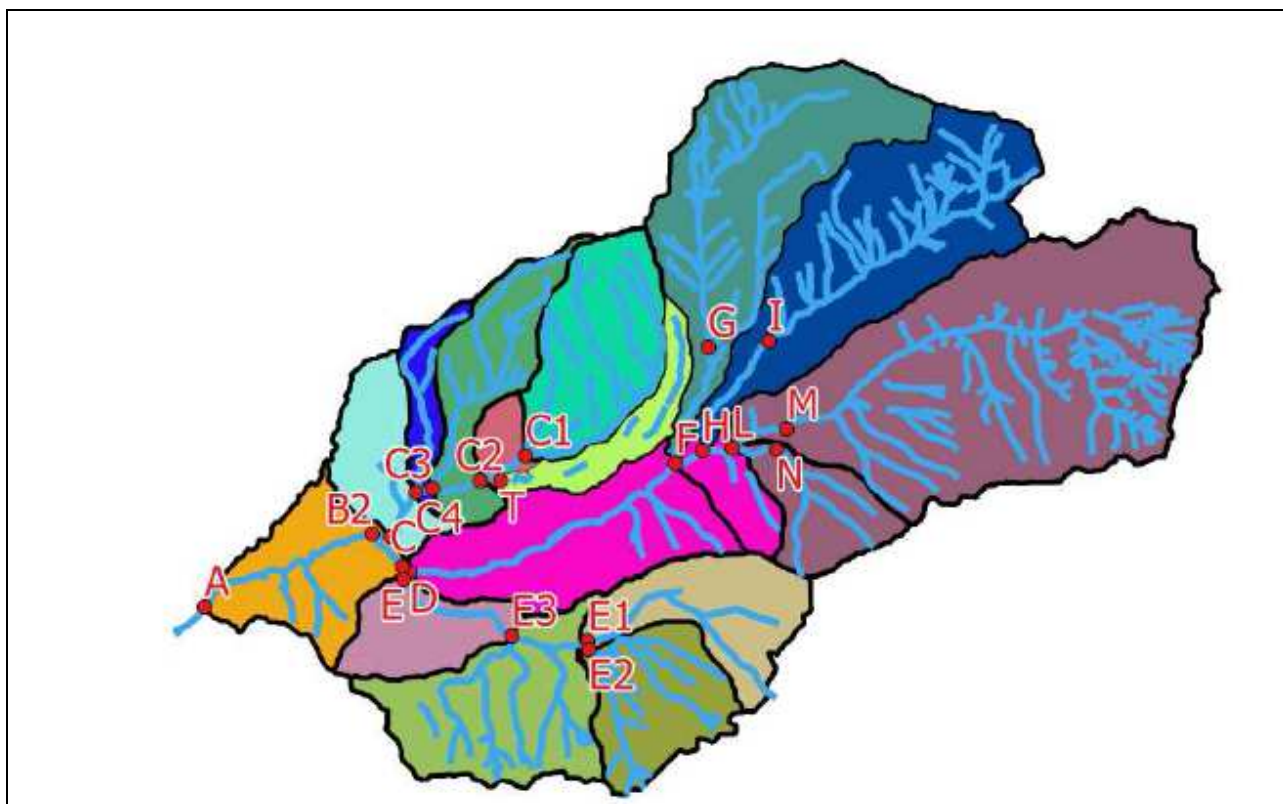


Figura n.7 Carta della suddivisione in sottobacini del **bacino idrografico del T. Romna** (tratta dallo "Studio idrogeologico e progettazione preliminare a scala di sottobacino idrografico dei torrenti Romna, Re, Rino e Togna"). I due bacini che interessano il comune di Casnigo sono il bacino arancione e parte del bacino azzurro chiaro. Il **punto A** rappresenta la chiusura del bacino del torrente Romna mentre il **punto B2** coincide con il punto di confluenza del torrente Re nella Romna.

Bacino	AREA DEL BACINO [kmq]:	LUNGHEZZA DELL'ASTA PRINCIPALE [km]:	QUOTA MASSIMA DEL BACINO [m slm]:	QUOTA MEDIA DEL BACINO [m slm]:	QUOTA DELLA SEZIONE DI CHIUSURA [m slm]:	PENDENZA MEDIA DELL'ASTA PRINCIPALE:
A	40.1	12	1635	884	377	0.10
B1	30.7	9.45	1635	955	427	0.13
B2	38.4	9.95	1635	900	417	0.12
C	7.45	5	1327	690	417	0.18
C1	2.5	3	1327	800	504	0.27
T	0.85	3	900	590	490	0.14
C2	3.7	3.6	1327	742	481	0.24
C3	5.5	4.3	1327	740	431	0.23
C4	6.1	4.55	1327	727	427	0.22
D	22.93	6.35	1635	1048	423	0.19
E	7.8	4.7	1200	683	423	0.17
E1	1.9	2.5	1200	785	484	0.29
E2	1.83	1.9	1042	751	484	0.29
E3	6.52	3.3	1200	715	459	0.22
F	19.8	6.9	1635	1223	524	0.11
G	4.5	4.7	1635	1240	520	0.24
H	15.2	6.5	1584	1092	529	0.12
I	4.64	5.1	1584	1135	536	0.21
L	10	5.7	1415	1093	550	0.15
M	8.8	5.1	1415	1114	550	0.17
N	1.23	1.9	1220	947	550	0.35

Tabella n.2 Dati morfometrici dei sottobacini in cui si suddivide il bacino del T. Romna (tabella tratta dalla "Studio idrogeologico e progettazione preliminare a scala di sottobacino idrografico dei torrenti Romna, Re, Rino e Togna").

Di seguito si riporta una tabella con la valutazione dei tempi di corrvazione calcolati per i vari sottobacini del torrente Romna sempre riportati nello studio idrogeologico succitato.

BACINO	FORMULA UTILIZZATA							Valore medio	Tc progetto [ore]
	GIANDOTTI	VIPARELLI	PEZZOLI	KIRPICH	VENTURA	PUGLISI	PASINI		
A	2.41	1.67	2.04	1.16	1.99	2.91	3.27	2.21	2.2
B1	1.98	1.31	1.45	0.90	1.75	2.52	2.50	1.77	1.8
B2	2.26	1.38	1.56	0.95	1.95	2.60	2.80	1.93	2
C	1.39	0.69	0.64	0.48	0.86	1.81	1.06	0.99	0.9
C1	0.79	0.42	0.32	0.28	0.50	1.33	0.50	0.59	0.5
T	1.02	0.42	0.45	0.36	0.29	1.68	0.5	0.67	0.4
C2	1.01	0.50	0.41	0.34	0.61	1.49	0.66	0.72	0.6
C3	1.13	0.60	0.52	0.40	0.74	1.65	0.81	0.83	0.8
C4	1.21	0.63	0.56	0.43	0.78	1.71	0.87	0.88	0.8
D	1.43	0.88	0.80	0.56	1.51	1.93	1.63	1.25	1.25
E	1.41	0.65	0.64	0.47	0.88	1.83	1.10	1.00	0.9
E1	0.67	0.35	0.26	0.24	0.43	1.24	0.42	0.51	0.4
E2	0.63	0.26	0.19	0.19	0.43	1.12	0.38	0.46	0.4
E3	1.18	0.46	0.38	0.32	0.80	1.47	0.79	0.77	0.7
F	1.33	0.96	0.95	0.64	1.40	2.10	2.10	1.35	1.25
G	0.72	0.65	0.53	0.41	0.67	1.62	0.77	0.77	0.7
H	1.34	0.90	0.89	0.61	1.23	2.05	1.80	1.26	1.2
I	0.83	0.71	0.62	0.46	0.68	1.75	0.85	0.84	0.7
L	1.14	0.79	0.80	0.57	1.00	2.01	1.33	1.09	1
M	1.03	0.71	0.68	0.50	0.93	1.87	1.16	0.98	0.9
N	0.46	0.26	0.18	0.18	0.35	1.05	0.30	0.40	0.3

Tabella n.3 Calcolo dei tempi di corrivazione (Tc in ore) in corrispondenza dei punti di chiusura dei vari sottobacini considerati (tratto dallo "Studio idrogeologico e progettazione preliminare a scala di sottobacino idrografico dei torrenti Romna, Re, Rino e Togna").

Il calcolo della portata al colmo di piena, per diversi tempi di ritorno (Qt in mc/s), è riportato nella tabella seguente.

Bacino	Tr [anni]										
	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
A	43.8	66.7	83.7	101.1	106.6	119.5	125.5	145.9	167.9	199.2	225.1
B1	35.0	53.2	66.7	80.6	85.0	95.3	100.1	116.4	133.9	158.9	179.5
B2	43.5	66.2	83.0	100.3	105.8	118.6	124.5	144.8	166.5	197.7	223.4
C	14.0	21.3	26.7	32.2	33.9	38.1	40.0	46.5	53.5	63.5	71.7
C1	5.2	8.0	10.0	12.0	12.7	14.2	15.0	17.4	20.0	23.7	26.8
T	2.8	4.3	5.4	6.5	6.8	7.7	8.1	9.4	10.8	12.8	14.5
C2	8.3	12.6	15.8	19.1	20.1	22.5	23.7	27.5	31.6	37.5	42.4
C3	10.9	16.5	20.7	25.1	26.4	29.6	31.1	36.2	41.6	49.4	55.8
C4	12.0	18.3	22.9	27.7	29.2	32.8	34.4	40.0	46.0	54.6	61.7
D	29.2	44.4	55.7	67.3	71.0	79.6	83.6	97.2	111.8	132.7	149.9
E	13.2	20.1	25.2	30.4	32.0	35.9	37.7	43.9	50.5	59.9	67.7
E1	4.0	6.0	7.6	9.2	9.6	10.8	11.4	13.2	15.2	18.0	20.4
E2	3.8	5.8	7.3	8.8	9.3	10.4	10.9	12.7	14.6	17.3	19.6
E3	11.3	17.3	21.7	26.2	27.6	30.9	32.5	37.8	43.5	51.6	58.3
F	23.6	35.9	45.1	54.4	57.4	64.4	67.6	78.6	90.4	107.3	121.2
G	7.5	11.5	14.4	17.4	18.3	20.6	21.6	25.1	28.9	34.3	38.7
H	17.8	27.1	34.0	41.1	43.3	48.5	51.0	59.3	68.2	80.9	91.4
I	6.7	10.2	12.8	15.5	16.3	18.3	19.2	22.3	25.7	30.5	34.5
L	12.5	19.0	23.8	28.8	30.3	34.0	35.7	41.5	47.8	56.7	64.1
M	10.9	16.5	20.7	25.1	26.4	29.6	31.1	36.2	41.6	49.4	55.8
N	2.8	4.3	5.4	6.5	6.9	7.7	8.1	9.4	10.8	12.8	14.5

Tabella n.4 Portate al colmo di piena calcolate per diverso tempo ritorno e riportate sullo "Studio idrogeologico e progettazione preliminare a scala di sottobacino idrografico dei torrenti Romna, Re, Rino e Togna").

7.1 RISULTATI DELLO STUDIO IDRAULICO DI DETTAGLIO

Di seguito si riportano le perimetrazioni delle aree allagabili tratte dallo “**Studio idrogeologico e progettazione preliminare a scala di sottobacino idrografico dei torrenti Romna, Re, Rino e Togna**”, redatto dallo Studio GEA s.n.c., per conto di Regione Lombardia, Comunità Montana Valle Seriana e UNIACQUE Servizio Idrico Integrato nell’ottobre 2017.

Le analisi idrauliche, effettuate nello “studio idrogeologico” citato, hanno consentito di valutare i livelli idrici in moto permanente e conseguentemente, utilizzando la base topografica ed il DTM, di perimetrare le aree allagabili del torrente Romna e Re con **diversi tempi di ritorno (Tr = 20, 50, 100, 200 anni)**.

La definizione delle aree allagabili ha consentito di individuare i punti che presentano criticità in termini idraulici.

Le aree potenzialmente esondabili sono state perimetrare sulla **tavola d'insieme T.03.00**; sulla **tavola stato di fatto T04.00** riferendosi ai riquadri d'interesse **15, 6, 7 e 8** procedendo da monte verso valle.

Nello studio sono proposti degli **interventi di progetto** riportati sulla **tavola di insieme T.05.00** e **nelle schede di dettaglio di ogni intervento** riportate nel documento **T.06.00**.

La ripermetrazione delle aree potenzialmente allagabili del torrente Romna ha comportato l'aggiornamento delle seguenti cartografie EUROGEO del 2018: la Carta dei **Vincoli**, la Carta di **Sintesi**, la Carta di **fattibilità geologica** e la Carta **PAI-PGRA**.

Oltre alle criticità idrauliche sopra individuate puntualmente lungo il reticolo idrografico principale, si deve segnalare la tombatura della Val Bronesca o Brunesca. Il tratto di vallecchia scomparso è stato sostituito da una tubazione fognaria in gres del diametro 1000 mm che si estende per ben 965.8 metri (**Criticità evidenziata da UNIACQUE - Tavola 2 Carta di Sintesi**). A monte, laddove è presente l'ingresso della vallecchia nella tubazione fognaria è presente una griglia che se ostruita da detriti, può essere sormontata dalle acque di deflusso superficiale con conseguente incanalamento delle acque dapprima lungo via Valle e poi lungo via Brusit allagando conseguentemente anche le aree depresse immediatamente adiacenti.

8. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Di seguito si riprendono le considerazioni contenute nello “**Documento Semplificato del Rischio Idraulico comunale**” redatto dal sottoscritto contestualmente all’aggiornamento della componente geologica.

Per quanto riguarda i depositi di copertura presenti nel territorio comunale di Casnigo, in termini di permeabilità, si possono raggruppare in quattro. Partendo dai più recenti ai più antichi:

- **depositi alluvionali attuali in alveo e recenti, costituenti le superfici terrazzate laterali, depositi di conoide alluvionale e depositi di falda detritica di versante** (depositi alluvionali del Sintema del Po, depositi del Gruppo di Prato Grande, Gruppo del Culmine, Supersintema di Fiorano). I depositi alluvionali del F. Serio in corrispondenza della sua sponda sinistra, mostrano raramente uno spessore elevato (inferiore alla decina di metri), così come quelli del torrente Romna, dove spesso in alveo affiora roccia del substrato;

- **depositi fini di copertura (limoso-sabbioso-argillosi con clasti sparsi)**. Ad essi appartengono i depositi eolici ed alteritici che costituiscono la superficie topografica del terrazzo di Casnigo e, più a nord, quelli colluviali che costituiscono i pendii terrazzati di raccordo con i rilievi rocciosi retrostanti (formazione di Tribulina di Castello). Il loro spessore può superare la decina di metri (10-15 metri). In tale categoria ricadono anche le argille residuali derivanti dai processi di dissoluzione carsica superficiali che hanno interessato le paleosuperfici suborizzontali o poco inclinate spesso interessate anche da carsismo profondo.

Alla stessa categoria appartengono i terreni eluvio-colluviali presenti a Barbata (paleo superfici sospese sui fondovalle attuali profondamente incisi) di copertura alle Argilliti di Riva di Solto o ai Calcari di Zorzino.

- **depositi alluvionali cementati**. Conglomerati in banchi metrici in assetto suborizzontale che costituiscono per lo più le pareti sub verticali o aggettante del terrazzo di Casnigo o localmente in maniera discontinua, affiorano sul fianco destro della valle Seriana più a monte. Ricadono in tale unità idrogeologica i Conglomerati del Castello di Casnigo, i Conglomerati della Val Bronesca, Conglomerati alluvionali di Groppino (estremità nord).

- **depositi fini lacustri (limoso-argillosi)**. Tale unità, costituisce la superficie di base della porzione settentrionale del terrazzo di Casnigo ed è denominata Formazione di Leffe. Si tratta di limi argillosi

pag.30

ed argille laminate grigio-verdastre con intercalazioni di sabbie fini ossidate aranciate. Il tetto di tale unità rappresenta il limite impermeabile della successione soprastante in corrispondenza del quale si allineano le emergenze idriche alla base delle scarpate conglomeratiche del terrazzo di Casnigo.

La permeabilità dei depositi superficiali è definita primaria ed è dipendente dalle caratteristiche tessiturali del terreno.

Pertanto nell'ambito del territorio comunale sono state distinte essenzialmente **quattro** classi di permeabilità di tipo primario che caratterizzano i depositi di copertura:

- **CLASSE I - MOLTO ELEVATA** ($k > 10^{-4}$ m/s). A questa classe appartengono i depositi alluvionali attuali e recenti che costituiscono il fondovalle seriano ed i depositi detritici sciolti sui versanti e sui fondovalle laterali;
- **CLASSE II - ELEVATA** ($10^{-6} < k < 10^{-4}$ m/s) A questa classe appartengono i conglomerati cementati ricchi di porosità da millimetriche a centimetriche ove è assente la cementazione o dove si è avuto dissoluzione del cemento carbonatico.
Si tratta principalmente dei conglomerati che costituiscono l'ossatura del terrazzo di Casnigo;
- **CLASSE III - MEDIA** ($10^{-8} < k < 10^{-6}$ m/s) A questa sottoclasse appartengono i limi sabbiosi, limi e limi argillosi di copertura alteritica o loessica;
- **CLASSE IV - BASSA** ($k < 10^{-8}$ m/s). A questa classe appartengono le argille della Formazione di Leffe.

Per quanto riguarda le unità idrogeologiche del substrato roccioso si distinguono le seguenti unità principali dal punto di vista della permeabilità di tipo secondario (legata alle discontinuità che caratterizzano l'ammasso roccioso):

1. **Dolomia Principale, Formazione di Castro** (brecce intraformazionali) e **Calcarea di Zu** (limitatamente agli affioramenti calcarei in loc. Barbata) sono caratterizzati da un elevato grado di fratturazione superficiale e processi di dissoluzione carsica lungo i piani di discontinuità sino alla formazione di cavità, depressioni e grotte;
2. **Calcarea di Zorzino e Dolomie Zonate**, si tratta di formazioni calcareae dolomitiche stratificate talora anche fittamente, con presenza di almeno 2 sistemi di fratture, loc. discontinue, disposte all'incirca perpendicolarmente alla stratificazione. La permeabilità secondaria lungo le fratture risulta più ridotta delle litologie precedenti in relazione alla minor capacità di dissoluzione carsica legata alla maggior componente terrigena. Laddove sono presenti paleosuperfici pianeggianti o poco inclinate e la giacitura del substrato è

suborizzontale, lungo i sistemi di fratturazione disposti normalmente alla stratificazione, i processi di dissoluzione carsica hanno agito intensamente ed a lungo con il conseguente sviluppo di estese cavità carsiche. In altre zone, il processo carsico è stato favorito invece dall'intrusione dei filoni andesiti che caratterizzano tale unità ed hanno favorito la formazione di vie preferenziali per l'infiltrazione in profondità. A tale gruppo appartengono anche i filoni andesitici che appaiono spesso molto fratturati e/o completamente alterati in sabbie grossolane facilmente disgregabili in prossimità della superficie topografica;

3. Formazione delle **Argilliti di Riva di Solto** e **facies di transizione al Calcere di Zu**. Per quest'ultima, per quanto osservato sugli affioramenti locali, si tratta di alternanze di strati di calcari marnosi e/o marne calcaree con peliti fogliettate. La permeabilità secondaria di questa unità risulta bassa; tale formazione rappresenta il **limite di permeabilità** definito della presenza di sorgenti.

La permeabilità di tipo secondario di un ammasso roccioso è legata al numero di famiglie di discontinuità che lo pervadono e/o dalla presenza di fenomeni carsici in grado di allargare i vuoti ove circola l'acqua. Pertanto sono state distinte **4 classi di permeabilità**:

- **CLASSE I - MOLTO ELEVATA** ($k > 10^{-4}$ m/s). A questa classe appartengono le rocce molto fratturate e/o dislocate perché interessate dalla DGPV della formazione della Dolomia Principale o della formazione di Castro;
- **CLASSE II - ELEVATA** ($10^{-6} < k < 10^{-4}$ m/s). A questa classe appartengono le rocce della formazione della Dolomia Principale, la formazione di Castro ed il Calcere di Zù laddove prevale la facies carbonitica;
- **CLASSE III - MEDIA** ($10^{-8} < k < 10^{-6}$ m/s) A questa classe appartengono il calcere di Zorzino e le Dolomie Zonate;
- **CLASSE IV - BASSA** ($k < 10^{-8}$ m/s). A questa classe appartengono le argilliti fogliettate della formazione delle Argilliti di Riva di Solto che seppur talora risultano molto fratturate, presentano fratture con tendenza all'intasamento ad opera del materiale argilloso di disgregazione/alterazione.

8.1. Struttura idrogeologica locale

L'acquisizione delle descrizioni stratigrafiche disponibili relative ai pozzi per acqua della zona ha consentito di riconoscere le caratteristiche stratigrafiche e granulometriche dei terreni presenti nei due fondovalle e in corrispondenza del terrazzo (l'Agro) di Casnigo:

- **il fondovalle del fiume Serio;**
- **il fondovalle del torrente Romna;**

- il terrazzo di Casnigo (l'Agro).

Fondovalle seriano

Per quanto riguarda il **fondovalle seriano**, procedendo dal confine nord verso sud, si può individuare, a valle del Ponte del Costone, ove in alveo al fiume affiora il substrato roccioso dolomitico, l'esistenza di un unico acquifero libero con superficie freatica posta a ridotta profondità (localmente a meno di 5 metri). Il materasso alluvionale sia in alveo che terrazzato, ai due lati della valle, è costituito da ghiaie e ciottoli con subordinata matrice sabbiosa a cui si intercalano talora livelli sabbiosi. Lo spessore dell'acquifero cresce gradualmente di spessore dai 10 - 15 metri in loc. Mele sino a raggiungere i 25 metri in corrispondenza del confine meridionale comunale (Comune di Fiorano al Serio). Sulla sponda sinistra della valle, lo spessore della coltre alluvionale rimane invece sempre confinato entro i 10 metri.

Spostandoci più a sud, il livello freatico, rimane compreso tra 5 e 10 metri dal p.c.. ed in stretta connessione con il fiume Serio.

Fondovalle torrente Romna

Per quanto riguarda il fondovalle del torrente Romna, nel tratto in corrispondenza e a monte della confluenza con il torrente Ré, lo spessore della coltre detritica risulta notevole, con alternanze ripetute di orizzonti permeabili e impermeabili nei primi 30 metri rispetto al fondovalle (pozzo Textela 420 m slm). Procedendo verso valle (ovest), l'alveo del torrente Romna risulta invece spesso completamente inciso in roccia (Calcere di Zorzino interessato da intensi piegamenti).

Terrazzo di Casnigo

Per quanto riguarda la successione idrogeologica presente a partire dal piano campagna in corrispondenza del terrazzo di Casnigo, procedendo dall'alto verso il basso, si possono riconoscere le seguenti unità:

- 1. Unità limosa superficiale.** Tale unità, costituita da più livelli, è presente a partire dalla superficie topografica ed è costituita da limi argillosi con clasti di ghiaia sparsi, il suo spessore varia tra 10 e 15 metri.
- 2. Unità conglomeratica.** E' costituita da bancate metriche di conglomerati poligenici ben cementati, a matrice arenacea e cemento carbonatico in assetto suborizzontale ma ricchi di

pag.33

vuoti eterodimensionali legati alla dissoluzione dei clasti carbonatici costituenti il deposito o alla mancata cementazione della matrice. Localmente sono presenti orizzonti arenacei meno cementati. Lo spessore di tale unità varia notevolmente dal settore nord occidentale dove raggiunge il massimo spessore in corrispondenza della via Ripa Piro (65 metri), si riduce a circa 30 metri in corrispondenza del settore meridionale (loc. Castello) ed a 10-20 metri in località via Carrai – Centro Sportivo Comunale. Le acque d'infiltrazione pervadono completamente tale unità e al raggiungimento della base, scorrono lungo il contatto netto con le sottostanti argille della Formazione di Leffe oppure alla sommità del substrato roccioso, sino a sfiorare in corrispondenza della base della scarpata morfologica che limita il terrazzo; qui si originano allineamenti sorgentizi situati prevalentemente in corrispondenza del bordo est ed ovest del terrazzo.

3. **Unità limoso-argillosa.** E' costituita da limi argillosi ed argille di origine continentale con orizzonti di torbe nerastre. L'ambiente deposizionale è lacustre-palustre ed il colore prevalente dei sedimenti è il grigio-verde, grigio-azzurro. Tale unità non è presente nel settore meridionale del terrazzo di Casnigo dove è sostituita dal substrato roccioso.
4. **Substrato roccioso.** E' costituito dai Calcari di Zorzino e/o dalle porfirite andesitiche.

8.2. Risorse idriche sfruttate ad uso idropotabile

All'interno del territorio comunale sono presenti numerose fonti d'acqua utilizzate a scopo idropotabile. La loro ubicazione è stata riportata sulla **Carta dei Vincoli (Tavola 1)**. La disponibilità idrica è tale per cui le acque derivate, vengono utilizzate da UNIAQUA per il fabbisogno idrico dei comuni posti più a valle.

Per quanto riguarda le sorgenti poste in prossimità del limite nord del comune, la loro denominazione è la seguente:

- **Gruppo della sorgente Bosco:** comprende la “Sorgente Foppone”, la “Sorgente Rocce”, la “Sorgente Sottoplatea” e la “Sorgente Bosco”;
- **Gruppo della sorgente Merlo:** comprende la “Sorgente Merlo Nord” e la “Sorgente Merlo Sud”;
- **Gruppo della Galleria Costone:** comprende le “Sorgenti del Costone” (numerate da 1 a 7 e captate per mezzo di un lungo cunicolo in roccia).

Tali sorgenti sono ubicate in sponda idrografica destra del fiume Serio ad esclusione delle sorgenti “**Foppone**”, “**Rocce**” e “**Sottoplatea**” ubicate in sponda sinistra e della **sorgente n.3** del Gruppo della “Galleria del Costone”, presente al di sotto la traversa di derivazione che alimenta il canale Do.Ma.De.

Nello "**Studio idrogeologico delle Sorgenti del Costone**" realizzato dalla GEOTER per conto di BAS nel maggio 2000, è stata effettuata una suddivisione delle sorgenti captate ad uso idropotabile della zona in relazione alla loro portata media e pertanto si hanno:

- **Portate <1 l/sec:** le sorgenti sostenute dalle intercalazioni calcareo marnose delle Argilliti di Riva di Solto nella zona di Foppa Barbata e di Bondo.
- **Portate 1÷10 l/sec:** le sorgenti Foppone, la sorgente Rocce, le sorgenti Merlo. Allo stesso gruppo appartengono le principali sorgenti captate associate all’acquifero del Calcere di Zu nella zona di Foppa Barbata-Bondo (sorgenti Laxolo e Botana).
- **Portate 10-20 l/sec:** la sorgente Sottoplatea (nel gruppo sorgenti del Costone);
- **Portate 50÷100 l/sec:** la sorgente Bosco.
- **Portate > 100 l/sec:** è il valore di portata complessivo della galleria drenante delle **Sorgenti del Gruppo del Costone**.

Oltre alle sorgenti citate sono presenti anche

- la **sorgente Botana**. Sorgente captata ad uso idropotabile in località Barbata di Casnigo. La portata è di 6-7 l/s;
- la **sorgente del Dragone**. Sorgente carsica con elevata variabilità della portata situata in località via Ripa Piro. UNIACQUE prevede il suo sfruttamento ad uso potabile. La portata media è di 40 l/s;
- la **sorgente in Valle Asinina** (Q=2,5 l/s). Sorgente captata in passato ad uso idropotabile dal Comune di Fiorano al Serio. La concessione è attualmente scaduta;
- la **sorgente Romniglia** (Q=0,5 l/s). Captazione con pratica in istruttoria, captata ad uso antincendio dalla COLIMM s.r.l. (area ex-cava).

Vi sono inoltre **3 pozzi captati ad uso idropotabile:**

- **pozzo del Costone 2 (Q=60 l/s), Costone 3 (Q=40 l/s) e Costone 4 (Q=30 l/s)**. Si tratta di 3 pozzi profondi, in roccia, le cui acque sono captate ad uso idropotabile.

8.3. Vulnerabilità intrinseca degli acquiferi captati

Il territorio comunale può essere suddiviso in 4 zone a diversa vulnerabilità idrogeologica:

- **aree con vulnerabilità molto elevata:** comprendono i settori con rocce carbonatiche molto fessurate (Dolomia Principale molto fratturata, la Formazione di Castro), con carsismo superficiale e sotterraneo molto sviluppato, caratterizzate da rapida infiltrazione delle acque nel sottosuolo. Vi sono comprese le aree coinvolte nelle DGPV. Altre aree a vulnerabilità molto elevata sono anche quelle dove i terreni superficiali hanno permeabilità elevata, come le alluvioni ghiaiose seriane ed i detriti di falda/versante sciolti.
- **aree a vulnerabilità alta:** sono caratterizzate da affioramenti di rocce carbonatiche stratificate o massive ma con presenza di discontinuità pervasive come la Dolomia Principale ed il Calcarea di Zu (faglie e fratture permeabili). Per quanto riguarda i depositi di copertura vi sono compresi i terreni con permeabilità da buona a media, come i detriti di versante inerbiti, i terreni alluvionali del torrente Romna ed i conglomerati cementati.
- **aree a vulnerabilità media:** sono le aree ove affiorano formazioni calcarea marnose o dolomitico-siltose sottilmente stratificate, con fratture poco persistenti.
Nelle aree che presentano vulnerabilità media affiorano il Calcarea di Zorzino e le Dolomie Zonate. I terreni le cui aree ricadono in questa classe comprendono coperture detritiche eluviali o colluviali sulle formazioni rocciose sopra citate.
- **aree a vulnerabilità bassa:** sono le aree in cui in cui affiorano la Formazione delle Argilliti di Riva di Solto, oppure le aree pianeggianti ricoperte da spesse coltri fini limoso argillose residuali, derivanti da alterazione in posto o da prolungati processi di dissoluzione carsica di rocce calcarea marnose o ancora depositi lacustro-palustri come quelli della formazione di Leffe.

8.4. Delimitazione delle aree di salvaguardia

Per quanto riguarda la delimitazione delle aree di salvaguardia, ai sensi dell'Art. 94 D.Lgs 152/2006, si riporta quanto tratto dallo studio per la richiesta di concessione precedentemente citato, distinguendo tra:

- **Zona di Tutela Assoluta (ZTA) di 10 o 30 metri.** La zona di tutela assoluta, nel caso delle scaturigini appartenenti al Gruppo delle sorgenti del Costone, considerata la loro importanza strategica e la loro particolare ubicazione in aree ad elevata vulnerabilità, **è stata ampliata a 30 metri.** Vista la loro vicinanza reciproca, si ha la sovrapposizione delle aree circolari che porta ovviamente alla coalescenza con il conseguente inviluppo delle aree soggette a tutela assoluta. Negli altri casi è stata mantenuta l'estensione di 10 metri di raggio attorno alla captazione.
- **Zona di Rispetto Ristretta di 200 metri (ZdRR).** Come previsto dalla normativa sono state tracciate le aree di rispetto, stabilite con criterio geometrico, con raggio di 200 metri attorno ai punti di emergenza idrica. Anche in questo caso si ha la sovrapposizione e la coalescenza delle singole zone di rispetto.
- **Zona di Rispetto Allargata di 350 metri (ZdRA).** Gli autori dello studio relativo alle sorgenti del Gruppo del Costone, vista l'elevata vulnerabilità intrinseca dell'acquifero in roccia, hanno stabilito di tracciare un'ulteriore zona di rispetto allargata, con raggio di 350 metri di distanza dalla scaturigine.

In merito alle misure di protezione e di salvaguardia da rispettare nella zona di rispetto allargata, non sono state individuate cautele o prescrizioni particolari ne nello studio idrogeologico, ne nello studio di valutazione ambientale e neppure nel disciplinare di concessione. Chiaramente, anche per la zona di rispetto allargata, stabilita anch'essa con criterio geometrico, si ritiene siano vietate/regolamentate le attività potenzialmente inquinanti (DGR VII-12693 del 10 aprile 2003 Disciplina delle aree di salvaguardia delle acque sotterranee destinate al consumo umano).

9. ANALISI DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

La metodologia proposta nell'Allegato 5 della delibera regionale DGR 2616/2011 consente di affrontare una prima valutazione degli effetti di sito e della amplificazione sismica locale.

La normativa regionale prevede l'effettuazione di tre livelli di studio a crescente grado di approfondimento, si passa rispettivamente dal **1° livello**, dove ci si limita all'individuazione delle

pag.37

aree potenzialmente sensibili dal punto di vista dello scuotimento sismico, al **2 e 3° livello**, dove viene effettuata una valutazione dell'effetto di amplificazione sismica nelle aree sensibili individuate nella prima fase d'indagine (risposta sismica locale) rispettivamente di tipo semi-quantitativo per il secondo livello e di tipo quantitativo per il terzo.

Nel caso del **Comune di Casnigo**, comune classificato in **zona sismica 3 (Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d) D.G.R. n. X/2129 del 11/07/2014**, la normativa regionale prevede in fase di pianificazione, l'effettuazione sia del primo che del secondo livello d'indagine.

Il **1° livello** d'indagine è stato effettuato in corrispondenza di tutto il territorio comunale con l'individuazione delle aree sensibili, potenzialmente soggette a fenomeni di amplificazione sismica oppure soggette a fenomeni indotti dall'evento sismico (**effetti cosismici**).

Tali aree sono state riportate sulla **tavola n.3** allegata allo studio che rappresenta un aggiornamento della **tavola n.1** Eurogeo redatta nel 2011 ed aggiornata nel 2017.

Il successivo **2° livello** di approfondimento è stato effettuato su **3 siti campione** oltre ai **4** già indagati precedentemente. I tre nuovi siti sono stati ubicati attorno al capoluogo ed i risultati ottenuti sono riportati di seguito.

Per effettuare l'analisi di **primo** livello si è partiti dalle informazioni fornite dallo studio geologico precedente (Eurogeo 2011 e 2017), opportunamente integrate con i dati bibliografici più recenti forniti dall'amministrazione comunale, oltre ai dati aggiornati relativi all'“Inventario delle frane e dei dissesti idrogeologici della Regione Lombardia” ed i controlli di terreno effettuati dal sottoscritto.

Le analisi di **secondo livello** si sono invece concentrate sulle **aree edificate o di prossima edificazione** del capoluogo identificate come aree stabili, ma soggette a possibili fenomeni di amplificazione litologica tali da indurre danni agli edifici.

Lo studio in questione rappresenta quindi una prima valutazione della **pericolosità sismica locale** che é uno dei tre fattori indispensabili per la valutazione del **rischio sismico**.

$$\text{Rischio} = \text{esposizione} * (\text{pericolosità} * \text{vulnerabilità})$$

9.1. Terremoto di riferimento (input sismico)

Per effettuare valutazioni relative agli effetti indotti da un sisma nell'area d'interesse, occorre ipotizzare il verificarsi di un evento sismico con caratteristiche tali da essere statisticamente rappresentativo di quanto si è verificato in passato nell'area e nell'immediato intorno; tale evento sismico potrà essere definito come **“terremoto di riferimento”**.

Fisicamente un evento sismico, viene rappresentato mediante grafici che prendono il nome di spettri di risposta o di accelerogrammi, essi rappresentano l'oscillazione del suolo in accelerazione/velocità e durata dell'evento sismico riferiti generalmente al substrato roccioso. In corrispondenza della parte centrale della Provincia di Bergamo sono stati localizzati gli eventi sismici riportati nella figura sottostante.

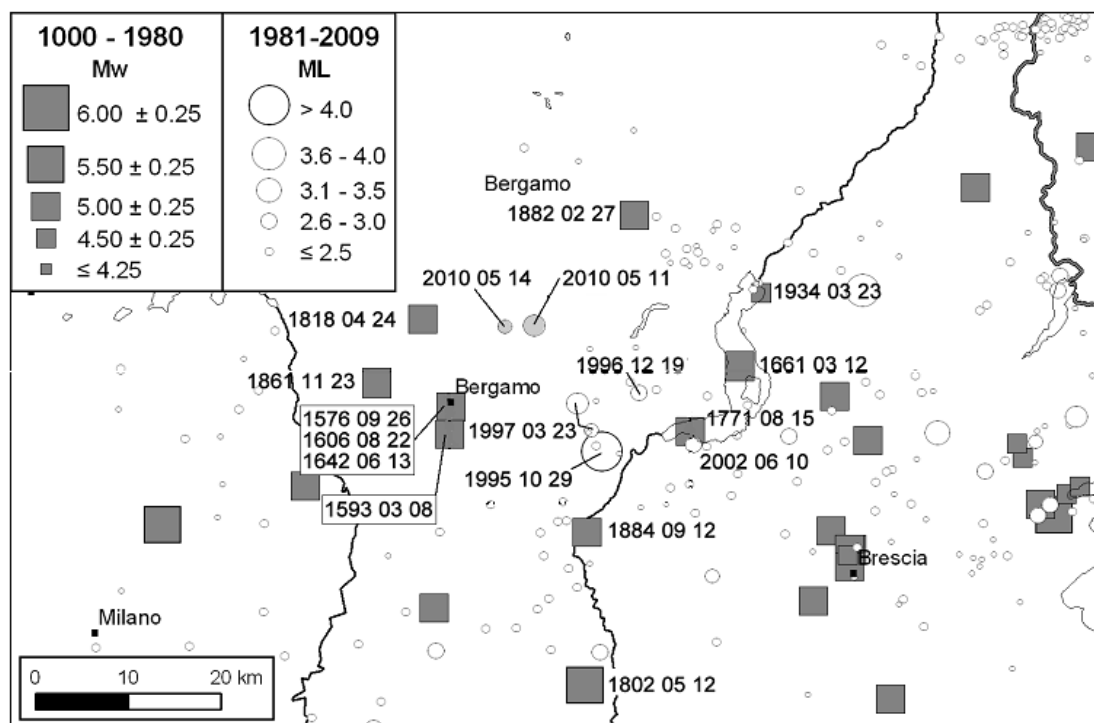


Figura n.8 - Sismicità tra gli anni 1000 e 1980 da CPTI04 (GRUPPO DI LAVORO CPTI, 2004) e tra gli anni 1981 e 2006 da CSI 1.1 (CASTELLO et alii, 2006, e Bollettino Strumentale INGV). (Mw= magnitudo momento, ML=magnitudo locale). Tratta dalla Carta Geologica CARG - Foglio 098-Bergamo a cura di A. Rovida.

L'individuazione del **terremoto di riferimento** per tutti i comuni della Lombardia è già stata effettuata dal Politecnico di Milano (p.c. della Regione Lombardia).

Sono stati individuati gli eventi relativi a sorgenti sismiche compatibili con le caratteristiche sismogenetiche del territorio lombardo (**ZS9**), che prevedono un **meccanismo prevalentemente compressivo, con profondità comprese tra 8-12 km** (Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003, Gruppo di Lavoro, 2004),
pag.39

Comune di Casnigo (Bergamo)

Aggiornamento Componente geologica idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio ai sensi della D.G.R. n. 9/2626 del 30/11/2011

caratterizzati da una magnitudo massima attesa di 5.5 gradi Richter e distanze epicentrali variabili tra 5 e 80 km (Spallarossa e Barani, 2007).

Il territorio regionale è stato suddiviso in fasce omogenee caratterizzate da diversa severità sismica. In particolare sono state individuate 8 fasce (il comune di Casnigo ricade in fascia 6) caratterizzate da diverso valore di accelerazione massima attesa al suolo (Gruppo di Lavoro, 2004) e da valori dell'ordinata spettrale massima (NTC 2008) compresi in un range del $\pm 10\%$ rispetto al valore medio del valore di accelerazione A_{g0rif} di riferimento.

Per la scelta della serie di accelerogrammi naturali (o registrati) relativi agli eventi sismici rappresentativi di ogni fascia, il Politecnico di Milano si è avvalso della banca dati accelerometrica degli eventi italiani "ITACA" (Luzi L., Sabetta F., 2006). Utilizzando gli accelerogrammi presenti in tale banca dati, sono state selezionate le registrazioni caratterizzate da picchi di accelerazione compatibili con le massime accelerazioni orizzontali attese relative ad ogni fascia, in modo da limitare al massimo l'operazione di scalatura degli accelerogrammi stessi. Per ogni fascia di severità sismica sono stati estratti pertanto 5 accelerogrammi naturali compatibili come previsto dalla normativa delle costruzioni.

Nella banca dati regionale sono disponibili rispettivamente:

- **5 accelerogrammi naturali** relativi ad eventi caratterizzati da un periodo di ritorno di 475 anni e riferiti alla Categoria di sottosuolo tipo A (bedrock o bedrock-like). Essi sono compatibili con il valore di accelerazione atteso nell'area di studio;
- **i valori di soglia (S)** relativi ad ogni comune lombardo valutati, rispetto allo spettro di norma, per i due intervalli di periodo fondamentale rappresentativi delle tipologie costruttive più diffuse nella regione (periodo fondamentale di oscillazione $0,1 \leq T \leq 0,5$ sec e $0,5 \leq T \leq 1,5$ sec, il primo riguarda gli edifici più bassi e regolari, mentre il secondo riguarda gli edifici oltre i 5 piani) e per ogni categoria di sottosuolo. Essi sono contenuti nel file **soglie_lomb.xls**. Tali valori di soglia devono essere confrontati con il valore del Fattore di Amplificazione (F.a.) determinato effettuando l'analisi di secondo o di terzo livello.

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5-1.5 s					
		Valori soglia			
COMUNE	Classificazione	Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Casnigo	3	1,7	2,4	4,2	3,1

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s					
		Valori soglia			
COMUNE	Classificazione	Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
Casnigo	3	1,4	1,9	2,2	2,0

Tabella n.5 Valori di Soglia (2008) forniti per il comune di Casnigo.

- i valori del modulo di taglio normalizzato (G/Go) e del rapporto di smorzamento (D) in funzione dell'entità della deformazione (γ) (vedi il file: curve_lomb.xls) per vari tipi di terreno campione.

La normativa tecnica nazionale indica come rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica, lo spettro di risposta elastico in accelerazione per uno smorzamento convenzionale del 5%. Esso fornisce la risposta massima in accelerazione del generico sistema dinamico elementare con periodo di oscillazione $T \leq 4$ sec ed è espresso come il prodotto di una forma spettrale per l'accelerazione massima del terreno.

La normativa nazionale (cfr. Norme Tecniche Costruzioni D.M. 14/01/2008; tabella n.1) fornisce inoltre i parametri di spettro di risposta elastico (riferiti al bedrock) relativi ad ogni località del territorio italiano. Di seguito si riportano i dati (per normali edifici residenziali) riferiti alle 3 aree oggetto d'indagine sismica.

LINEA 1 (VICINO AL MUNICIPIO)	lat		45,81 long		9,87	
	Tr (anni)	Ag [g]	Fo (-)	Tc* (s)		
Operatività (SLO)	30	0,031	2,445	0,198		
Danno (SLD)	50	0,039	2,5	0,215		
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,103	2,462	0,278		
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,134	2,476	0,287		

LINEA 2 (ZONA NORD OVEST ABITATO)	lat		45,82 long		9,87	
	Tr (anni)	Ag [g]	Fo (-)	Tc* (s)		
Operatività (SLO)	30	0,031	2,445	0,198		
Danno (SLD)	50	0,039	2,501	0,214		
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,102	2,464	0,278		
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,133	2,475	0,287		

LINEA 3 (ZONA NORD EST ABITATO)	lat		45,814875 long		9,8712	
	Tr (anni)	Ag [g]	Fo (-)	Tc* (s)		
Operatività (SLO)	30	0,031	2,445	0,198		
Danno (SLD)	50	0,039	2,500	0,215		
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,103	2,462	0,278		
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,134	2,476	0,287		

Tabella n.6 Parametri di spettro (NTC) di norma riferiti ai 3 punti d'indagine 2024. Con Tr= tempo di ritorno; a_g =accelerazione orizzontale massima in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido orizzontale; F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, ha valore minimo pari a 2,2; T_c^* = periodo d'inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale .

Un evento sismico può indurre effetti collaterali (**fenomeni cosismici**) quali: frane, crolli, liquefazioni e fenomeni di amplificazione sismica locale.

Si possono generare inoltre **fenomeni di amplificazione sismica (effetti di sito – definizione della risposta sismica locale)** dovuti all'interazione delle onde sismiche con la situazione morfologico-litologico-stratigrafica locale. Durante la propagazione della sollecitazione dinamica, il moto sismico (terremoto di riferimento – input sismico in corrispondenza del bedrock) che si propaga dal “bedrock” verso la superficie, si modifica, in termini di ampiezza, durata e contenuto in frequenza . Tali modificazioni inducono talora effetti di superficie tali da risultare inaspettatamente più elevati rispetto all'energia rilasciata alla sorgente (ipocentro). Tale fenomeno prende il nome di amplificazione sismica.

I fenomeni di amplificazione sismica interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese in condizione di “*far field*” .

E' possibile riconoscere **due tipologie** di amplificazione sismica, una legata alla conformazione topografica superficiale, l'altra alla sequenza litostratigrafia del sottosuolo:

- **fenomeni di amplificazione sismica locale legati alla topografia:** si verificano in terreni stabili quando sono presenti morfologie superficiali più o meno articolate e/o irregolarità topografiche in generale. Queste particolari condizioni geometriche favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche sulla superficie topografica a causa di fenomeni di riflessione in corrispondenza della superficie libera e dell'interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto; il tutto determina la conseguente amplificazione degli effetti. Tali condizioni si verificano in corrispondenza ad esempio di: creste, crinali o scarpate morfologiche;
- **fenomeni di amplificazione sismica locale legati alla litologia:** si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte particolari (bacini sedimentari, chiusure laterali, corpi lenticolari, eteropie ed interdigitazioni, gradini di faglia, etc..) oppure laddove sono presenti profili stratigrafici costituiti da litologie con forti contrasti d'impedenza ($\rho \cdot V_s$) o terreni di copertura che presentano marcate differenze di proprietà meccaniche rispetto a quelle del sottostante bedrock.
Si possono così generare fenomeni d'intrappolamento delle onde all'interno dei depositi con esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse in superficie (amplificazione);
- oltre a questi fenomeni si possono generare fenomeni di risonanza a causa della similitudine tra il periodo del moto sismico incidente e il periodo fondamentale di vibrazione del terreno e/o degli edifici soprastanti.

9.2. Analisi di primo livello

9.2.1. Metodologia analisi di primo livello

La verifica di 1° livello consiste nell'esaminare dal punto di vista geo-litologico, geomorfologico e geotecnico il territorio comunale, consultando la cartografia e la documentazione bibliografica disponibile. Lo scopo è quello di accertare l'esistenza o meno di scenari come quelli riassunti nella sottostante tabella, allegata alla normativa regionale, ed attribuire tali scenari di pericolosità sismica alle zone omogenee individuate sul territorio comunale, sia che si tratti di zone potenzialmente soggette a fenomeni d'instabilità o che si tratti di zone soggette a possibili fenomeni di amplificazione sismica locale.

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 particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z2c	Zona a potenziale presenza di cavità sotterranee (Sinkhole)	Sprofondamenti
Z3a	Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Tabella n.7 Scenari di pericolosità sismica locale tratto dalla normativa regionale integrata con la normativa sui sinkhole.

Per ogni scenario di pericolosità sismica locale così individuato la normativa regionale prevede la sua ubicazione e delimitazione sulla **Carta della Pericolosità Sismica Locale** (PSL, vedi **Tavola 3**

pag.43

estesa a tutto il territorio comunale), ed il confronto con la **Carta di Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano (Tavola 4)** contenuta nel presente studio.

La carta della pericolosità sismica locale rappresenta il punto di partenza attuale e futuro per le analisi di livello superiore.

Il riconoscimento degli scenari consente di definire per ogni area omogenea identificata, la necessità o meno dell'effettuazione del successivo livello d'indagine.

Secondo quanto previsto dalla normativa regionale, per in comuni ricadenti in zona sismica 3, le verifiche di **2° livello** risultano obbligatorie, in **fase pianificatoria** nelle zone a PSL Z3 e Z4, per tutti gli edifici.

In **fase progettuale** le verifiche di **3° livello**, oltre che per le zone PSL Z1, Z2 e Z5, risultano obbligatorie nelle zone Z3 e Z4 laddove le verifiche di 2° livello hanno accertato che il valore del fattore di amplificazione (Fa) calcolato, risulta superiore al valore di soglia fornito dalla regione Lombardia (**F.a.>S**) per la **Categoria di Sottosuolo** in questione.

9.2.2. Risultati analisi di primo livello

La carta di **Pericolosità Sismica Locale** (PSL) prodotta in scala 1:5000 (**tavola n.3**), individua e delimita le aree che possono essere sede di fenomeni d'instabilità sotto l'effetto dinamico di una scossa sismica o soggette ad effetti di amplificazione sismica per le quali si rende necessaria la verifica di secondo e/o di terzo livello.

Sulla tavola sono state riportate le ubicazioni delle indagini geofisiche effettuate sia da EUROGEO nel 2011 che dal sottoscritto nel 2024.

Si è quindi preso in considerazione tutta la documentazione bibliografica esistente tra cui:

- la cartografia di analisi prodotta nei 3 studi geologici comunali: il primo nel 1997-2003 e i due aggiornamenti successivi del 2011 e 2018;
- la cartografia dei dissesti PAI dell'A.d.B.Po;
- la cartografia del Censimento dei dissesti della Regione Lombardia;
- la cartografia allegata al P.T.C.P di Bergamo;

e, in accordo con i servizi tecnici comunali, si è proceduto alla verifica delle situazioni che riguardavano più direttamente l'abitato.

Pertanto complessivamente sono stati individuati i seguenti scenari soggetti potenzialmente a effetti cosismici, effetti di amplificazione topografica, effetti di amplificazione litologico-stratigrafica come indicato nella **tabella n.7**:

- **Zone Z1a:** corrispondono alle aree dove sono stati individuati accumuli di frana attivi. Si tratta di tutti i versanti acclivi ove sono localizzate:
 - frane già identificate negli studi precedenti
 - frane di scivolamento censite dall'Inventario Frane e Dissesti Idrogeologici di Regione Lombardia;
 - le aree potenzialmente interessabili dal distacco di blocchi e massi;
 - le aree interessate da franamenti che hanno coinvolto spesse coltri detritico colluviali;
- **Zone Z1b:** corrispondono alle aree dove sono presenti accumuli di frana di scivolamento/traslazione quiescenti (Inventario Frane e Dissesti Idrog. Regione Lombardia);
- **Zone Z1c:** corrispondono ad aree potenzialmente soggette ad instabilizzazioni a seguito di un evento sismico dove:
 - sono presenti litologie argillitiche su versanti acclivi;
 - aree dove sono stati osservati in passato fenomeni di scivolamento/soliflusso ormai inattivi da tempo;
 - affiorano terreni limo argillosi su versanti acclivi;
 - l'assetto giaciturale del substrato roccioso è sfavorevole (a franapoggio).
- **Zone Z2a:** corrispondono alle aree dove sono stati individuati estesi e spessi **riporti di varia/incerta natura** oppure **oggetto di intenso rimaneggiamento antropico** che possono essere suscettibili di cedimenti-assesamenti in seguito ad un evento sismico. Tra queste vi è l'area, oggetto di escavazione della lignite/torba, nel fondovalle in prossimità della confluenza tra il T. Romna e il torrente Re (zona IPERAL). Vi sono anche altre aree oggetto di escavazione lignite o di argille calcaree la cui esatta localizzazione risulta difficile.
- **Zone Z2b:** per quanto riguarda possibili fenomeni di liquefazione, gli esperti ipotizzano che, per edifici con fondazioni superficiali, il fenomeno possa interessare esclusivamente terreni **fini saturi, non o poco coesivi, sciolti, presenti fino ad una profondità massima di 15 metri** se sottoposti ad una sollecitazione dinamica superiore a $Ag \cdot S > 0,15$. Per tale fenomeno si riprende quanto riportato nelle Norme Tecniche delle Costruzioni D.M. 17/01/2018 al "Capitolo 7.11.3.4.2 *Esclusione della verifica a liquefazione*". La verifica a liquefazione può essere omessa qualora si verificata almeno una delle seguenti circostanze:
 1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) **minori di 0,1g**;
 2. profondità media stagionale della falda **superiore a 15 m** dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
 3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{cin} > 180$, dove: $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata con prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione

- efficace verticale di 100 kPa e q_{cin} è il valore della resistenza determinata con prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura 7.11.1.(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in figura 7.11.1.(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

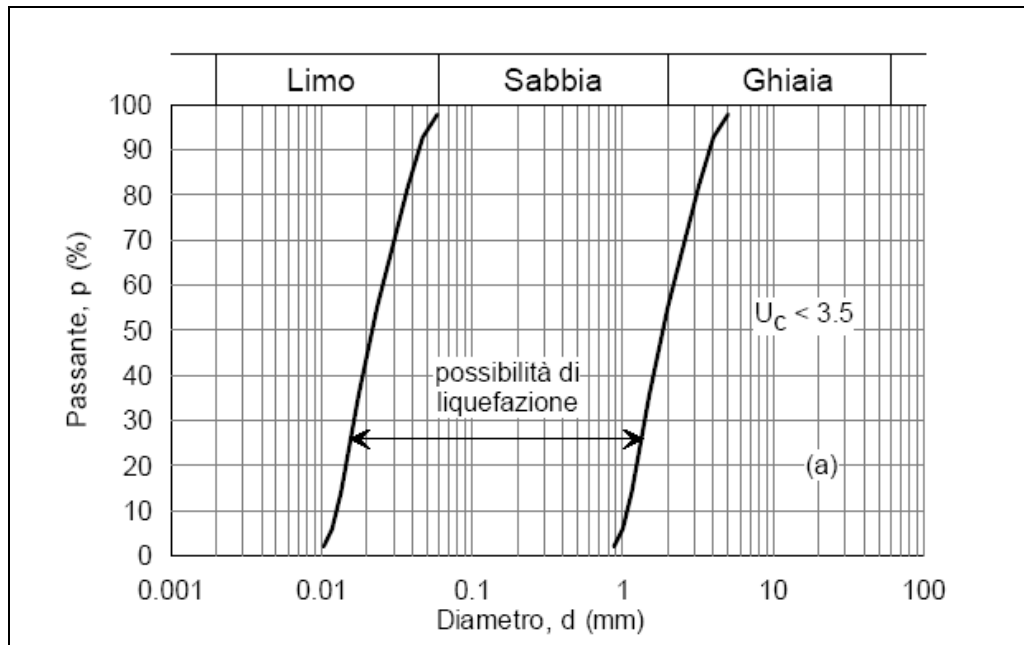


Figura n.9 - 7.11.1.(a)

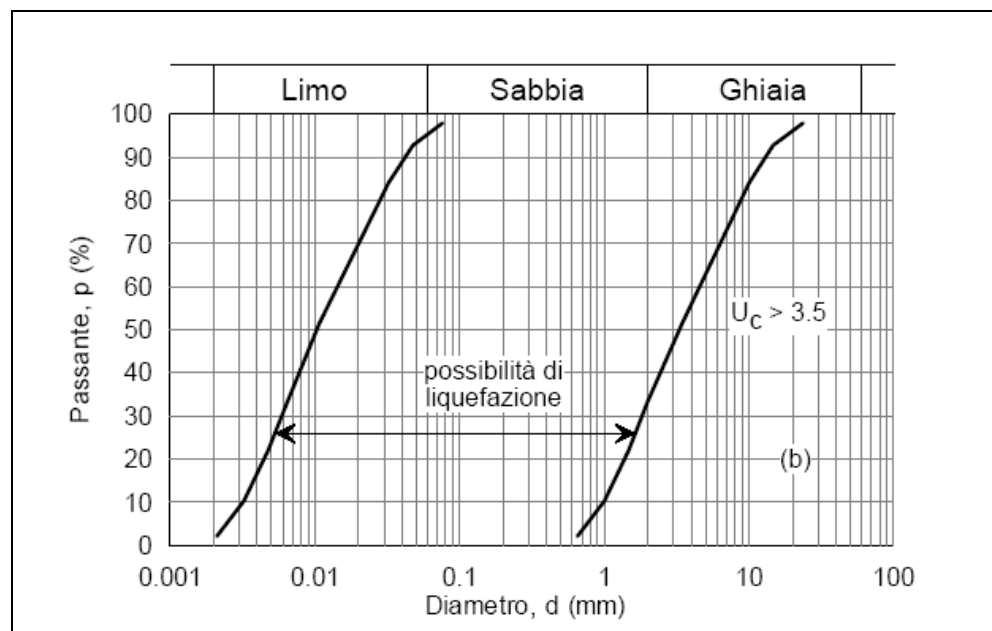


Figura n.10 - 7.11.1.(b)

Qualora la **condizione n.1** non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche/laboratorio devono essere finalizzate alla determinazione almeno dei parametri necessari per la verifica delle condizioni **n.2, 3 e 4**.

Nel caso che le condizioni 2 e 3 non siano verificate, occorrerà verificare la condizione n.4, quindi si devono ricercare le curve granulometriche relative ai diversi terreni presenti nell'area di verifica e confrontarli con i 2 fusi granulometrici riportati nelle figure precedenti. Solo se la curva granulometrica ricade all'interno del fuso, il fenomeno della liquefazione può verificarsi.

Quando ad esempio nessuna delle condizioni sopra esposte risulta soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sature in falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità alle quali sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto.

La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità d'interesse.

L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista.

Per quanto riguarda i terreni naturali presenti nel comune di Casnigo, non si è in possesso di informazioni sufficienti per poter escludere l'insorgenza del **fenomeno di liquefazione** indotto dalla sollecitazione sismica (sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie). Tuttavia per quanto noto in bibliografia, nelle aree morfologicamente adatte, sono presenti le seguenti tipologie di terreni:

- nelle aree di fondovalle, i depositi alluvionali appaiono generalmente grossolani, incoerenti a supporto granulare, dimensionalmente eterogenei anche se saturi a ridotta profondità. La presenza di sabbie grossolane è confinata ad intercalazioni lenticolari sabbiose poco estese sia lateralmente che verticalmente;
- in corrispondenza del terrazzo di Casnigo i depositi di alterazione che ricoprono i conglomerati alluvionali e presentano spessori decametrici, appaiono costituiti da limi argillosi con curve granulometriche che non **rimangono contenuti completamente all'interno dei fusi granulometrici di norma. E' fondamentale anche l'aspetto che nelle indagini effettuate sinora, in vari punti del terrazzo di Casnigo, viene sempre segnalata l'assenza di una falda idrica sotterranea.** Questo elemento contrasta apparentemente con le emergenze idriche presenti alla base dei conglomerati di Casnigo; ciò fa presupporre che l'alimentazione idrica che sostiene la circolazione idrica sotterranea a carattere permanente nei conglomerati non provenga, se non limitatamente, dall'infiltrazione superficiale locale.

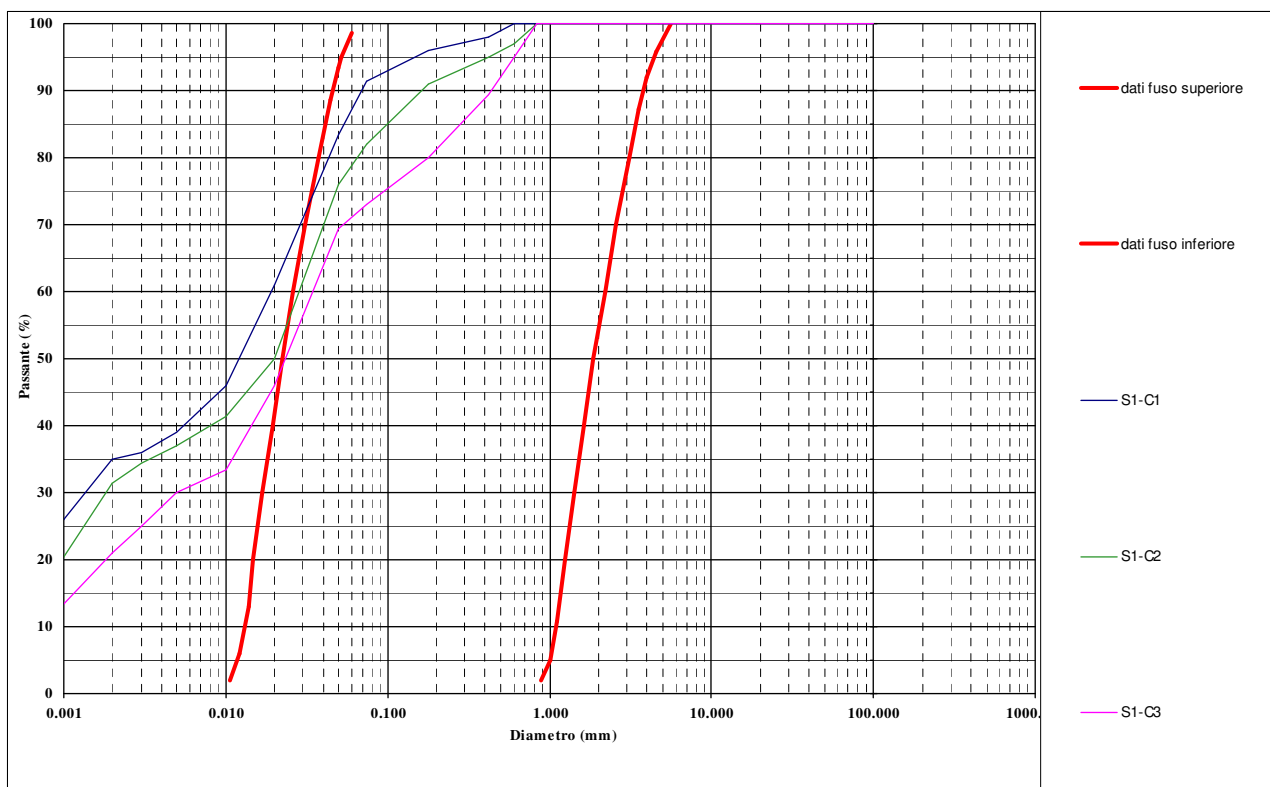
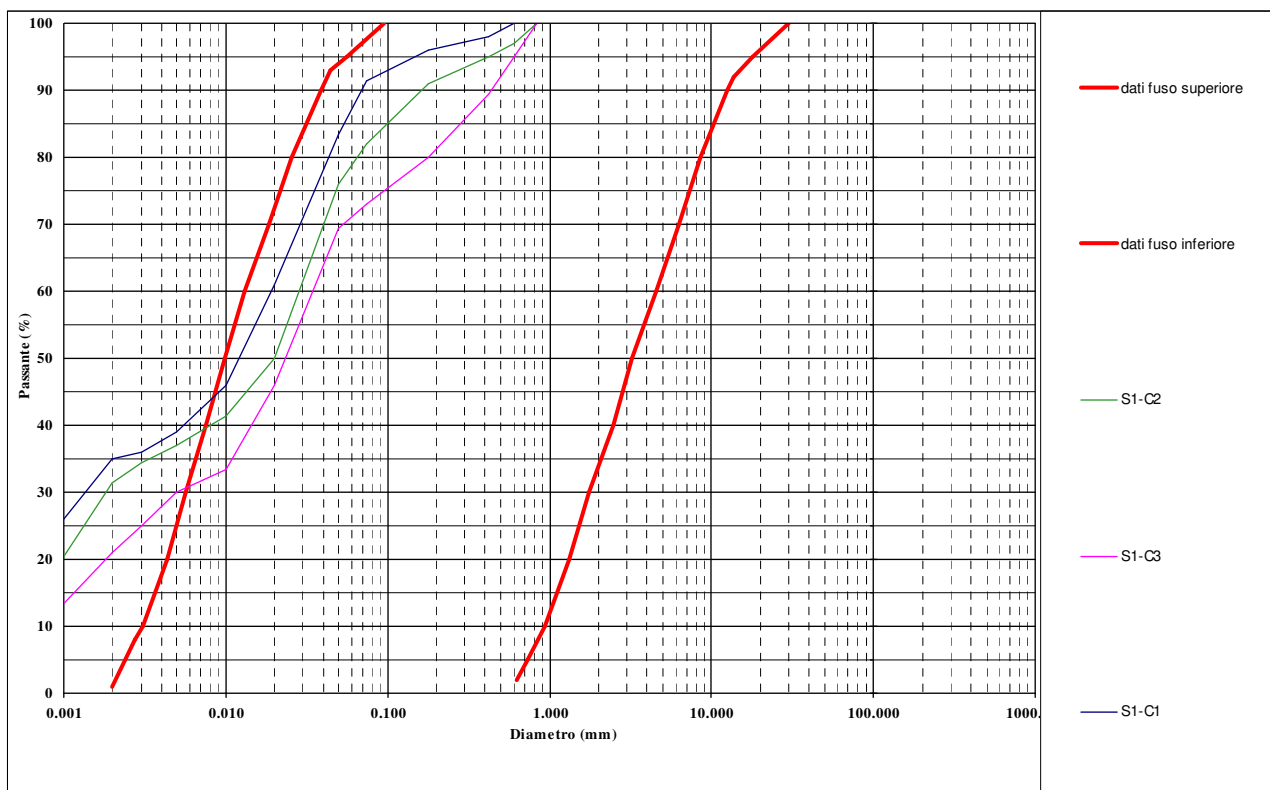


Figura n.11 e 12 - Granulometrie relative alle indagini effettuate per la scuola media sovrapposte al fuso granulometrico (linee rosse) rispettivamente con $U_c > 3,5$ e $U_c < 3,5$. Si tratta di limi con argilla sabbiosi o limi con sabbia argillosi.

- **Zone Z2c:** in relazione a quanto previsto dalla normativa sui SINKHOLE (DGR 7564 del 15-12-2022), in seguito all'inchiesta ed alla raccolta di informazioni/testimonianze in merito al verificarsi di sprofondamenti per cedimenti superficiali a causa della presenza di cavità sotterranee, è stato individuato un **unico evento** localizzato lungo un impluvio che sfocia sull'escarpata della ex-cava Pozzuoli, in località Fabbrichetta e segnalato già nel 2011 da EUROGEO. Lo sprofondamento ha generato un inghiottitoio ispezionato dagli speleologi che hanno definito le seguenti dimensioni: profondità 4,9 metri, larghezza 2,5 metri e lunghezza 5 metri; alla sua base, sul detrito lapideo (Calcere di Zorzino) scorre dell'acqua responsabile probabilmente dell'origine della sorgente situata a valle del piazzale di cava;
- **Zone Z3a:** sono stati individuati in carta gli elementi lineari quali: le nicchie di distacco; i cigli di scarpata delle zone di distacco massi; gli orli di scarpata di degradazione e le scarpate di origine antropica (cigli di scarpata di cava/ex-cava), con altezza uguale o superiore a 10 metri. Nel settore centrale la zona di ciglio principale è quella che limita il terrazzo di Casnigo. Tali discontinuità topografiche sono responsabili come indicato in **tabella n.7** di possibili amplificazioni simiche;
- **Zone Z3b:** sono stati individuati gli elementi lineari quali: le creste arrotondate o appuntite e i crinali rocciosi presenti nel territorio comunale. Le valutazioni di secondo livello in questo caso si sono limitate alle aree edificate. Tali discontinuità topografiche, come le precedenti, sono responsabili come indicato in **tabella n.7** di possibili amplificazioni sismiche;
- **Zone Z4a:** sono state individuate tutte le zone di fondovalle o di pianura soggette a possibili fenomeni di amplificazione di tipo litologico (cfr. **tabella n.7**) con presenza di depositi naturali di origine alluvionale. In particolare si tratta dei depositi attuali e terrazzati del fiume Serio, del torrente Romna e seppur limitati lateralmente del torrente Re';
- **Zone Z4b:** sono state individuate in carta tutte le zone acclivi sede di corpi detritici sul versante o le falde di detrito sviluppate alla base dei versanti di raccordo ai depositi alluvionali di fondovalle, i corpi detritici quali conoidi di origine mista detritico-alluvionali e i conoidi alluvionali;
- **Zone Z4d:** sono state individuate tutte le zone poco acclivi coincidenti con paleosuperfici interessate da carsismo (es: Romnei) e ricoperte da depositi fini residuali oltre alle superfici terrazzate presenti a nord dell'Agro di Casnigo inclinate verso SSW ed infine lo stesso terrazzo di Casnigo ove è presente una spessa coltre di loess e depositi fini coesivi di alterazione dei sottostanti conglomerati-alluvionali;
- **Zone Z5:** corrispondono alle aree dove è presente in superficie o ipotizzato a ridotta profondità, il **contatto laterale netto** tra il substrato roccioso poco alterato e depositi di copertura. In queste zone si ha il passaggio rapido tra litotipi che mostrano forti differenze dal punto di vista delle caratteristiche fisico-meccaniche e conseguentemente dove si hanno forti contrasti di impedenza sismica.
A questa zona appartengono anche le aree dove sono segnalati sulla Carta Geologica CARG o rilevati direttamente sul terreno, importanti lineamenti tettonici.
In corrispondenza sia di faglie, pieghe-faglie che di sovrascorrimenti è presente spesso una fascia di roccia tettonizzata che possiede caratteristiche fisico meccaniche decisamente più

scadenti rispetto a quelle della roccia intatta o poco fratturata circostante.

Tali elementi lineari sono da considerare quindi come fasce di ampiezza variabile la cui esatta collocazione va verificata puntualmente sul posto.

Nel caso specifico di Casnigo, rientrano inoltre in questa classe anche i settori ove affiora il substrato roccioso interessato da **deformazioni gravitative profonde di versante (DPGV)** in cui affiora un substrato completamente disarticolato, oppure sono individuabili in superficie le tracce delle superfici di scivolamento gravitativo profondo.

Per le aree a pericolosità sismica locale (PSL) di tipo Z3 e Z4 interferenti con l'urbanizzato e/o con aree di prevista espansione urbanistica, si è proceduto quindi, come indicato dalla normativa regionale (Allegato 5 della DGR 2616/2011), con le **analisi di secondo livello**.

9.3. Analisi di secondo livello

9.3.1. Metodologia analisi di secondo livello

La procedura messa a punto dalla Regione Lombardia che è stata utilizzata, fa riferimento ad una sismicità di base caratterizzata da un tempo di ritorno di 475 anni (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni).

I **fattori di amplificazione (Fa)** relativi agli effetti topografici-morfologici e litologico-stratigrafici, sono stati determinati, per il territorio **comunale di Casnigo**, attraverso l'impiego delle seguenti schede tipo opportunamente predisposte dal Politecnico di Milano (vedi allegato 5 della normativa regionale) per conto della Regione Lombardia e scelte come idonee per il territorio comunale:

- scheda effetti morfologici – Scarpate – Scenario Z3a;
- scheda effetti morfologici – Creste – Scenario Z3b;
- scheda effetti litologici – Scenario Z4a - Litologia Limoso-Sabbiosa Tipo 2;
- scheda effetti litologici – Scenario Z4a - Litologia Limoso-Argillosa Tipo 2.

Per i siti campione oggetto delle nuove indagini sismiche superficiali di tipo indiretto (MASW + Remi), essendo situati in aree pianeggianti, sono state utilizzate le schede effetti litologici.

Per individuare la “scheda effetti litologici” più adatta ai terreni presenti nel sito d'indagine, è necessario disporre di:

- delle caratteristiche granulometriche e le proprietà indice dei terreni presenti nel sottosuolo in esame. Tali caratteristiche devono essere confrontate con quelle indicate nelle schede disponibili;

- il profilo della velocità delle onde di taglio V_s (m/s) con la profondità z (m) determinato sperimentalmente. Quest'ultimo deve essere sovrapposto e confrontato con il grafico omonimo riportato sulla scheda scelta. Più precisamente occorre verificare che il profilo sperimentale cada nel **campo di validità** delimitato dalla curva di riferimento V_s/z riportata sulla scheda scelta, per valori di V_s inferiori a 600÷800 m/s;
- la scheda di valutazione più appropriata per la litologia esaminata. Tuttavia se l'andamento delle V_s con la profondità non ricade nel **campo di validità** della scheda in esame, dovrà essere scelta un'altra scheda che presenti un andamento delle V_s con la profondità, compatibile con quello sperimentale ricostruito nel sito d'indagine.

Per quanto è stato possibile verificare, i terreni indagati nella zona del terrazzo di Casnigo, ricadono dal punto di vista delle caratteristiche granulometriche all'interno del "fuso" della **tipologia Limoso-Argillosa** o di quella **Limoso - Sabbiosa**.

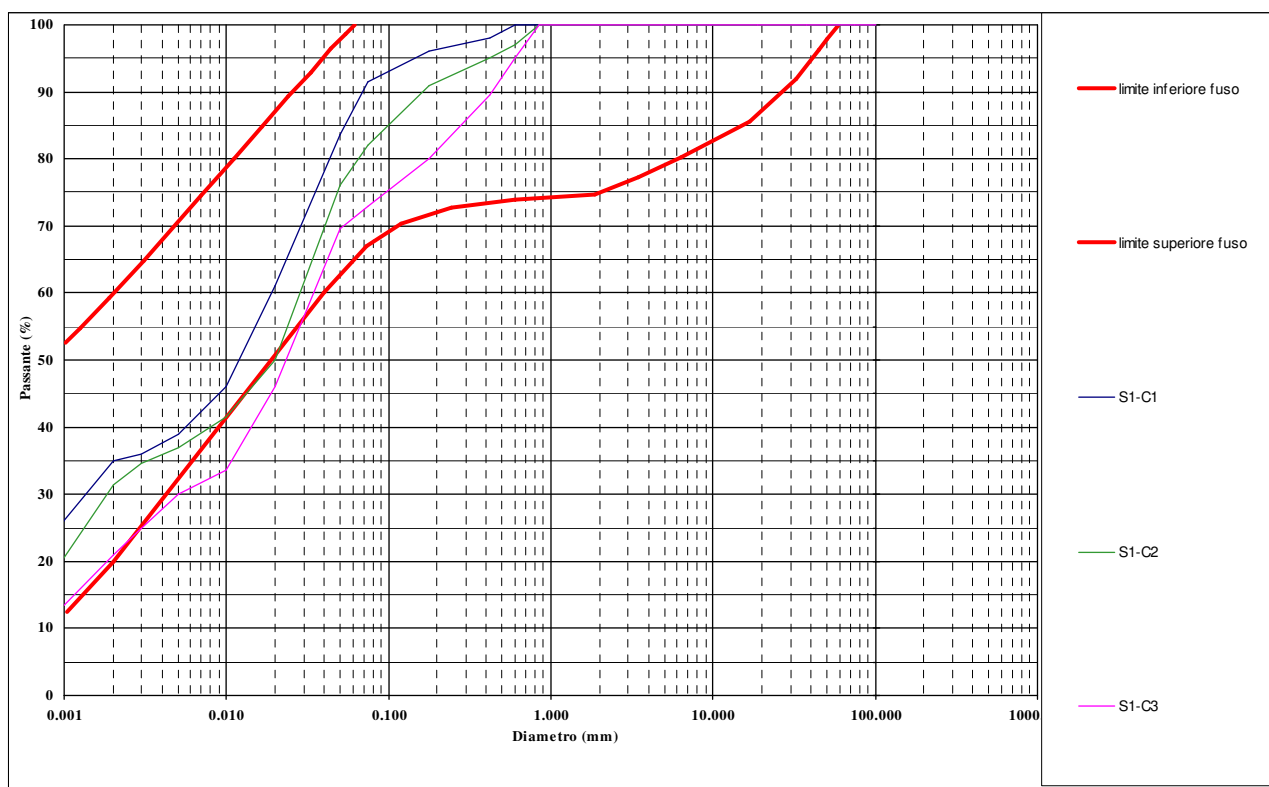


Figura n.13 Confronto tra curve granulometriche di bibliografia e il fuso granulometrico rappresentativo della scheda litologica: Limoso-Argillosa.

La verifica di secondo livello consente, attraverso l'utilizzo delle schede sopracitate, una valutazione semiquantitativa del valore di amplificazione sismica atteso in corrispondenza del sito sottoposto a verifica (Z3 e Z4).

Il valore del fattore di amplificazione (F.a.), determinato mediante l'uso delle schede citate e approssimato alla prima cifra decimale, viene confrontato in termini di contenuto energetico, con il

Valore di Soglia (S) fornito dalla Regione Lombardia (tabella n.2) e calcolato dal Politecnico di Milano per ogni comune lombardo.

Ciò consente di poter valutare, in prima istanza, il grado di protezione che viene ottenuto utilizzando i parametri di progetto forniti dalla normativa nazionale per la categoria di sottosuolo e la zona sismica in questione.

L'approssimazione cautelativa della valutazione (**F.a+0,1<S**) è legata al grado di incertezza insito nella procedura di tipo semplificato adottata.

Tale **valore di soglia (S)** rappresenta quindi il numero limite del fattore di amplificazione oltre il quale, lo spettro proposto dalla normativa nazionale risulta non sufficientemente cautelativo nei riguardi dell'amplificazione sismica realmente presente nel sito di studio. Nel caso dell'amplificazione litologica si possono presentare due situazioni:

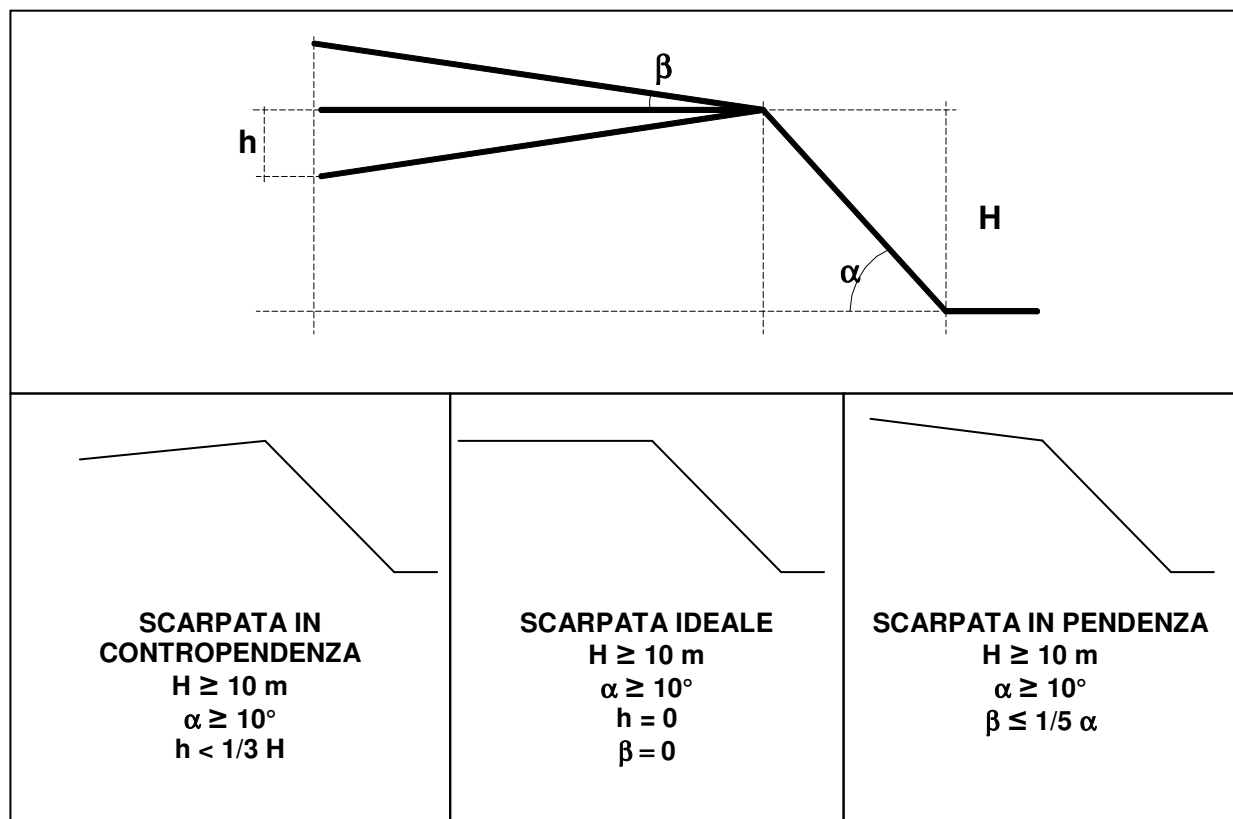
- laddove il valore di Fa determinato tramite la scheda scelta, risulta **inferiore** al valore di soglia corrispondente, lo spettro di normativa è da considerarsi sufficientemente cautelativo e tale da poter comprendere gli effetti di amplificazione sismica locale.
Si applicano quindi i parametri di spettro forniti dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni (D.M. 14/01/2008 e s.m.i.) per la categoria di sottosuolo accertata;
- laddove il valore di Fa determinato risulta **superiore** al valore di soglia corrispondente, lo spettro di normativa è da considerarsi insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale, quindi in fase di progettazione edilizia è necessario effettuare o le analisi più approfondite di 3° livello o, in alternativa, utilizzare i parametri di spettro della normativa nazionale caratteristici della categoria di sottosuolo più scadente.
Lo spettro di norma da utilizzare in questo caso deve essere individuato scegliendo, in base al valore del f.a. determinato, tra le diverse possibilità di seguito elencate:
 - anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C. Nel caso tuttavia in cui il valore di soglia fornito fosse ancora inferiore al valore fattore di amplificazione determinato, si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
 - nello stesso modo, anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
 - nello stesso modo, anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

L'analisi di secondo livello, consente di valutare in maniera semiquantitativa il valore del fattore di amplificazione sismica locale nei siti oggetto di valutazione degli "effetti morfologici" e nei siti campione oggetto di valutazione "effetti litologici", distinguendo tra i casi ove è avvenuto il supero del valore di soglia (**indicati in rosso**) e quelli ove non si è verificato il supero (**indicati in verde**). Sulla **tavola n.3** sono stati ubicati i profili topografici oggetto di valutazione dei possibili effetti di

amplificazione topografico-morfologica (**profili**) e la traccia delle indagini sismiche MASW+Remi effettuate in aree oggetto di valutazione dei possibili effetti di amplificazione litologica (**aree pianeggianti o poco inclinate**), rispettivamente per i due intervalli di periodo di vibrazione considerati ($0.1 < T < 0.5$ sec e $0.5 < T < 1.5$ sec). Si allegano di seguito le schede valutazione di Regione Lombardia.

Per intervalli di periodo diversi da quelli considerati, sono necessarie indagini più specifiche.

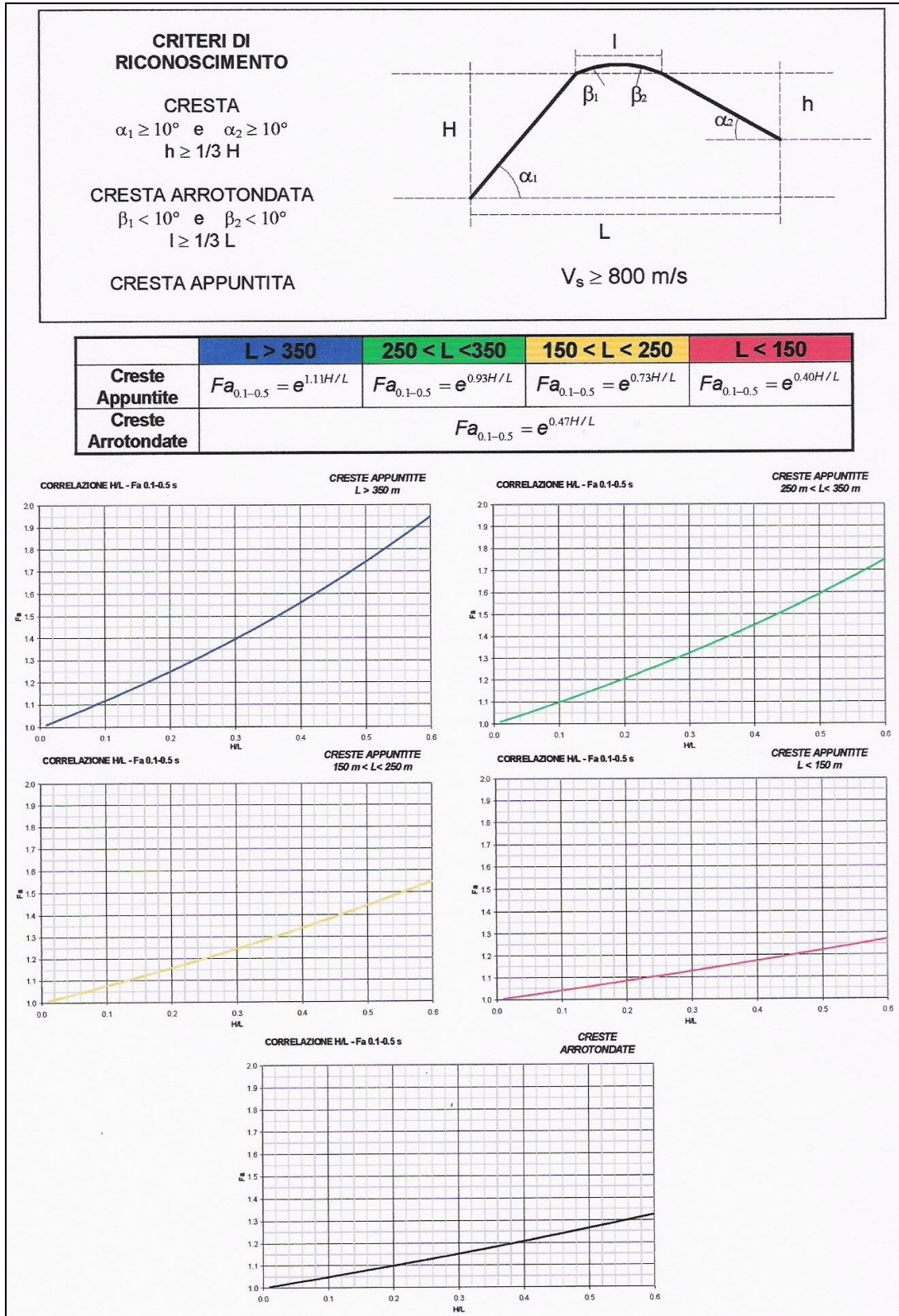
SCHEDE EFFETTI MORFOLOGICI – SCARPATE - SCENARIO Z3a



Schema identificativo valido solo per il periodo $T=0,1 \div 0,5$ sec

Classe altimetrica	Classe d' inclinazione	Valore di Fa	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	

SCHEDA EFFETTI MORFOLOGICI – CRESTE - SCENARIO Z3b



EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – SABBIOSA TIPO 2

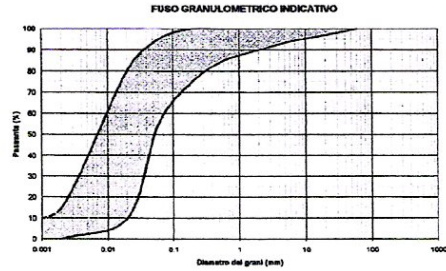
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

Da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbioso-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi e sabbie con limi debolmente argillosi

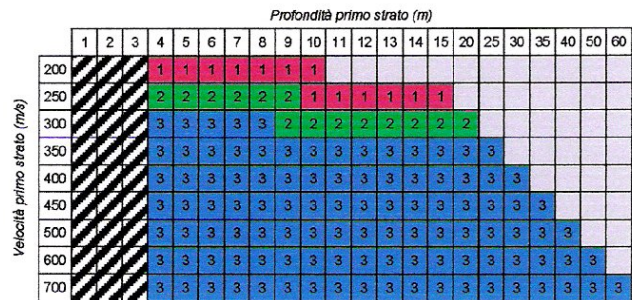
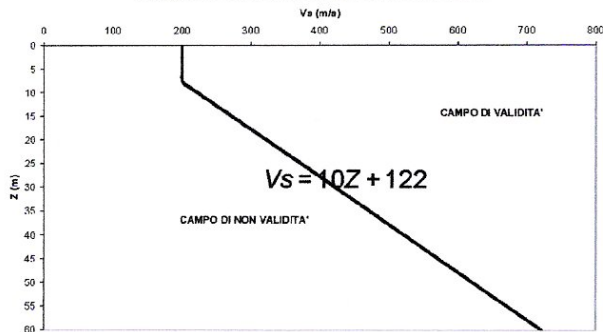
NOTE:

- Comportamento coesivo
- Frazione limosa ad un massimo del 95%
- Presenza di clasti immersi con $D_{max} < 2-3$ cm
- Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 10%
- Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 45%
- Frazione argillosa fino ad un massimo del 15%
- A FIANCO: range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per limi sabbiosi debolmente argillosi

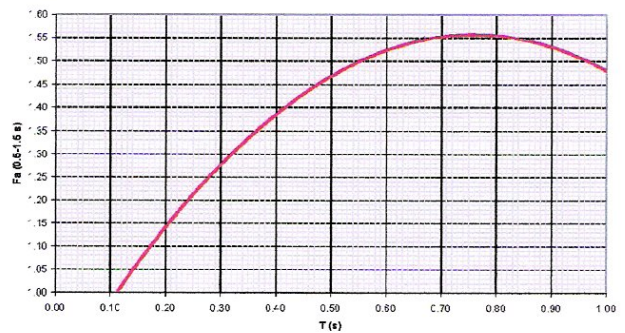


PARAMETRO	INTERVALLO
Peso di volume naturale	γ [kN/m ³] 18.5-19.5
Peso specifico particelle solide	γ_s [kN/m ³] 26.0-27.9
Contenuto d'acqua naturale	w [%] 25-30
Limite di liquidità	w_L [%] 25-35
Limite di plasticità	w_p [%] 15-20
Indice di plasticità	I_p [%] 5-15
Indice dei vuoti	e 0.6-0.9
Grado di saturazione	S_r [%] 90-100
Coefficiente di spinta a riposo	K_0 0.4-0.5
Indice di compressione	C_c 0.10-0.30
Indice di rigonfiamento	C_e 0.03-0.05
Coefficiente di consolidazione secondaria	C_s 0.002-0.006
Numero colpi prova SPT (nei primi 10 m)	N_{spt} 0-20

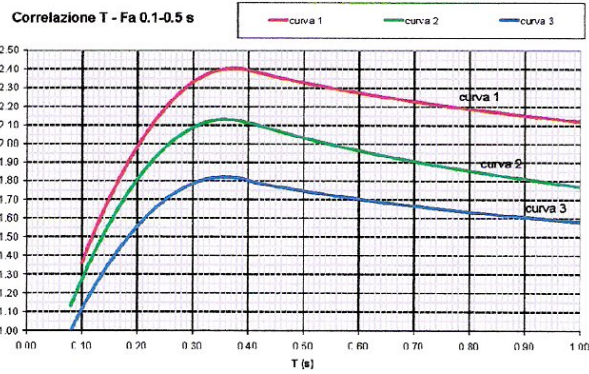
ANDAMENTO DEI VALORI DI V_s CON LA PROFONDITA'



Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s



$$Fa_{0.5-1.5} = -1.33T^2 + 2.02T + 0.79$$



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.10 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$

EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – ARGILLOSA TIPO 2

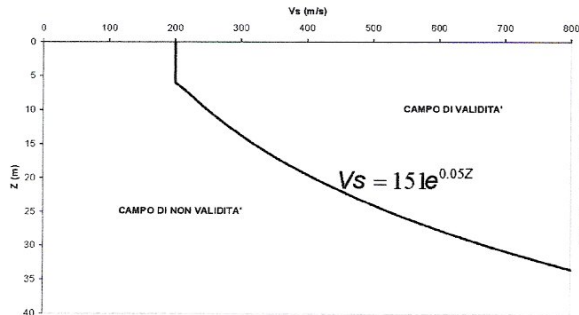
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA e NOTE: come per la litologia limoso - argillosa TIPO 1, a cui in aggiunta è possibile associare i seguenti range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per argille con limi ghiaiosi debolmente sabbiosi:

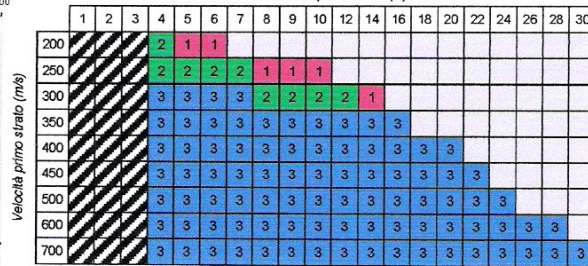
PARAMETRO		INTERVALLO
Peso di volume naturale	γ [kN/m ³]	19.5-20.0
Peso specifico particelle solide	γ_s [kN/m ³]	25.7-26.7
Contenuto d'acqua naturale	w [%]	20-25
Limite di liquidità	w _L [%]	30-50
Limite di plasticità	w _P [%]	15-20
Indice di plasticità	I _p [%]	15-30
Indice dei vuoti	e	0.5-0.7
Grado di saturazione	S _r [%]	90-100
Coefficiente di spinta a riposo	K ₀	0.5-0.6
Indice di compressione	C _c	0.15-0.30
Indice di rigonfiamento	C _s	0.02-0.06
Coefficiente di consolidazione secondaria	C _a	0.001-0.005
Grado di consolidazione	OCR	1-3
Numero colpi prova SPT (nei primi 10 m)	N _{spt}	15-30



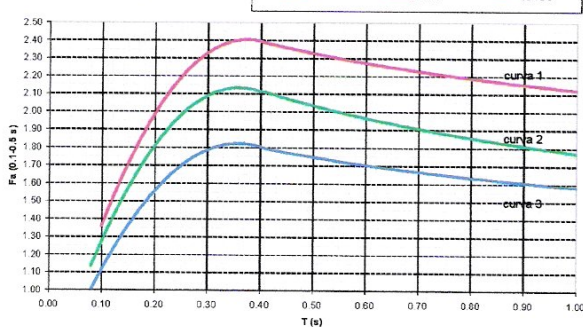
ANDAMENTO DEI VALORI DI V_s CON LA PROFONDITA'



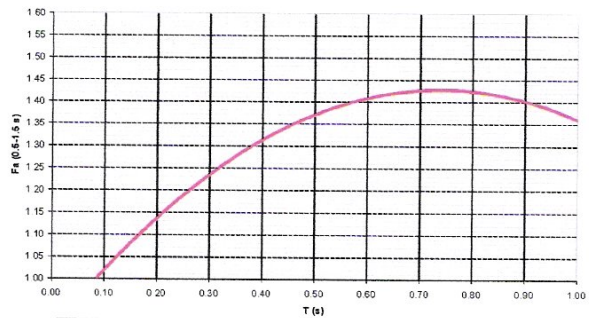
Profondità primo strato (m)



Correlazione T - Fa 0.1-0.5 s



Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s



$$Fa_{0.5-1.5} = -T^2 + 1.48T + 0.88$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	0.10 < T ≤ 0.40	0.40 < T ≤ 1.00
	$Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	0.08 < T ≤ 0.40	0.40 < T ≤ 1.00
	$Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38LnT$
3	0.05 < T ≤ 0.40	0.40 < T ≤ 1.00
	$Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$

9.3.2. Risultati analisi di secondo livello

Occorre premettere che gli approfondimenti di 2° e 3° livello **non devono essere effettuati** in quelle aree che, per situazione geologica, geomorfologica ed ambientale, o perché sottoposte a particolare vincolo normativo, risultino già **inedificabili (es: aree che ricadono in classe di fattibilità 4)**.

Per le aree a pericolosità sismica locale (PSL) **Z1, Z2 e Z5** non è prevista l'analisi di 2° livello ma si passa direttamente all'analisi di 3° livello da attuarsi in fase progettuale.

Per quanto riguarda le zone **Z3 e Z4** individuate in corrispondenza del comune di Casnigo, si è proceduto ad effettuare le analisi di secondo livello nei 3 siti campione.

9.3.2.1. Verifica di secondo livello - effetti morfologici

La metodologia indicata dalla normativa regionale, prevede che venga effettuata tra le altre, l'analisi delle **creste rocciose appuntite o arrotondate** con inclinazione dei pendii maggiore o uguale a 10° e quella delle **scarpate morfologiche in roccia**, con altezza superiore o uguale a 10 metri e con inclinazione del fronte principale maggiore o uguale a 10°. Il materiale costituente il rilievo topografico deve avere una $V_s \geq 800$ m/s.

Come detto precedentemente si è proceduto ad individuare in carta i tratti di cresta/crinale o quelli di scarpata che rispondono alle condizioni indicate nelle **Schede – Effetti Morfologici** situati prevalentemente in prossimità di centri edificati.

In alcuni casi, le **creste** individuate non risultano costituite da roccia affiorante (bedrock sismico con $V_s \geq 800$ m/s) ma la roccia è ricoperta da coltri di spessore irregolare eluvio-colluviali di spessore massimo di 4-5 metri.

Lo stesso discorso vale per le **scarpate** sottoposte a verifica, nella maggior parte di questi casi lo spessore dei terreni eluvio-colluviali che ricoprono il substrato roccioso, è da metrico a plurimetrico.

In questo caso per entrambe le situazioni, il fenomeno di amplificazione che si determina è legato all'interazione dei due effetti morfologico e litologico (effetto prevalente).

L'accelerazione massima è data dal prodotto $S_{ag} = a_g * (S_S * S_T)$

Per una determinazione di tipo puntuale, in fase di edificazione, dovranno essere effettuate, le opportune verifiche di maggior dettaglio .

pag.57

E' chiaro che per ovvi problemi di contenimento dei costi, non è stato possibile condurre analisi e verifiche di tipo litologico in ogni punto del territorio comunale, ma si è scelto dei siti campione aggiuntivi a quelli già indagati negli studi precedenti.

L'ubicazione dei profili sottoposti a verifica, è riportata sulla carta di **tavola n.3**. Per ognuna di esse, nella sottostante **tabella** è riportato il relativo valore di F.a. calcolato .

La valutazione del grado di protezione per ambedue gli scenari esaminati (**crinali e creste**) viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di **F.a.** (fattore di amplificazione) ottenuto dalle schede di valutazione con il valore di “**S_T**” delle Norme Tecniche delle Costruzioni (**Cap. 3.2.3.2.1. NTC 2018**). Tale valore S_T rappresenta il valore di soglia, oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S _T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Tabella n.8 Valori massimi del fattore amplificazione di tipo morfologico per ogni categoria topografica (S_T)

Per poter individuare la “**categoria morfologico-topografica**” è necessario rifarsi alla tabella sottostante.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella n.9 Scenari (T) di possibile amplificazione di tipo morfologico.

La procedura prevede pertanto di confrontare ogni valore determinato, con il valore di **S_T** di norma. Il valore di Fa determinato dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale ed assegnato al ciglio della scarpata oppure all'area corrispondente alla larghezza in cresta “**T**”.

La normativa regionale prevede tuttavia l'approssimazione di un +0,1 del valore di F.a. ottenuto per tener conto della variabilità del valore F.a. stimato utilizzando la procedura semplificata regionale. Il

valore di soglia fornito è indicato per edifici ordinari e per valori di periodo compresi tra 0,1 e 0,5 sec, per tutti gli altri casi occorre fare analisi più approfondite di 3° livello in fase di progettazione esecutiva.

Si possono presentare quindi, due situazioni:

- ⇒ il valore di Fa è inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa nazionale è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione morfologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;
- ⇒ il valore di Fa è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa nazionale non è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione morfologica e quindi è necessario effettuare un'analisi più approfondita (3° livello) in fase di programmazione edilizia.

Risultati verifiche lungo i profili topografici							
Schede Regione Lombardia					NTC 2018		
profilo	tipologia	F.a. calcolato	α_1	α_1	St di norma	risultato arrotondato all'intero (confronto F.a. regionale)	
C1	cresta appuntita	1.38	39	26	1.2	analisi 3° livello	
C2	cresta appuntita	1.37	32	31	1.4		
C3	cresta appuntita	1.28	27	28	1.2	analisi 3° livello	
C4	cresta appuntita	1.33	48	29	1.2	analisi 3° livello	
Sc1	scarpata	1.20		32	1.2		
Sc2	scarpata	1.20		27	1.2		
Sc3	scarpata	1.20		31	1.2		
Sc4	scarpata	1.20		31	1.2		
Sc5	scarpata	1.20		27	1.2		
Sc6	scarpata	1.20		37	1.2		
Sc7	scarpata	1.20		38	1.2		
Sc8	scarpata	1.20		36	1.2		
Sc9	scarpata	1.10		19	1.2		
Sc10	scarpata	1.20		25	1.2		
Sc11	scarpata	1.20		33	1.2		
Sc12	scarpata	1.20		34	1.2		
Sc13	scarpata	1.20		36	1.2		

Tabella n.10 Risultati verifiche morfologiche di secondo livello relativi a 4 profili di cresta e a 13 di scarpata.

Dai risultati ottenuti di tabella sopra, in merito alla valutazione del grado di protezione offerta dall'applicazione della normativa, esclusivamente per gli edifici tradizionali di altezza fino a 5 piani, si può constatare che, sono solo i profili di cresta (3 su 4) **che presentano un valore di F.A. superiore al valore di soglia "S_T".** In questi casi l'applicazione dei parametri sismici di norma non offre sufficiente grado di protezione nei confronti dei reali effetti di amplificazione morfologica locale. In queste zone **sarà necessario**, come indicato dalla normativa regionale, **effettuare**

approfondimenti mediante verifiche di 3° livello, in fase progettuale.

Tuttavia, se si incrementa di +0.1 il valore di F.a. come indicato nella normativa regionale, solo la scarpata Sc9 non supera il valore di soglia.

Per le **creste**, il valore del fattore di amplificazione (F.a.) ottenuto è da considerare costante per tutta la sommità "I", mentre si riduce linearmente a partire da quest'ultima sino a raggiungere il valore unitario (non c'è amplificazione) in corrispondenza del piede del rilievo.

Le **scarpate** esaminate, dal punto di vista geometrico, sono assimilabili tutte al caso di "**scarpata in pendenza**" con altezza (H) e inclinazione della scarpata (α) variabile. Nella maggior parte si tratta delle scarpate che isolano il terrazzo di Casnigo con $H \cong 80 \div 100$ metri e con inclinazioni comprese tra $20 < \alpha < 37^\circ$.

Per questi casi, l'area d'influenza dell'amplificazione sismica, si estende anche a monte della scarpata per un'ampiezza pari rispettivamente ai 2/3 dell'altezza "H" della scarpata ($A_i = 2/3H$).

Il valore di F.a. così determinato (val. massimo), viene assegnato al ciglio del fronte, mentre all'interno dell'area d'influenza (A_i), tale valore si riduce progressivamente in modo lineare con il crescere della distanza dal ciglio fino al raggiungimento del valore unitario al limite esterno dell'area d'influenza. La stessa riduzione si verifica scendendo dal ciglio della scarpata verso il suo piede dove risulta unitario.

9.3.2.2. Verifica di secondo livello - effetti litologici

Per poter procedere alla verifica di secondo livello, relativamente agli aspetti legati agli effetti litologici, in relazione a quanto indicato nella procedura regionale di tipo semplificato, si è proceduto:

- ad acquisire tutte le informazioni disponibili di carattere stratigrafico, quali stratigrafie di sondaggi e pozzi della zona;
- ad acquisire i risultati delle indagini geognostiche effettuate in zona;
- a recuperare le analisi di laboratorio effettuate su campioni di terreno prelevate in zona;
- ad effettuare **in siti campione**, indagini sismiche di tipo indiretto sia di tipo attivo (MASW) che di tipo passivo (Microtremori) ubicati in corrispondenza dell'area edificata o di possibile futura espansione urbanistica.

L'ubicazione dei siti campione, compatibilmente con la disponibilità di aree verdi e presenza di terreni naturali, è stata dettata dall'assenza di indagini sismiche effettuate in prima istanza nel 2011 e non integrate successivamente. Nell'ambito comunale si distinguono i seguenti settori:

- **settore settentrionale** prevalentemente roccioso. Il substrato roccioso risulta affiorare o subaffiorare in corrispondenza dei rilievi più acclivi ed elevati, mentre in corrispondenza della zona di Barbata, il versante appare ricoperto da coltri eluvio-colluviali prevalentemente limoso-argillose di spessore estremamente variabile ma localmente anche plurimetrico;
- **terrazzo di Casnigo.** Le informazioni bibliografiche disponibili consentono di poter affermare che in corrispondenza di questo pianoro, che appare terrazzato nella parte più settentrionale e pianeggiante per il resto, lo spessore medio dei depositi alteritici che ricoprono i conglomerati alluvionali supera la decina di metri (10÷15 metri). Si tratta prevalentemente di limi con argilla sabbiosi o limi con sabbia argillosi, che possono apparire da consistenti fino a molli, poco plastici. Compaiono talora sottili livelli intercalati di ghiaia minuta. Nel corso di alcune indagini penetrometriche, l'avanzamento si è verificato per il solo peso del maglio in corrispondenza di orizzonti molli;
- **aree a sud del capoluogo.** In quest'area sono presenti superfici antiche residuali dalla sommità pianeggiante o debolmente ondulate isolate al bordo da pendii rocciosi ben inclinati sui fondovalle attuali. In queste aree la copertura detritica fine (limo argillosa) raggiunge spesso spessore plurimetrico con un profilo sepolto del substrato ad un andamento irregolare.

In accordo con l'ufficio tecnico comunale, i 3 siti campione integrativi alle indagini già effettuate in passato, sono stati ubicati in corrispondenza del capoluogo. In ogni sito sono state effettuate indagini geofisiche sia di tipo attivo (MASW) che di tipo passivo Microtremor Refraction (Remi).

I dati sismici acquisiti hanno consentito in prima istanza di determinare la Categoria di Sottosuolo di appartenenza secondo le formule riportate dalla NTC 2018.

Per il calcolo della V_{Sequiv} o V_{S30} della "copertura s.l." che presenta un valore della velocità delle onde di taglio $V_s < 800$ m/s, si sono utilizzate le seguenti formule:

$$V_{Sequiv} = \frac{H}{\sum_{(i=1, N)} h_i / V_{Si}} \quad [1] \text{ con } H < 30 \text{ metri}$$

$$V_{S30} = \frac{H}{\sum_{(i=1, N)} h_i / V_{Si}} \quad [2] \text{ con } H = 30 \text{ metri}$$

dove:

h_i = spessore dei singoli N strati che costituiscono la copertura detritica;

V_{s_i} = velocità delle onde di taglio in corrispondenza dello strato i esimo;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Secondo quanto stabilito dalla normativa in materia di Costruzioni, la categoria di sottosuolo attribuita ai terreni oggetto di indagine é:

- **Sito 1 zona Municipio.** Categoria di sottosuolo B (velocità $V_{s_{equiv}}=401,7$ m/s);
- **Sito 2 zona estremità nord-ovest abitato.** Categoria di sottosuolo B (velocità $V_{s_{equiv}}=384,2$ m/s);
- **Sito 3 zona nord-est abitato,** Categoria di sottosuolo B (velocità $V_{s_{equiv}} =395,2$ m/s) ;

Per ogni sito poi è stato calcolato il valore del periodo fondamentale di risonanza del terreno (**To**) in funzione della velocità delle onde di taglio e dello spessore di ciascun strato di copertura detritica individuato **sino al contatto con il bedrock sismico inalterato con $V_s > 800$ m/s.**

Per il calcolo del periodo fondamentale di vibrazione del terreno sino alla velocità di 800 m/s delle onde di taglio, è stata utilizzata la seguente formula:

$$T_o = \frac{4 \cdot \sum_{(i=1, N)} h_i}{\sum_{(i=1, N)} (V_{s_i} \cdot h_i) / (\sum_{(i=1, N)} h_i)}$$

Punto di verifica	Periodo fondamentale (To)
Sito 1	0,211 sec
Sito 2	0,214 sec
Sito 3	0,215 sec

Tabella n. 11 Valori del periodo di vibrazione fondamentale (To) calcolato per i siti campione.

In relazione ai dati bibliografici resi disponibili tra cui: le caratteristiche stratigrafiche dei terreni nei siti di indagine, le loro caratteristiche granulometriche e le proprietà indice, l'andamento della velocità delle onde di taglio con la profondità, il valore del periodo di vibrazione fondamentale e dello spessore del primo strato significativo a partire dalla superficie, è stato possibile valutare mediante le "schede effetti litologici" il valore di F_a che caratterizza tali sequenze litostratigrafiche.

I valori di F.a. così ottenuti e riportati nella tabella sottostante, sono stati confrontati con il valore di soglia relativo alla categoria di sottosuolo B, desunto dal solo valore delle V_{S30} sino a 800 m/s.

Punto di verifica	0,1-0,5 sec		0,5-1,5 sec	
	Fa abaco	Soglia norma per Categoria di appartenenza	Fa abaco	Soglia norma per Categoria di appartenenza
Sito 1 (limoso-argillosa tipo 2)	1,85 +0,1	1,4	1,24 +0,1	1,7
Sito 2 (limoso-argillosa tipo 2)	2,05 +0,1	1,4	1,24 +0,1	1,7
Sito 3 (limoso-argillosa tipo 2)	1,87 +0,1	1,4	1,24 +0,1	1,7
Sito 1 (limoso-sabbiosa tipo 2)	1,85 +0,1	1,4	1,16 +0,1	1,7
Sito 2 (limoso-sabbiosa tipo 2)	1,86 +0,1	1,4	1,16 +0,1	1,7
Sito 3 (limoso-sabbiosa tipo 2)	1,87 +0,1	1,4	1,16 +0,1	1,7

Indagine EUROGEO 2011

Sito 1-Categoria B (E) $V_{S30}=580\div687$ m/s; Sito 2-Categoria B $V_{S30}=605$ m/s ; Sito 3-Categoria C $V_{S30}=321\div355$ m/s e il Sito 4 Categoria B (E) $V_{S30}=603-608$ m/s.

Punto di verifica EUROGEO	0,1-0,5 sec		0,5-1,5 sec	
	Fa abaco	Soglia norma per Categoria di appartenenza	Fa abaco	Soglia norma per Categoria di appartenenza
Sito 1 (loc. Barbata crinale)	2,1 +0,1	1,4	1,2 +0,1	1,7
Sito 2 (fondovalle seriano in loc. Sorgenti Galleria del Costone)	1,2 +0,1	1,4	1,0	1,7
Sito 3 (loc. Murì - via Trieste)	1,8÷2,1 +0,1	1,9	1,7 +0,1	2,4
Sito 4 (loc. Casc. Castello di Casnigo)	1,4 +0,1	1,4	1,1 +0,1	1,7

Tabella n. 12 Confronto tra i Valori di Soglia, riferiti ad un terreno di categoria di appartenenza (cfr. tabella n.5) e quelli ottenuti attraverso l'uso delle "schede effetti litologici". In **rosso** i superiori del valore di soglia, in **arancione** i valori al limite e in **verde** i valori congrui.

E' possibile così valutare l'effettivo grado di protezione offerto dall'applicazione dei parametri stabiliti dalla normativa nazionale riferendosi alla categoria di sottosuolo determinato sperimentalmente attraverso la verifica della condizione **F.a.<S** come indicato nel paragrafo precedente.

I risultati ottenuti dimostrano che in tutti e tre i siti d'indagine campione, i valori di F.a. stimati con la metodologia regionale risultano inferiori al valore di soglia per il solo **intervallo di periodi compreso tra 0,5 e 1,5 sec** di conseguenza le aree individuate ricadono in **classe di pericolosità sismica H₁**. Conseguentemente, per tale intervallo di periodi di vibrazione, è stata verificata l'adeguatezza del grado di protezione offerto dall'applicazione dello spettro di normativa relativo alla categoria di sottosuolo **determinata sperimentalmente** con le indagini in sito.

Viceversa, per l'**intervallo di periodi compreso tra 0,1 e 0,5 sec** di maggior interesse per la tipologia dell'edificato comunale invece, si verifica per tutti i 3 siti, il supero del valore di soglia di normativa (**S=1,4 per la categoria di sottosuolo B**). Per questo valore di intervallo di oscillazioni, l'adeguatezza del grado di protezione offerto dall'applicazione dello spettro di normativa per la categoria di sottosuolo **determinata sperimentalmente non risulta verificata**. Pertanto tali aree, per l'intervallo di periodi in questione, ricadono in **classe di pericolosità sismica H₂**.

In tali zone, nel caso dell'edificazione di edifici bassi e regolari, occorrerà quindi effettuare **analisi di 3° livello** oppure in alternativa adottare i parametri di spettro di normativa relativi alla categoria di sottosuolo il cui valore di soglia sia superiore al valore di F.a. stimato con la procedura semplificata regionale (la **Categoria D**).

Oltre alle aree ove si ha il supero del fattore di soglia regionale, occorre tenere in considerazione anche le zone classificate: Z1b e Z1c, Z2 e Z5 ove vige l'obbligo di effettuare direttamente analisi di 3° livello in fase di progettazione esecutiva.

Tali aree sono indicate nella Carta della Pericolosità Sismica Locale (tavola n.3).

10. CARTA DEI VINCOLI

Sulla Carta dei Vincoli (**Tavola n. 1**) sono riportate le aree soggette a limitazioni d'uso del territorio che derivano dalle normative in vigore relativamente agli aspetti di carattere geologico idrogeologico ed ambientale e più precisamente per il Comune di Casnigo risultano essere:

1. **Vincoli di polizia idraulica:** sul reticolo idrografico identificato ai sensi del R.D. n.523/1904 art.96 e delle delibere regionale a partire dalla DGR n.7/7868 del 25/01/2002 sino alla DGR n.3668 del 16/12/2024. Il reticolo idrico comunale è stato identificato dallo studio denominato "**Reticolo Idrografico Minore**" redatto ai sensi della D.G.R. n. 7/7868 del 25/01/2002 dallo Studio GEA s.n.c., per conto della Comunità Montana Valle Seriana, settembre 2004;
2. **Vincoli derivanti dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.),** con l'applicazione della DGR n.X/6738 del 19 giugno 2017.
3. **Proposta di perimetrazione delle aree potenzialmente allagabili** relative al reticolo idrico principale, in ambito di Reticolo Secondario Collinare Montano, con recepimento dei risultati dello **Studio idrogeologico e progettazione preliminare a scala di sottobacino idrografico dei torrenti Romna, Re, Rino e Togna**" a cura di Studio GEA s.n.c. per conto di Regione Lombardia, Comunità Montana Valle Seriana, UNIACQUE Servizio Idrico Integrato, ottobre 2017;
4. **Vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino ai sensi della ex-Legge 183/89,** art. 17, comma 5 e in particolare del **Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.),** adottato con Delibera del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po n.18/2001 del 26/04/2001 e recepita dalla Regione Lombardia nella D.G.R. 7/7365 dell'11/12/2001. Si tratta delle **Aree in dissesto idrogeologico** relative al Piano per l'Assetto Idrogeologico riportate sia sulla componente geologica precedente che sul Geoportale di Regione Lombardia e delle **Aree a rischio idrogeologico molto elevato** a seguito delle osservazioni presentate corredate da studi di dettaglio; ;
5. **Zone di salvaguardia delle captazioni a uso idropotabile** relative sia a sorgenti che a pozzi secondo quanto stabilito dall' Art. 94 del Decreto Legislativo n.152/2006;

6. **Le prescrizioni in materia di invarianza idrologica ed idraulica dell'Art.14 del Regolamento Regionale n.7 del 23 novembre 2017** e successivo aggiornamento (R.R. n.8 del 19/04/2019);
7. **Ambiti di esclusione dalla possibilità di recupero seminterrati esistenti** ai sensi dell'**Art.4 della L.R. n.7 del 10/03/2017** e s.m.i.;
8. **Ambito estrattivo individuato dal Piano Cave della Provincia di Bergamo** (L.R.14/98). All'interno del perimetro dell'ATEi7 valgono le norme previste dal piano cave provinciale (Polo ATEi7 - Settore III calcari e dolomie).

11. CARTA DI SINTESI

L'analisi delle problematiche di carattere "geologico s.l." individuate sul territorio comunale ha portato a riconoscere aree omogenee in cui sono presenti elementi di pericolo o di vulnerabilità con riferimento allo specifico fenomeno geologico che li genera.

Il territorio comunale è stato quindi suddiviso in una serie di poligoni caratterizzati dalla presenza di uno o più fenomeni di dissesto idrogeologico in atto o potenziali, o da vulnerabilità idraulica o idrogeologica.

Sulla cartografia di Sintesi sono state riportate (**Tavola n.2**), oltre al reticolo idrografico comunale, le aree in dissesto e le aree potenzialmente allagabili del PGRA, le seguenti informazioni:

- la delimitazione dei tratti di versante lungo la valle Seriana interessati da **Deformazioni Gravitative Profonde**. Nella parte sommitale essi presentano un substrato roccioso particolarmente disarticolato;
- le zone potenzialmente instabili per la presenza di terreni di copertura fine su versanti acclivi oppure le aree acclivi con affioramento dei litotipi appartenenti alla formazione delle Argilliti di Riva di Solto;
- la traccia in superficie dei lineamenti tettonici e di quelli gravitativi;

- l'area **potenz. allagabile** per insufficienza della rete fognaria comunale, (segnalazione UNIACQUE) lungo l'ex-impluvio della valle Bronesca/Brunesca colmato con "terreni" di riporto successivamente al 1975;
- i punti d'acqua relativi a: sorgenti e pozzi captati ad uso idropotabile; le sorgenti censite sul terreno a carattere permanente da rivalutare ambientalmente;
- le aree ove affiorano terreni fini di spessore elevato che presentano ridotta capacità portante come le aree di affioramento delle **Argille della Formazione di Leffe** che talora risultano sature, le **coltri alteritiche limoso argillose di spessore plurimetrico/decametrico che costituiscono la superficie del terrazzo di Casnigo**;
- le aree con presenza di terreni saturi fini con emergenze idriche diffuse;
- i terrazzi alluvionali più recenti del fiume Serio ove la superficie freatica è posta a ridotta profondità e conseguentemente caratterizzati da un'elevata vulnerabilità della risorsa idrica;
- le aree interessate da processi profondi di dissoluzione carsica con evidenza morfologica superficiale di depressioni imputabili a doline;
- le aree soggette ad **alterazioni di origine antropica** che hanno subito intensi rimaneggiamenti/rimodellamenti con riporti di terreno, le aree potenzialmente contaminate, l'area di cava ATEi7; le aree abbandonate oggetto in passato di attività di cava, la proiezione in superficie delle aree ove nel sottosuolo sono state realizzate gallerie per l'estrazione della lignite o delle marne lacustri utilizzate per la produzione dei cementi. Lo sviluppo sotterraneo di tali cavità è difficilmente ricostruibile dal momento che le informazioni sono molto frammentarie.

12. CARTA DI FATTIBILITA' GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO

La Carta di Fattibilità per le azioni di Piano (**Tavola n.4**) è stata redatta ai sensi della D.G.R. 9/2616 del 30 novembre 2011 e s.m.i. adottando le quattro classi di fattibilità:

- **Classe 1 (bianca) - Fattibilità senza particolari limitazioni;**
- **Classe 2 (verde-gialla) – Fattibilità con modeste limitazioni;**
- **Classe 3 (gialla-arancione) – Fattibilità con consistenti limitazioni;**

- **Classe 4 (rossa) – Fattibilità con gravi limitazioni.**

L'attribuzione della classe di fattibilità è stata fatta in maniera univoca per ogni singolo poligono individuato sulla Carta di Sintesi al quale è stata associata una particolare problematica.

Gli ambiti di pericolosità e di vulnerabilità che si possono riconoscere generalmente in un territorio comunale possono essere raggruppabili in quattro categorie principali:

- aree pericolose per instabilità dei versanti denominata problematica: “**St**”;
- aree vulnerabili dal punto di vista idraulico denominata problematica: “**Id**”;
- aree vulnerabili/vulnerate dal punto di vista idrogeologico denominata problematica: “**Idg**”;
- aree con terreni di scadenti caratteristiche geotecniche denominata problematica: “**Gt**”.

L'attribuzione della classe di fattibilità deriva da quanto riportato sulle tabelle allegate alla normativa regionale e più precisamente la **tabella n.1 “Classi d’ingresso”, tabella n.1bis “ Classe di fattibilità per le aree ricadenti all'interno delle fasce fluviali” e tabella n.2 “Correlazione tra classi di pericolosità, classi di fattibilità geologica per le azioni di piano e voci della legenda PAI”** riportate nella D.G.R. n.9/2616 del 30/11/2011) dove si vede la corrispondenza tra la tipologia di pericolosità individuata e la classe di fattibilità geologica ad essa associata.

A queste valutazioni si aggiungono le indicazioni fornite dall'**Allegato A - Sinkhole e cavità sotterranee** - Integrazione al testo dei Criteri e indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologia e sismica del piano di governo del territorio della **DGR 7564 del 15-12-2022 “Integrazione dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio relativa al tema degli sprofondamenti (Sinkhole) (Art.57 della L.R. 11 marzo 2005, n.12)”**.

In merito ad eventuali fenomeni di sprofondamento, si premette sin da subito che sul territorio di Casnigo non sono noti eventi di questa tipologia ad esclusione di un fenomeno molto circoscritto verificatosi nella vallecchia che confluisce nel piazzale dell'ex-cava Pozzuoli in loc. "Fabbrichetta" e riportato nella relazione tecnica della Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del territorio redatta da EUROGEO nel Marzo 2011. La cavità ispezionata è profonda 4,9 metri, larga 2,5 metri e lungo 5 metri. Alla sua base, sul detrito regolitico (Calcere di Zorzino) scorre dell'acqua che alimenta probabilmente la sorgente situata a valle del piazzale di cava.



Foto n.5 tratta dalla Relazione EUROGEO 2011 dell'"inghiottitoio". Vista dal fondo verso l'uscita



Foto n.6 tratta dalla Relazione EUROGEO dell'inghiottitoio. Vista del fondo con evidenza della circolazione idrica verso valle in corrispondenza del contatto tra copertura e orizzonte regolitico.

pag.69

Comune di Casnigo (Bergamo)

Aggiornamento Componente geologica idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio
ai sensi della D.G.R. n. 9/2626 del 30/11/2011

Relazione Tecnica

In relazione a quanto previsto dalla normativa, in assenza di manifestazioni superficiali di sprofondamento, ma in presenza nel sottosuolo di condizioni favorevoli (cause predisponenti e innescanti) alla loro formazione/evoluzione, così come riportate nell'Allegato B "Sinkhole e cavità sotterranee - Linee guida per l'individuazione delle aree, la valutazione della pericolosità e le indagini sito specifiche", l'indagine storica e bibliografica dovrà includere la ricerca di eventuali segni premonitori, quali evidenze di movimenti del suolo e di lesioni sugli edifici esistenti, con interviste ai tecnici comunali, ai gestori del servizio idrico integrato ed alla popolazione.

La normativa prevede che "Qualora non vengano realizzati studi di dettaglio in fase di redazione/aggiornamento della componente geologica dei PGT, all'interno delle aree a potenziale presenza/evoluzione di cavità sotterranee deve essere obbligatoriamente prevista nelle norme geologiche di piano, la realizzazione in fase attuativa, delle indagini riportate nell'**Allegato B "Sinkhole e cavità sotterranee – Linee guida per l'individuazione delle aree, la valutazione della pericolosità e le indagini sito specifiche" – Fase 3 "Indagini da svolgere nelle aree ad alta pericolosità per la presenza/evoluzione di cavità sotterranee o nelle aree ove non sono state svolte zonazioni di pericolosità"**. In relazione a quanto emergerà dallo studio di dettaglio locale, dovranno essere date prescrizioni per le tipologie costruttive più idonee e le eventuali opere di mitigazione del rischio da realizzarsi.

13. CARTA PAI - PGRA

Secondo quanto richiesto dalla normativa del Piano di Gestione del Rischio Alluvione è stata prodotta la carta PAI – PGRA sulla **base topografica più aggiornata resa disponibile dall'UTC (2011)** ed utilizzata per la redazione del nuovo strumento urbanistico.

Per la legenda si è fatto riferimento all'Allegato **5** della d.g.r. 6738 del 19/06/2017. Le "aree in dissesto" sono state riportate sulla **Tavola n.5** (scala 1:5000).

La carta PAI-PGRA è finalizzata all'aggiornamento dell'**Elaborato n.2** del Piano "Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici - Inventario dei centri abitati montani esposti a pericolo nonché dell'**Allegato 4.1** all'**Elaborato 2** "Perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico molto elevato" tramite la procedura di cui all'art.18 delle N.d.A. del PAI questo, una volta che il presente studio sia stato recepito negli strumenti urbanistici comunali (PGT) con le modalità previste dalla L.R. 12/2005.

Per il comune di Casnigo, a suo tempo per lo scenario del **R**eticolo **S**econdario **C**ollinare e **M**ontano, il Piano Gestione Rischio Alluvioni (P.G.R.A., D.G.R. X/6738 del 19 giugno 2017) ha recepito le aree potenzialmente allagabili con diverso grado di pericolosità (**P3/H**, **P2/M** e **P1/L**) tracciate con criterio geomorfologico.

Sulla cartografia PAI-PGRA prodotta in questo aggiornamento, sono stati riportati invece le perimetrazioni riportate nello “**Studio idrogeologico e progettazione preliminare a scala di sottobacino idrografico dei torrenti Romna, Re, Rino e Togna**” a cura di Studio GEA s.n.c. per conto di Regione Lombardia, Comunità Montana Valle Seriana e di UNIACQUE Servizio Idrico Integrato (ottobre 2017).

Sulla scorta di ciò viene proposto **l'aggiornamento della perimetrazione delle aree potenzialmente allagabili lungo il torrente Romna e T. Re.**

Secondo quanto indicato dal Capitolo 3.2.3 "Procedure di adeguamento degli strumenti urbanistici comunali" e dal Capitolo 3.2.4 "Modifiche alle aree" della **normativa del P.G.R.A.**, le nuove aree potenzialmente allagabili sono soggette **alle seguenti limitazioni e prescrizioni** (Capitolo 3.2.2 Normativa):

- le aree allagabili risultano assoggettate all'**Articolo 9 della normativa PAI, e più precisamente :**
 - o nelle aree interessate da **alluvioni frequenti (tempo di ritorno 10-50 anni), corrispondenti alle aree P3/H, vigono le limitazioni e le prescrizioni stabilite dall'art 9, comma 5** per le aree **Ee** (pericolosità molto elevata);
 - o nelle aree interessate da **alluvioni poco frequenti (tempo di ritorno 100-200 anni), corrispondenti alle aree P2/M, vigono le limitazioni e le prescrizioni stabilite dall'art 9, commi 5 e 6** per le aree **Eb** (pericolosità elevata);
 - o nelle aree interessate da **alluvioni rare (tempo di ritorno 200-500 anni), corrispondenti alle aree P1/L, valgono le limitazioni e prescrizioni stabilite dall'art 9, comma 6bis** per le aree **Em** (pericolosità moderata).

Oltre alle aree potenzialmente allagabili sono stati riportati o adeguati alla base topografica utilizzata, i limiti:

- o **delle aree a rischio idrogeologico molto elevato.** A seguito dei risultati della "**Proposta di ripermetrazione Area di frana attiva (Fa) e Zona 2 Aree a rischio idrogeologico molto**

elevato nell'area compresa tra via San Carlo e loc. Piscine - Studio di approfondimento geologico secondo le procedure di cui all'allegato 2 della DGR 30 novembre 2011 - n.IX/2616" redatta dal Dott. Geol. Enrico Mosconi (2012) viene proposta la ripermetrazione delle **aree a rischio idrogeologico molto elevato;**

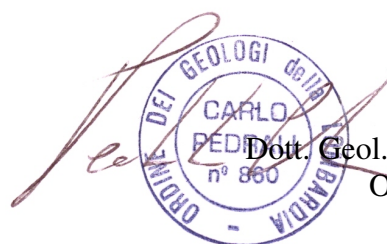
- delle diverse aree coinvolte in **frane attive (Fa)** oltre che i **cigli di scarpata** soggetti a fenomeni di **distacco massi** o i tratti di versante interessabili dalla **traiettoria/arresto massi (Fa)**;
- delle diverse aree soggette a **frane quiescenti (Fq)**;
- degli accumuli di **frana stabilizzati/inattivi (Fs)**;
- dei **conoidi attivi non compl. protetti (Cp)**. Si tratta di conoidi che possono riattivarsi in concomitanza di eventi eccezionali alluvionali e/o conseguenti a fenomeni di trasporto solido;
- dei **conoidi sospesi e inattivi (Cn)**. Si tratta di conoidi non recentemente riattivatesi ed ormai abbandonati dall'attuale reticolo idrografico;
- gli **alvei del reticolo idrico comunale potenzialmente coinvolgibili in fenomeni di trasposto solido (Fq)**.

Tali aree sono soggette alla normativa PAI e più precisamente all'**Articolo 9: commi 2 (Fa), comma 3 (Fq), commi 4 (Fs), commi 5 (Ee), commi 6 (Eb), commi 6bis (Em), , comma 8 (Cp) e comma 9 (Cn)**.

Le aree in dissesto riconosciute sono state riportate anche sulla carta dei Vincoli e sulla Carta di Sintesi.

Lo studio geologico attuale contiene il quadro del dissesto aggiornato derivante oltre che da nuovi studi anche da valutazioni di maggior dettaglio rispetto ai dati contenuti nel primo livello di approfondimento del P.T.C.P. e della precedente componente geologica del 2018, e sarà perciò strumento di riferimento una volta raggiunta la compatibilità ai sensi dell'Art.18 delle N.d.A. del P.A.I..

Bergamo, dicembre 2024

 Dott. Geol. Pedrali Carlo
O.G.L. 860

pag.72

Comune di Casnigo (Bergamo)

Aggiornamento Componente geologica idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio
ai sensi della D.G.R. n. 9/2626 del 30/11/2011

Relazione Tecnica

ALLEGATO 1
Indagini geofisiche

1. Cenni introduttivi

In accordo con l'Ufficio Tecnico comunale sono stati individuati in corrispondenza del territorio comunale **tre siti** ove effettuare indagini geofisiche di tipo indiretto. Lo scopo delle indagini era quello di poter effettuare verifiche di secondo livello secondo quanto previsto dalla normativa regionale. La normativa richiede la conoscenza dell'andamento del valore della velocità delle onde di taglio nel sottosuolo (V_s) sino al raggiungimento, per quanto possibile, del bedrock sismico (terreni/rocce con $V_s \geq 800$ m/s).

L'ubicazione dei siti d'indagine è stata condizionata dall'attuale sviluppo dell'edificato e la scelta è caduta su aree di prossima possibile espansione urbanistica. I siti d'indagine sono stati localizzati e identificati sulla carta di **tavola della Pericolosità Sismica Locale n.1**.

Per ognuna delle aree investigate sono state effettuate indagini indirette sia di tipo passivo (metodo dei Microtremori) che di tipo attivo (metodo MASW- Multi Channel Analysis Surface Waves).

I due metodi si basano sulla registrazione e l'analisi della propagazione delle onde di superficie (onde di Rayleigh) e l'analisi del fenomeno della dispersione delle stesse nei primi strati di terreno.

Il metodo dei Microtremori sfrutta il rumore "naturale" di fondo registrabile da una catena di geofoni, viceversa, il metodo MASW registra le vibrazioni indotte artificialmente da una sorgente "attiva" rappresentata da una massa battente o da un cannoncino in corrispondenza delle estremità della catena di geofoni verticali.

I due metodi, grazie all'impiego di un software dedicato, vengono utilizzati congiuntamente incrementando così l'affidabilità del modello interpretativo finale del sottosuolo.

Le registrazioni in campo consentono di calcolare l'andamento delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza ($V(\text{fase})/\text{frequenza}$) e quindi della profondità (spessore); successivamente, attraverso diverse fasi di elaborazione, si ricava l'andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità a partire dalla superficie.

Il modello d'interpretazione si basa sul presupposto teorico ideale della presenza nel sottosuolo di strati orizzontali continui e sovrapposti di spessore costante.

Il risultato al quale si giunge è rappresentato dal profilo verticale dell'andamento medio del valore della velocità delle onde di taglio in funzione della profondità; il profilo è localizzabile all'incirca nella zona centrale della linea sismica.

Il modello teorico che si può ottenere non è univoco, è quindi necessario confrontarlo e tararlo con le conoscenze geologiche del sito (ad esempio: sondaggi meccanici o prove penetrometriche, stratigrafie di pozzi, indagini a rifrazione) onde poter passare all'identificazione di un modello reale definitivo.

2. Modalità esecutive indagini e risultati

La registrazione delle onde di superficie avviene con l'impiego di una classica strumentazione per l'effettuazione di indagini sismiche a rifrazione; viene utilizzato preferibilmente un sismografo ad elevata dinamica, con geofoni a bassa frequenza (4,5 Hz).

Nella fattispecie per le misure è stato utilizzato un sismografo GEODE a 24 bits e 24 canali.

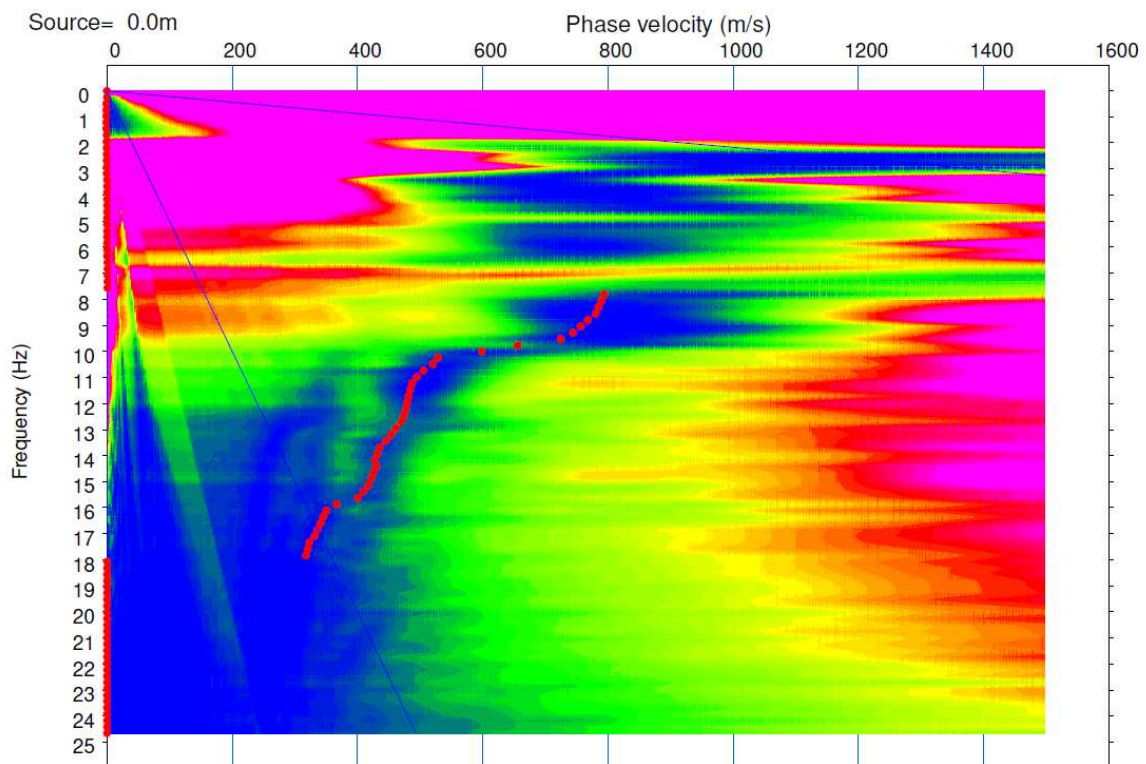
Per quanto concerne la configurazione geometrica delle linee sismiche, sono state realizzate catene geofoniche lineari utilizzando 24 geofoni in linea con interdistanza di 4 o 5 metri.

Per quanto riguarda il metodo dei Microtremori, per ogni stendimento, sono state effettuate almeno 20 registrazioni, mentre per il metodo MASW sono state effettuate 2-4 registrazioni per ognuno dei punti di scoppio situati esternamente ai due estremi della linea.

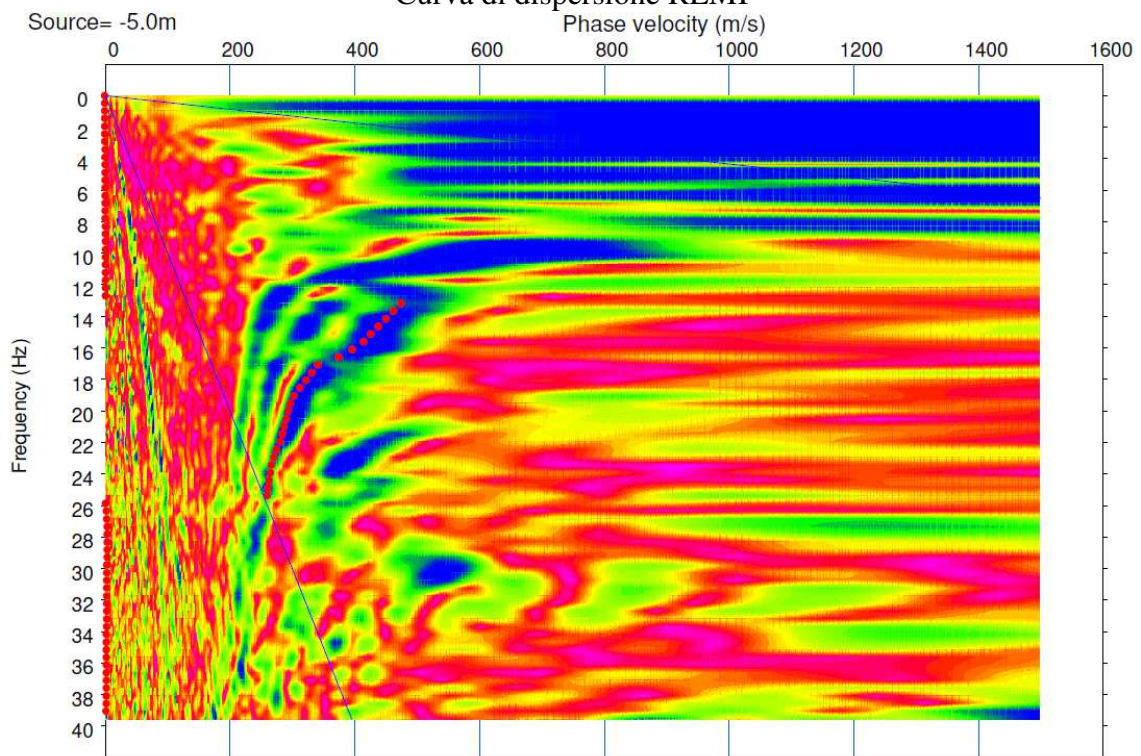
I dati acquisiti in campagna sono stati quindi elaborati con un software dedicato che ha reso possibile la ricostruzione, per ogni sito, di un profilo di Vs/profondità sufficientemente attendibile.

Di seguito vengono illustrati i risultati sperimentali relativi ai [3 siti d'indagine](#) che hanno consentito di condurre le verifiche di 2° livello descritte in relazione.

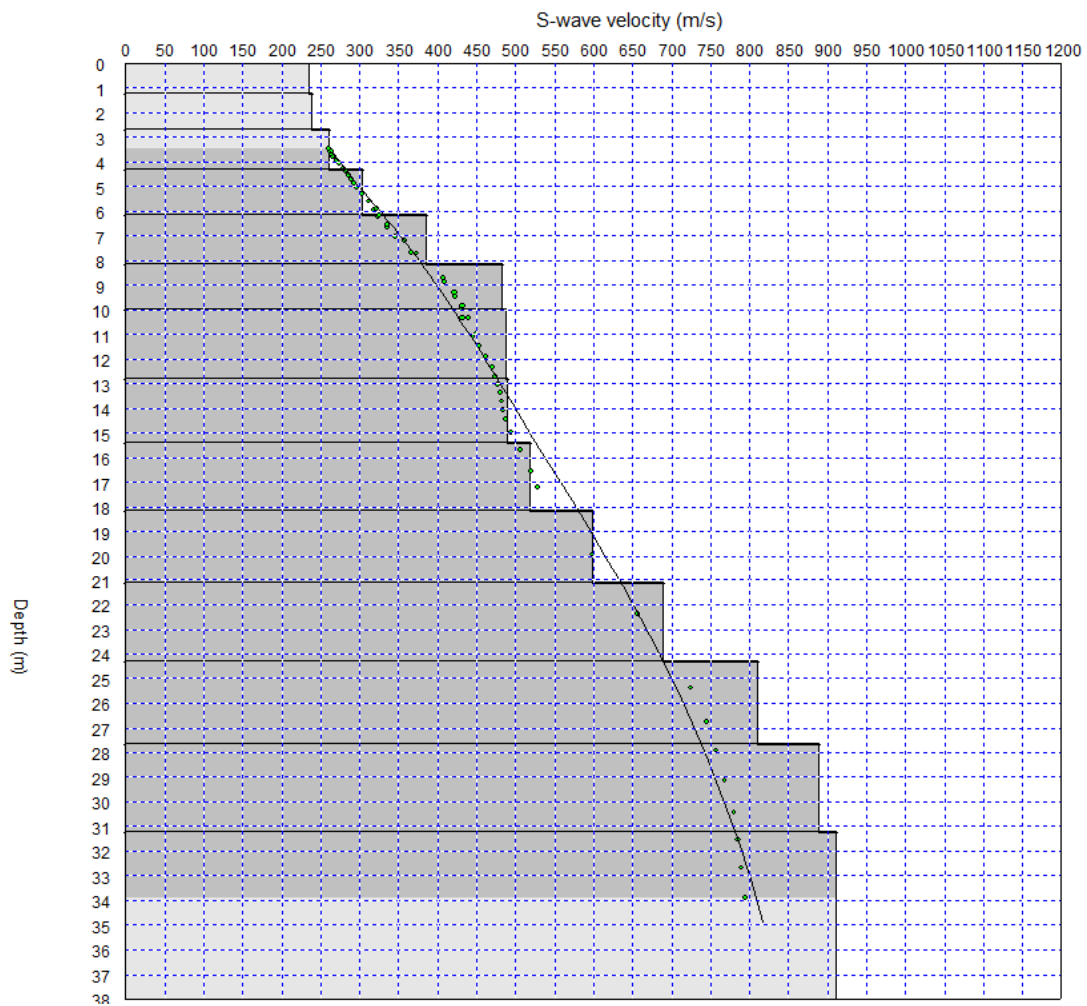
SITO 1 (vicino al Municipio)



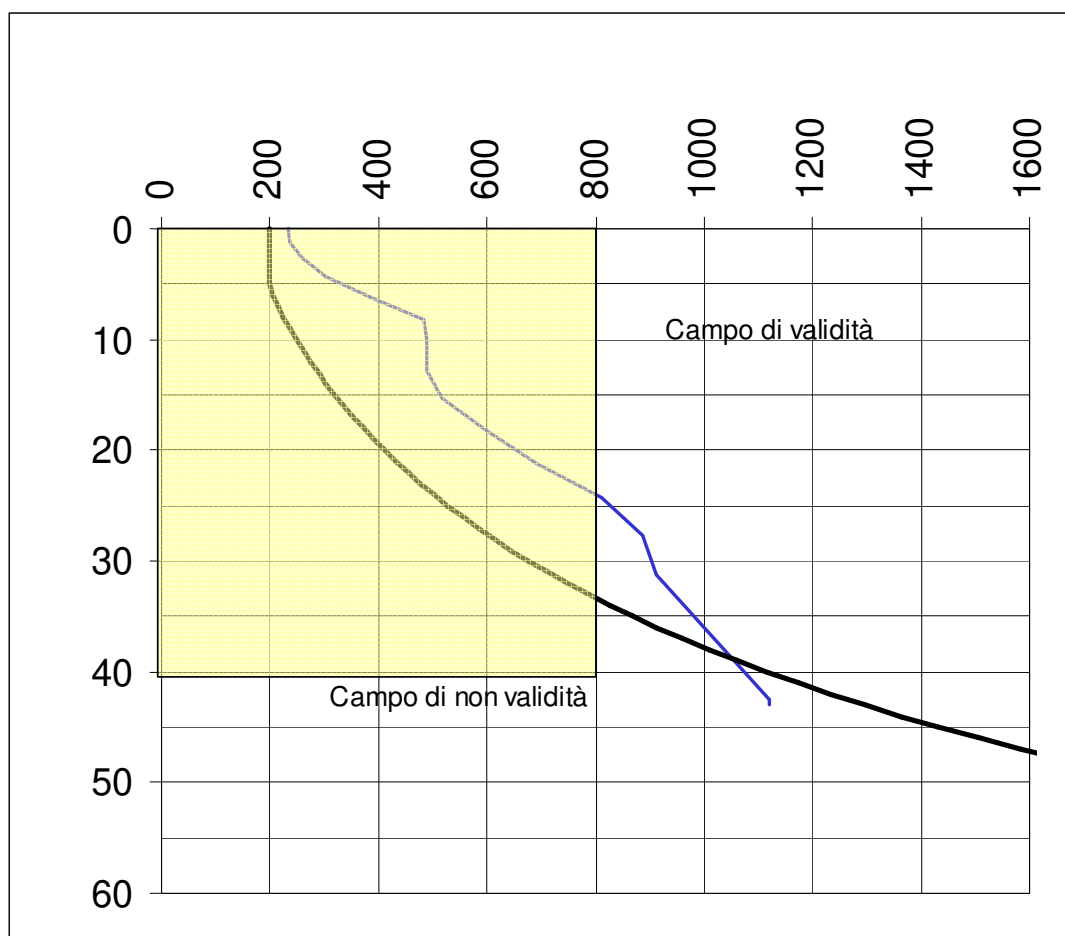
Curva di dispersione REMI



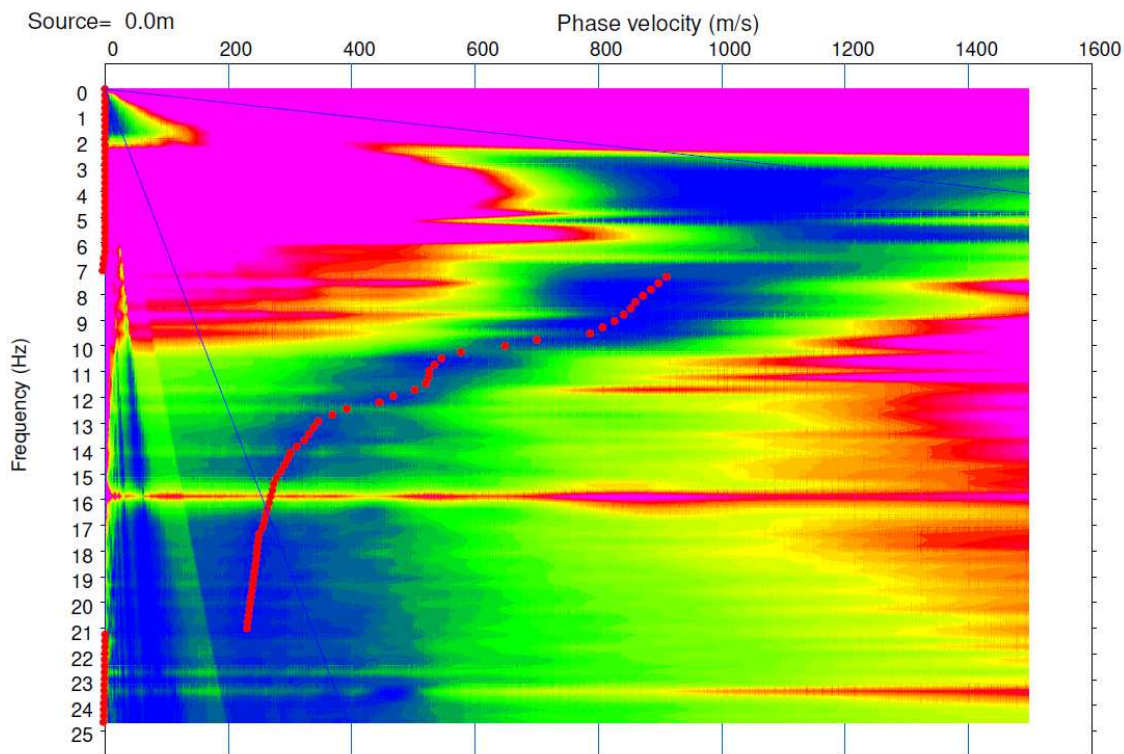
Curva di dispersione MASW



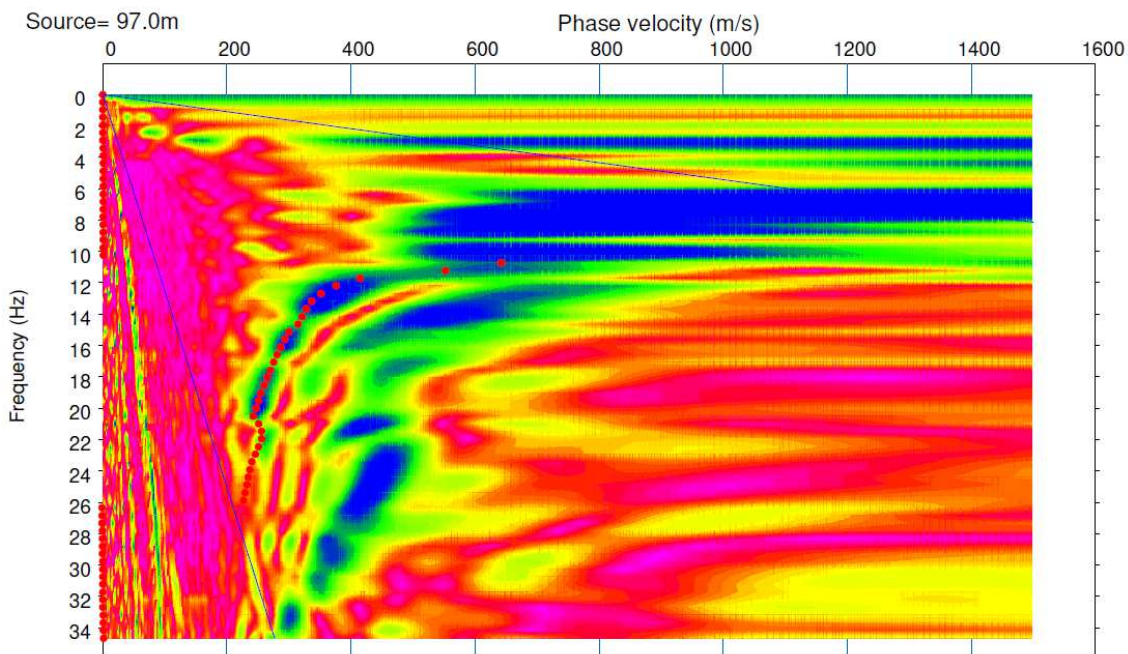
Depth (m)	S-velocity (m/s)	P-velocity (m/s)	Density (g/cc)
0.0	234.3	462.1	1.4
1.3	238.0	473.0	1.4
2.7	260.1	524.5	1.5
4.3	303.1	609.9	1.5
6.2	385.4	765.5	1.5
8.2	481.6	952.5	1.6
10.0	487.6	1826.7	1.9
12.8	489.1	1834.0	1.9
15.4	519.1	1873.1	1.9
18.2	598.4	1962.9	1.9
21.2	689.7	2061.4	2.0
24.3	809.6	2189.5	2.0
27.7	887.9	2272.4	2.0
31.2	911.5	2297.4	2.0
42.5	1119.4	2530.9	2.1



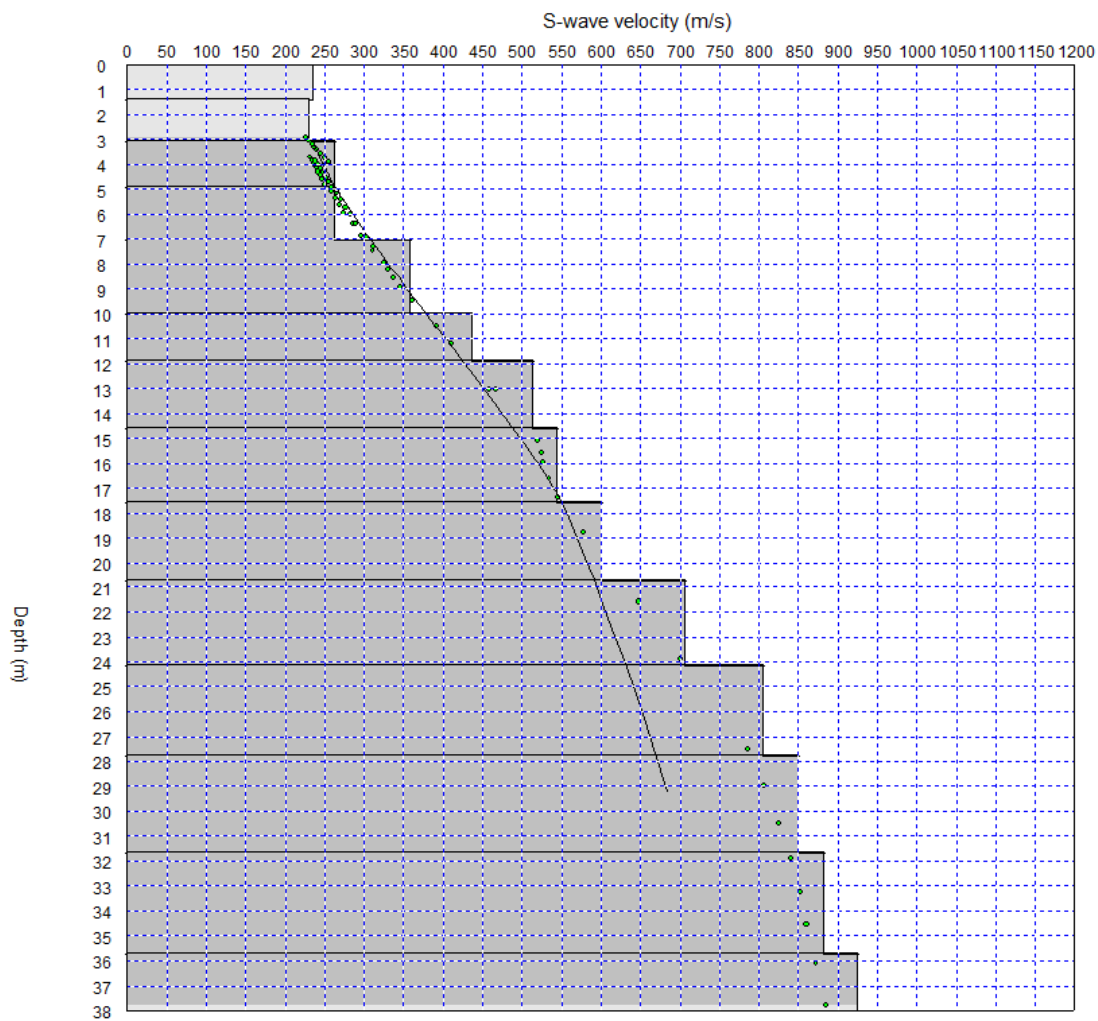
SITO 2 (angolo nord ovest terrazzo di Casnigo)



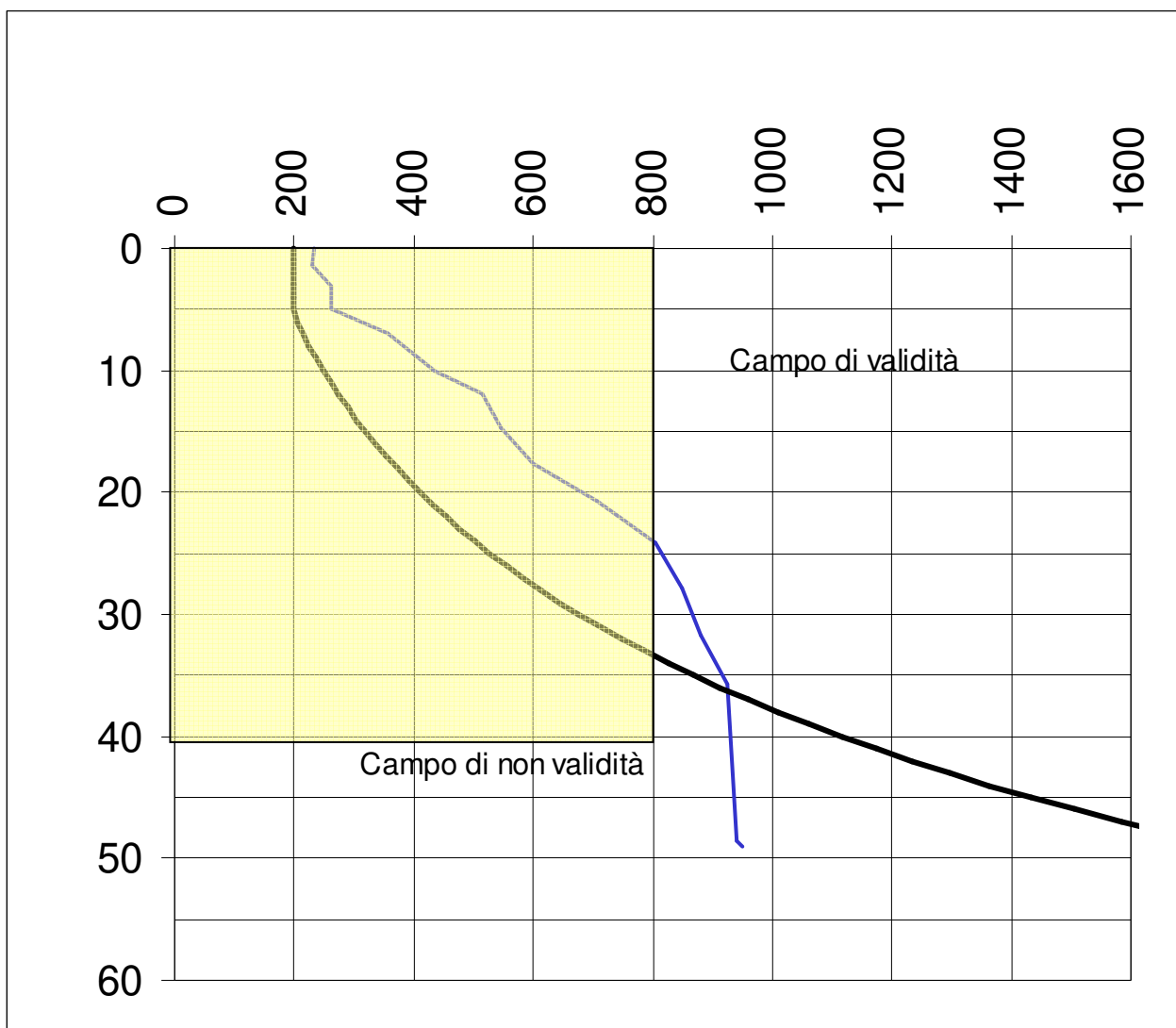
Curva di dispersione REMI



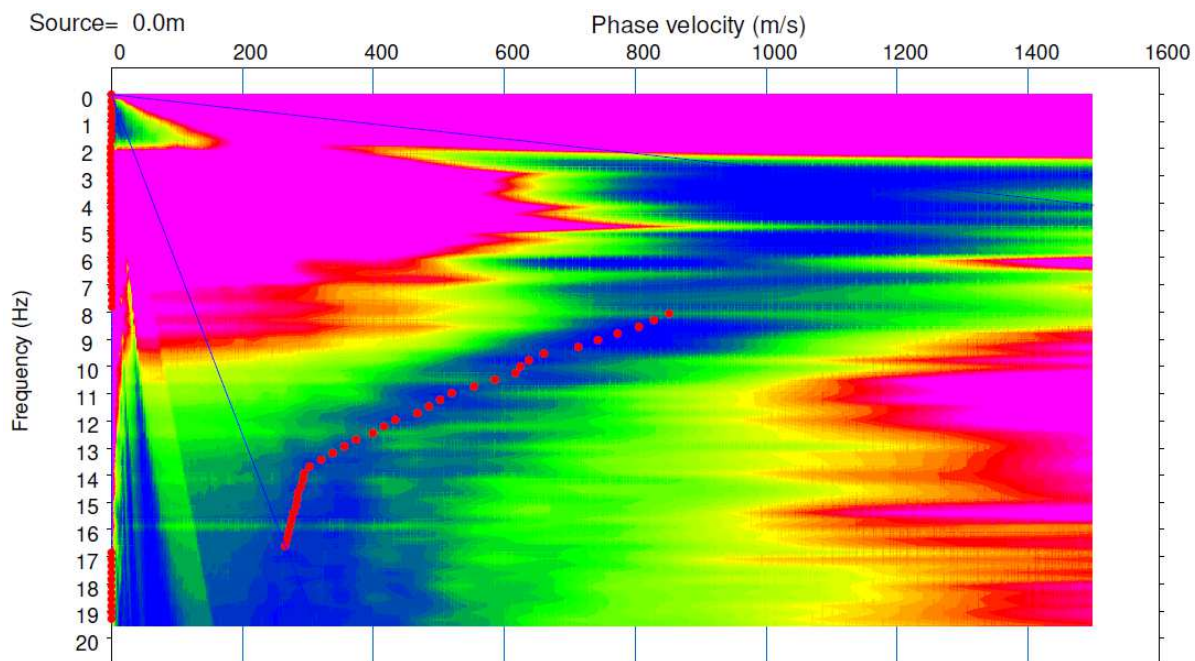
Curva di dispersione MASW



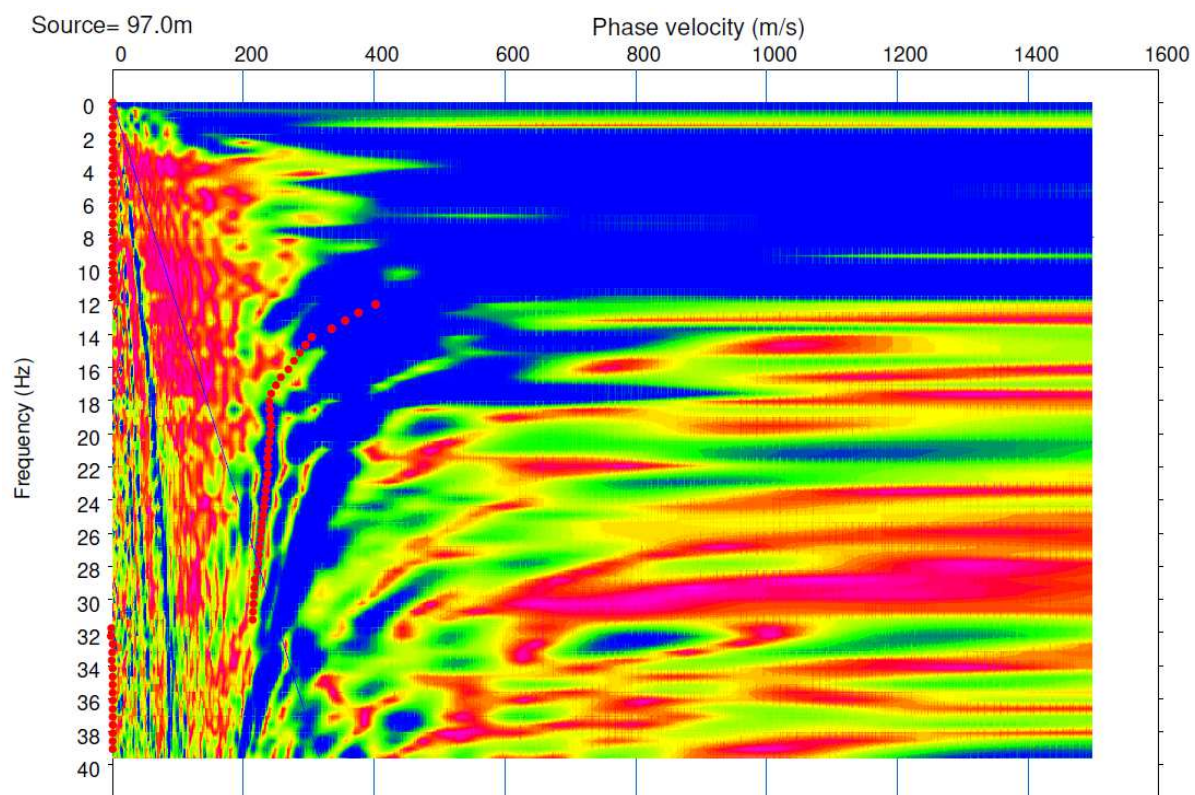
Depth (m)	S-velocity (m/s)	P-velocity (m/s)	Density (g/cc)
0.0	234.4	446.7	1.4
1.4	230.5	451.6	1.4
3.1	262.4	531.5	1.5
4.9	261.8	531.8	1.5
7.0	358.0	712.1	1.5
10.0	435.9	1768.9	1.9
11.9	513.3	1855.1	1.9
14.6	544.5	1892.3	1.9
17.6	600.5	1957.5	1.9
20.8	706.6	2077.9	2.0
24.2	804.6	2188.2	2.0
27.8	848.6	2237.2	2.0
31.6	881.6	2272.8	2.0
35.7	924.7	2318.4	2.0
48.6	940.2	2335.4	2.0



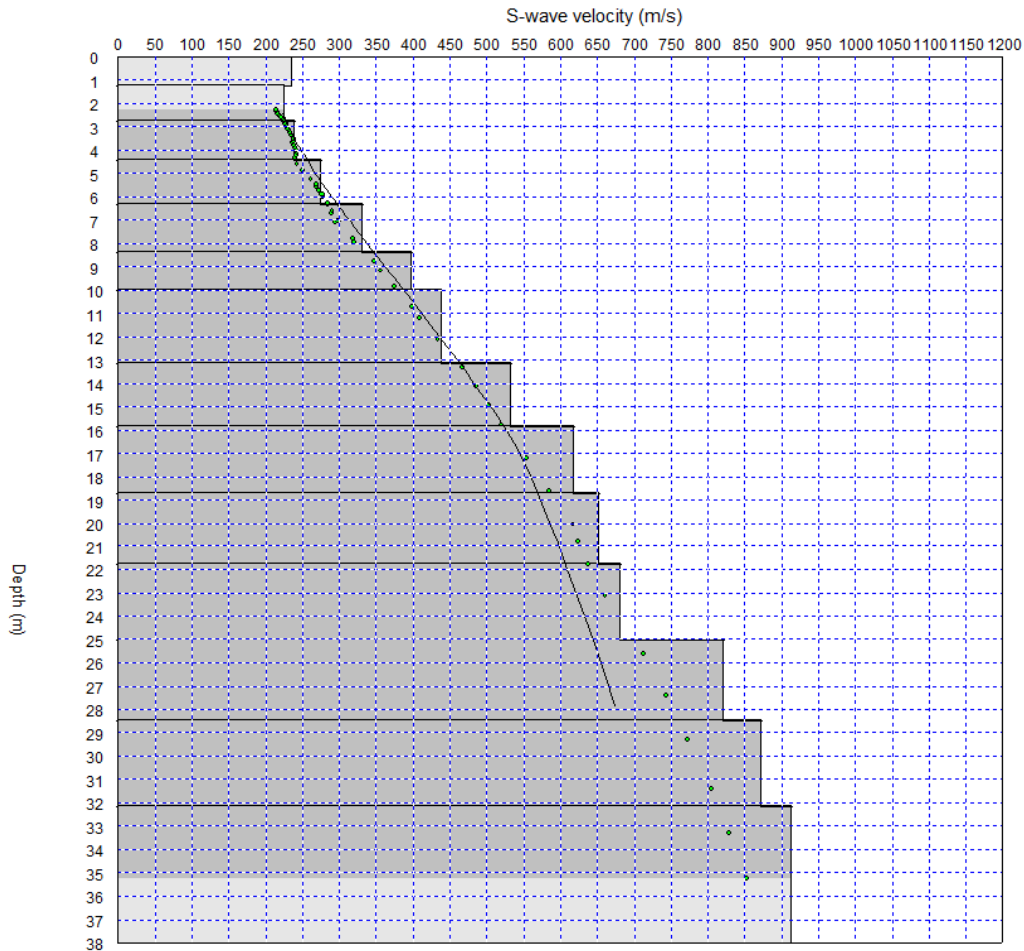
SITO 3 (lato nord est del terrazzo di Casnigo)



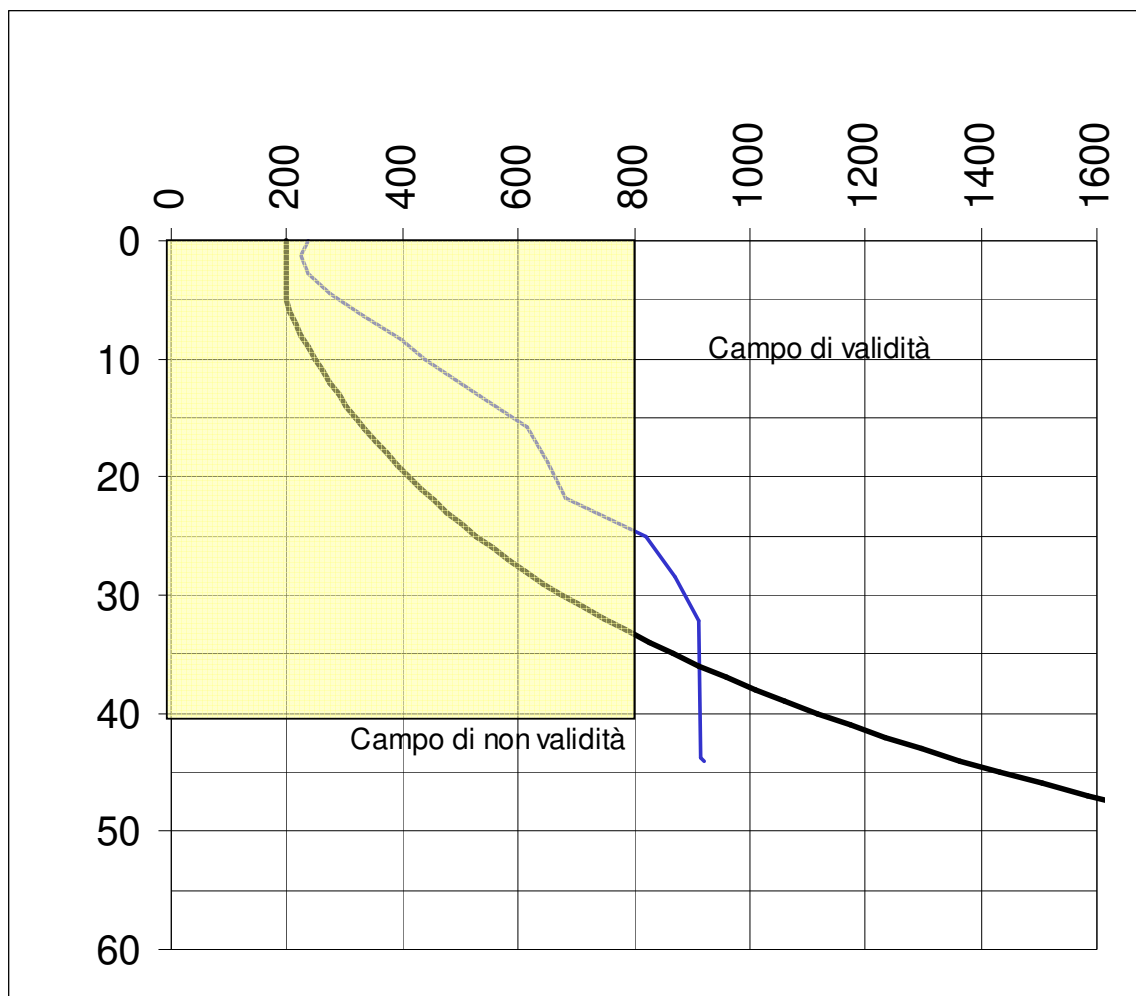
Curva di dispersione REMI



Curva di dispersione MASW



Depth (m)	S-velocity (m/s)	P-velocity (m/s)	Density (g/cc)
0.0	235.1	470.3	1.4
1.3	224.6	449.2	1.4
2.8	238.1	476.3	1.4
4.5	274.4	548.9	1.5
6.3	329.9	659.8	1.5
8.4	396.7	793.4	1.5
10.0	438.2	1776.4	1.9
13.2	532.0	1880.5	1.9
15.8	616.9	1974.7	1.9
18.7	651.5	2013.1	1.9
21.8	680.4	2045.2	2.0
25.0	820.4	2200.6	2.0
28.5	871.3	2257.2	2.0
32.1	912.0	2302.3	2.0
43.7	916.0	2306.8	2.0



ALLEGATO 2

Definizione della categoria sismica del sottosuolo

Per la valutazione (sperimentale) della categoria sismica del sottosuolo di fondazione è necessario il calcolo del valore di $V_{s,30}$ che è stato ottenuto mediante la seguente espressione:

$$V_{s,30} = \frac{H}{\sum_{(i=1, N)} h_i / V_{si}} \quad [1] \text{ con } H=30 \text{ metri}$$

$$V_{s_{equiv}} = \frac{H}{\sum_{(i=1, N)} h_i / V_{si}} \quad [2] \text{ con } H < 30 \text{ metri}$$

Il valore del periodo fondamentale di vibrazione del terreno è stato calcolato mediante la seguente espressione:

$$T_0 = \frac{4 * \sum_{(i=1, N)} h_i}{\sum_{(i=1, N)} (V_{si} * h_i) / (\sum_{(i=1, N)} h_i)} \quad [3]$$

dove: h_i e V_{si} indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6} \%$,) dello strato i -esimo per il totale degli N strati riconosciuti nel sottosuolo a partire dalla superficie per i primi 30 metri della prima formula e considerando tutta la successione stratigrafica sino al raggiungimento del bedrock-like, per la seconda formula e la terza formula.

Le tabelle sottostanti indicano la categoria sismica del suolo di fondazione ed i parametri dello spettro di risposta elastico di normativa. Per quanto riguarda poi le verifiche di livello con la valutazione del fattore di amplificazione sismica locale occorre fare riferimento al "**Capitolo 9.3.2. Risultati analisi di secondo livello**".

CLASSIFICAZIONE DEL SITO secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D. M. 17/01/2018)	
Località:	Casnigo (Bg) Linea 1 (zona Municipio)
Metodo di indagine:	RISULTATI INDAGINE GEOFISICA

VELOCITA' SISMICA ONDE DI TAGLIO $V_{s_{eq}} / V_{s_{30}}$ (m/s)	401.7
Dati i risultati, il sito in esame risulta rispondere alla categoria di suolo di tipo: (si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori di a_g e del coeff. S_s)	B

Classificazione sismica della zona		3
Vita nominale (V_N)	50	
Classe d'uso / (C_U)	2	1
Periodo di riferimento (V_R) ($V_R = C_U \cdot V_N$)	50	
Probabilità di superamento (P_{VR})	allo SLV	0.1
Periodo di ritorno (T_{VR}), valori $30 \leq T_{VR} \leq 2475$ anni $T_{VR} = -V_R / (\ln(1 - P_{VR}))$		475

vedi tabella n.1 (allegato b) - T_r (anni)	30	50	101	475	975	2475
accel. orizz.le max di norma per il sito in questione a_g (in frazioni di g (m/sq)/ 9,81)	0.031	0.039	0.054	0.103	0.134	0.182
val. max del fattore ampl.ne spettro in accel.ne orizz.le F_o (-)	2.445	2.500	2.472	2.462	2.476	2.518
periodo di inizio tratto a vel.tà costante spettro in accel.ne orizz.le T_c^* (sec)	0.198	0.215	0.241	0.278	0.287	0.297

Categorie di sottosuolo (Tab. 3.2.II)		coefficienti spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali	
		S_s	C_c
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti, con spessore massimo pari a 3 m.	1	1
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.	$1,0 \leq 1,4 - 0,4 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,2$	$1,1 \cdot (T_c^*)^{-0,2}$
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	$1,0 \leq 1,7 - 0,6 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,5$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.	$0,9 \leq 2,4 - 1,5 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,8$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,5}$
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.	$1,0 \leq 2,0 - 1,1 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,6$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,4}$

con S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica e C_c = coefficiente in funzione della categoria del sottosuolo

CLASSIFICAZIONE DEL SITO secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D. M. 17/01/2018)	
Località:	Casnigo (Bg) Linea 2 (zona nord ovest abitato)
Metodo di indagine:	RISULTATI INDAGINE GEOFISICA

VELOCITA' SISMICA ONDE DI TAGLIO $V_{s_{eq}} / V_{s_{30}}$ (m/s)	384.2
Dati i risultati, il sito in esame risulta rispondere alla categoria di suolo di tipo: (si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori di a_g e del coeff. S_s)	B

Classificazione sismica della zona		3
Vita nominale (V_N)	50	
Classe d'uso / (C_U)	2	1
Periodo di riferimento (V_R) ($V_R = C_U \cdot V_N$)	50	
Probabilità di superamento (P_{VR})	allo SLV	0.1
Periodo di ritorno (T_{VR}), valori $30 \leq T_{VR} \leq 2475$ anni $T_{VR} = -V_R / (\ln(1 - P_{VR}))$		475

vedi tabella n.1 (allegato b) - T_r (anni)	30	50	101	475	975	2475
accel. orizz.le max di norma per il sito in questione a_g (in frazioni di g (m/sq)/ 9,81)	0.031	0.039	0.054	0.102	0.133	0.181
val. max del fattore ampl.ne spettro in accel.ne orizz.le F_o (-)	2.445	2.501	2.473	2.464	2.475	2.518
periodo di inizio tratto a vel.tà costante spettro in accel.ne orizz.le T_c^* (sec)	0.198	0.214	0.241	0.278	0.287	0.297

Categorie di sottosuolo (Tab. 3.2.II)		coefficienti spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali	
		S_s	C_c
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti, con spessore massimo pari a 3 m.	1	1
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.	$1,0 \leq 1,4 - 0,4 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,2$	$1,1 \cdot (T_c^*)^{-0,2}$
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	$1,0 \leq 1,7 - 0,6 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,5$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.	$0,9 \leq 2,4 - 1,5 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,8$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,5}$
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.	$1,0 \leq 2,0 - 1,1 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,6$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,4}$

con S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica e C_c = coefficiente in funzione della categoria del sottosuolo

CLASSIFICAZIONE DEL SITO secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D. M. 17/01/2018)	
Località:	Casnigo (Bg) Linea 3 (zona nord est abitato)
Metodo di indagine:	RISULTATI INDAGINE GEOFISICA

VELOCITA' SISMICA ONDE DI TAGLIO V_{seq} / V_{s30} (m/s)	395.2
Dati i risultati, il sito in esame risulta rispondere alla categoria di suolo di tipo: (si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori di a_g e del coeff. S_s)	B

Classificazione sismica della zona				3
Vita nominale (V_N)	50			
Classe d'uso / (C_U)	2	1		
Periodo di riferimento (V_R)	$(V_R = C_U \cdot V_N)$	50		
Probabilità di superamento (P_{VR})	allo	SLV	0.1	
Periodo di ritorno (T_{VR}), valori $30 \leq T_{VR} \leq 2475$ anni	$T_{VR} = -V_R / (\ln(1 - P_{VR}))$	475		

vedi tabella n.1 (allegato b) - T_r (anni)	30	50	101	475	975	2475
accel. orizz.le max di norma per il sito in questione a_g (in frazioni di g (m/sq)/ 9,81)	0.031	0.039	0.054	0.103	0.134	0.182
val. max del fattore ampl.ne spettro in accel.ne orizz.le F_o (-)	2.445	2.500	2.472	2.462	2.476	2.519
periodo di inizio tratto a vel.tà costante spettro in accel.ne orizz.le T_c^* (sec)	0.198	0.215	0.241	0.278	0.287	0.297

Categorie di sottosuolo (Tab. 3.2.II)		coefficienti spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali	
		S_s	C_c
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti, con spessore massimo pari a 3 m.	1	1
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.	$1,0 \leq 1,4 - 0,4 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,2$	$1,1 \cdot (T_c^*)^{-0,2}$
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	$1,0 \leq 1,7 - 0,6 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,5$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.	$0,9 \leq 2,4 - 1,5 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,8$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,5}$
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.	$1,0 \leq 2,0 - 1,1 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,6$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,4}$

con S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica e C_c = coefficiente in funzione della categoria del sottosuolo

Figura n. 1 Schede riassuntive di classificazione del sottosuolo secondo normativa nazionale in materia di Costruzioni (NTC 2018).