



studio associato

Via Giorgio e Guido Paglia, n° 21 – 24122 BERGAMO – e-mail: bergamo@eurogeo.net
Tel. +39 035 248689 – +39 035 271216 – Fax +39 035 271216

REL. SS-4 23/03/2011

Comune di Casnigo

Piazza San Giovanni Battista, 1 – Casnigo (BG)



COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO ai sensi della D.G.R. 8/1566 del 22 dicembre 2005 e della D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008

Relazione Geologica

Bergamo, marzo 2011



Massimo Elitropi *Renato Caldarelli*





SOMMARIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | PREMESSA | 5 |
| 2 | CARTA GEOMORFOLOGICA (TAV. 1) | 6 |
| 2.1 | Introduzione..... | 6 |
| 2.2 | Carta clivometrica (TAV. 2)..... | 7 |
| 2.3 | Principali lineamenti geomorfologici..... | 8 |
| 2.3.1 | Substrato roccioso..... | 8 |
| 2.3.2 | Depositi del Bacino lacustre di Leffe..... | 12 |
| 2.3.3 | Valle attuale del Fiume Serio..... | 14 |
| 2.3.4 | Valli attuali dei Torrenti Romna e Re..... | 17 |
| 3 | CARTA LITOLOGICA E DELLA DINAMICA GEOMORFOLOGICA (TAV. 3) | 18 |
| 3.1 | Forme, processi e depositi legati alla gravità | 19 |
| 3.1.1 | I BOT..... | 20 |
| 3.1.2 | I ROMNEI..... | 22 |
| 3.1.3 | Ponte del Costone..... | 24 |
| 3.1.4 | Distacchi di minore entità..... | 25 |
| 3.1.5 | Opere di mitigazione del pericolo di caduta massi..... | 26 |
| 3.2 | Forme, processi e depositi legati alle acque superficiali..... | 27 |
| 3.3 | Forme e processi legati al carsismo..... | 28 |
| 3.4 | Forme legate a interventi antropici..... | 30 |
| 4 | IDROGEOLOGIA E SISTEMA IDROGRAFICO | 32 |
| 4.1 | Idrografia superficiale..... | 32 |
| 4.1.1 | Il Fiume Serio..... | 32 |
| 4.1.2 | Il torrente Romna..... | 32 |
| 4.2 | Aspetti idrogeologici..... | 32 |
| 4.2.1 | Permeabilità superficiale dei terreni..... | 32 |
| 4.2.2 | Sorgenti..... | 35 |
| 5 | ANALISI DELLA SISMICITÀ DEL TERRITORIO E CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (TAV. 4) | 38 |
| 5.1 | Premessa..... | 38 |
| 5.2 | Zonazione della pericolosità sismica locale (Tav. 4)..... | 40 |
| 5.2.1 | Primo livello..... | 40 |
| 5.2.2 | Secondo livello..... | 43 |
| 5.2.3 | Applicazione del secondo livello per le aree soggette ad amplificazione litologica..... | 44 |
| 5.2.4 | Applicazione del secondo livello per le aree soggette ad amplificazione topografica..... | 50 |
| 5.2.5 | Terzo Livello..... | 51 |
| 6 | CARTA DEI VINCOLI (TAV. 5) | 55 |
| 6.1 | Carta del dissesto con legenda uniformata al P.A.I. (TAV. 5)..... | 56 |
| 6.1.1 | Aree di dissesto P.A.I..... | 56 |
| 6.1.2 | Aree a rischio idrogeologico molto elevato..... | 60 |
| 7 | CARTA DI SINTESI (TAV. 6) | 63 |
| 7.1 | Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti..... | 63 |
| 7.2 | Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico:..... | 65 |
| 7.3 | Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico:..... | 65 |
| 7.4 | Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche:..... | 65 |
| 8 | CARTA DI FATTIBILITÀ DELLE AZIONI DI PIANO (TAV. 7) | 67 |
| 8.1 | Classi di fattibilità geologica..... | 67 |
| 8.2 | La fattibilità geologica nel comune di Casnigo..... | 69 |
| 8.2.1 | Classe 2..... | 69 |
| 8.2.2 | Classe 3..... | 70 |
| 8.2.3 | Classe 4..... | 72 |
| 8.3 | Normativa sismica..... | 74 |
| 8.3.1 | Effetti di instabilità (PSL Z1)..... | 74 |
| 8.3.2 | Zone con terreni di fondazioni particolarmente scadenti (PSL Z2)..... | 74 |
| 8.3.3 | Effetti di amplificazione morfologica (PSL Z3)..... | 75 |
| 8.3.4 | Effetti di amplificazione litologica (PSL Z4)..... | 76 |



ALLEGATI

- 1 Inquadramento geografico (scala 1:40.000);
- 2 Estratto della carta geologica della Provincia di Bergamo (scala 1:40.000);
- 3 Schede sorgenti;
- 4 Prove MASW;
- 5 Schede regionali per la valutazione del Fattore di Amplificazione;
- 6 Estratto della relazione e delle tavole dello studio "Zonazione della pericolosità e del rischio di caduta massi", (Eurogeo 2005).

TAVOLE

- 1 CARTA GEOMORFOLOGICA (scala 1:10.000);
- 2 CARTA CLIVOMETRICA (scala 1:10.000);
- 3N CARTA DELLA DINAMICA GEOMORFOLOGICA (scala 1:5.000);
- 3S CARTA DELLA DINAMICA GEOMORFOLOGICA (scala 1:5.000);
- 4N CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (scala 1:5.000);
- 4S CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (scala 1:5.000);
- 5 CARTA DEI VINCOLI (scala 1:10.000);
- 6N CARTA DI SINTESI (scala 1:5.000);
- 6S CARTA DI SINTESI (scala 1:5.000);
- 7 CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO (scala 1:10.000);
- 7N CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO (scala 1:5.000);
- 7S CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO (scala 1:5.000);
- 8 CARTA DEL DISSESTO CON LEGENDA UNIFORMATA AL P.A.I. (scala 1:10.000).



1 PREMESSA

Con l'entrata in vigore della "Legge per il governo del territorio" (L.R. 12/05 dell'11 marzo 2005) la Regione Lombardia ha modificato l'approccio culturale alla materia urbanistica, sostituendo il principio della pianificazione con quello del governo del territorio. La successiva D.G.R. 8/1566 del 22 dicembre 2005, aggiornata con la D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008, ha definito i criteri e gli indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57 della Legge Regionale.

L'elemento tecnico di maggiore novità introdotto è rappresentato dall'elaborato della carta della pericolosità sismica con la quale sono individuate quelle parti del territorio comunale che, per litologia e/o conformazione geomorfologica del paesaggio, presentano maggiore sensibilità a un potenziale evento sismico.

Gli elementi territoriali di base quali la geologia, la geomorfologia, l'idrogeologia e la litologia, riconosciuti con il rilevamento in situ e mediante l'analisi fotointerpretativa, insieme alla carta della pericolosità sismica, sono riportati nelle tavole allegate alla relazione. L'analisi dei singoli tematismi e le loro interconnessioni hanno prodotto la Carta di Sintesi e la Carta della Fattibilità Geologica, nelle quali sono distinti gli elementi di pericolosità naturale presenti nel territorio di Casnigo e gli approfondimenti d'indagine propedeutici ai cambiamenti di destinazione d'uso.



2 CARTA GEOMORFOLOGICA (TAV. 1)

2.1 Introduzione

L'analisi della componente geomorfologica del territorio di Casnigo è stata articolata nella seguente maniera:

- ✚ ricerca bibliografica e consultazione della cartografia esistente;
- ✚ lettura di foto aeree panoramiche e fotointerpretazione in stereoscopia;
- ✚ rilevamento geomorfologico in sito;
- ✚ elaborazione del modello digitale del terreno e della carta delle pendenze.

Durante i rilievi in sito sono stati censiti i dissesti riportati nell' *"Inventario delle frane e dei dissesti idrogeologici della Regione Lombardia"*, compilato nel luglio 2002. La carta geomorfologica è stata quindi aggiornata adeguandola alla legenda allegata alla direttiva n° 7/6645 del 2001 (allegato A/10) e nella deliberazione n° 6/40996 del 1999 (allegato A, punto 5).

In base a tale elaborato le forme ed i processi geomorfologici sono distinti per:

- ✚ agente morfodinamico (acque correnti superficiali, gravità, attività antropiche, ecc.);
- ✚ forma (orlo di scarpata di frana, detrito di versante, corpo di frana, ecc.);
- ✚ stato d'attività (attivo, quiescente o inattivo).

Al fine di facilitarne la lettura sono state distinte le aree caratterizzate dalla prevalenza di un determinato agente morfodinamico:

Aree a prevalente morfologia carsica: le forme predominanti sono collegate ai meccanismi di dissoluzione operati dalle acque di infiltrazione e ruscellamento superficiale.

Aree a prevalente morfologia gravitativa: sono i versanti da mediamente a fortemente acclivi sui quali prevalgono forme dovute a scivolamenti di coltri superficiali e/o distacco di elementi litoidi.



Aree a prevalente morfologia fluviale: costituiscono le piane di fondovalle del Fiume Serio e del Torrente Romna nelle quali prevalgono dinamiche fluviali di erosione e trasporto.

2.2 Carta clivometrica (TAV. 2)

Costituisce una carta propedeutica a quella geomorfologica la cui importanza è principalmente dovuta alla stretta connessione tra l'acclività dei versanti e il manifestarsi del dissesto idrogeologico.

L'analisi delle pendenze è stata ottenuta mediante una procedura automatizzata di elaborazione di dati territoriali (IDRISI) applicata al rilievo aerofotogrammetrico in scala 1:2.000 del territorio di Casnigo.

L'interpolazione della matrice delle altezze ha generato il modello digitale del terreno (Tavola 2) e successivamente la mappa delle pendenze in gradi percentuali raggruppati nelle seguenti classi rappresentative:

-  inferiore al 10%;
-  tra il 10% e il 20%;
-  tra il 20% e il 35%;
-  tra il 35% e il 50%;
-  oltre il 50%.

Tale suddivisione non è casuale ma individua classi legate a diversi gradi di instabilità in base a dati desunti dalla bibliografia a loro volta ricavati da osservazioni di campagna compiute da diversi autori. Particolare significato ha il valore di inclinazione del 10%, poiché si ritiene che pendenze inferiori non abbiano gran peso agli effetti della stabilità. Ne consegue che la presenza di estese aree acclivi porta necessariamente a confinare gli interventi antropici nei settori dove la pendenza è potenzialmente non favorevole all'insorgere di fenomeni gravitativi.

La Carta Clivometrica insieme al DTM (Digital Terrain Model), costituiscono inoltre una base per l'analisi della conformazione del territorio. I dati provenienti da questi elaborati unitamente a quelli litologici, giacitureali e di uso del suolo, hanno contribuito alla delimitazione degli ambiti geomorfologici soprattutto là dove la lettura del paesaggio e delle sue forme è risultata difficoltosa.



2.3 Principali lineamenti geomorfologici

L'articolazione del territorio in settori con caratteristiche morfodinamiche omogenee è dovuta al differente grado di evoluzione e intensità dei processi descritti. Risulta così possibile racchiudere ampie porzioni del territorio comunale all'interno di quattro ambiti geomorfologici:

1. Substrato roccioso affiorante o subaffiorante;
2. Depositi del Bacino lacustre di Lefte;
3. Valle attuale del Fiume Serio;
4. Valli attuali dei Torrenti Romna e Re.

2.3.1 Substrato roccioso

È il settore arealmente più esteso. È formato da rocce carbonatiche, dolomitiche e argillitiche di età triassica. La diversa competenza dei litotipi trova riscontro nella differente acclività dei versanti.

Nell'area di studio affiorano le seguenti formazioni:

- ✚ Dolomia Principale: dolomie e dolomie calcaree fetide alla percussione a stratificazione indistinta o in grossi banchi potenti diversi metri. (Norico inf. medio). Si distingue al suo interno il "Membro basale della Dolomia Principale" costituito da dolomie grigio scure, laminate, localmente con brecciole e orizzonti con laminazioni stromatolitiche (Carnico sup. – Norico inf.).
- ✚ Dolomie zonate: sono doloareniti e dolosiltiti laminate scure, granoclassate, torbiditi in strati piano-paralleli di spessore decimetrico. Si distingue al suo interno il "Membro delle Breccie sommitali" della Dolomia Principale caratterizzato da breccie e megabreccie caotiche, dolomitiche a clasti di Dolomia Principale e le Dolomie zonate in corpi lenticolari (Norico medio);
- ✚ Calcare di Zorzino: sono calcari micritici scuri ben stratificati, localmente con intercalazioni torbiditiche, slumpings e giunti marnosi (Norico med.);
- ✚ Argillite di Riva di Solto: è costituita da alternanze cicliche di spessore fino a decametrico di argilliti nere, marne e calcari marnosi grigio scuri con sottili intercalazioni bioclastiche. Alla base della serie sono prevalenti le argilliti e le



marne argillose nere con subordinate intercalazioni di calcari micritici, con paraconglomerati e slumpings (Norico sup.);

- ✚ Calcare di Zu: si tratta di una successione di sedimenti di ambiente carbonatico che alterna la presenza di alternanze di marne, calcari marnosi e calcari grigio scuri localmente bioclastiche ad orizzonti di calcari bioclastici, oolitici e fossiliferi di piattaforma carbonatica (Norico sup. - Retico).

Il Calcare di Zorzino, le Dolomie zonate e il Membro delle Breccie sommitali della Dolomia Principale sono riunite nel Gruppo dell'Aralalta. A questa serie stratigrafica sono attribuiti settori del territorio caratterizzati da carsismo profondo (doline e forme di dissoluzione superficiali) e pendii blandi ricoperti da coltri di suoli rubefatti. La Dolomia Principale da spesso forma a pinnacoli e creste rocciose particolarmente aspre.

Il comportamento a tratti plastico delle rocce carbonatiche e marnose trova conferma nelle pieghe di dimensioni metriche osservabili percorrendo la Valle delle Sponde, mentre doline e solchi carsici (Foto 3) sono riconoscibili a nord dell'abitato di Casnigo, tra la chiesa della Trinità e la località Erbia, e a sud, in località Romei. Marginali alle aree con manifesta morfologia carsica sono le fasce di alterazione del substrato carbonatico in cui le forme carsiche sono obliterate dalle estese coperture dei suoli rubefatti (Foto 4).



Foto 1: Affioramenti di Calcare di Zorzino lungo la Valle delle Sponde.



Foto 2 Calcare di Zorzino affiorante in località Ronco S. Spirito.



Foto 3: Solchi carsici lungo la strada che conduce al Santuario della Madonna d'Erba.

Foto 4: Copertura di suoli rubefatti in località Romnei.

La competenza della Dolomia Principale si esprime in forme di particolare asprezza, comuni nei paesaggi dolomitici. La presenza di fratture pervasive negli ammassi rocciosi affioranti è frequentemente causa del distacco di blocchi. Problema che è avvertito in gran parte del territorio di Casnigo a causa dei numerosi affioramenti.

La Formazione delle Argilliti di Riva di Solto presenta in affioramento alternanze cicliche di argilliti nere, marne e calcari marnosi grigio scuri con intercalazioni bioclastiche. Nel settore meridionale del territorio la Valle Asinina è profondamente incassata e delimitata da pendii subverticali in corrispondenza degli affioramenti del Calcare di Zorzino mentre la zona più a monte, argillitica (Foto 5) è formata da pendii poco acclivi (Foto 6).

Come in tutta la Val Gandino e la Valle Rossa anche in Casnigo affiorano in modo sporadico piccoli stock porfiritici. Si tratta generalmente di limitati affioramenti (1-2 m) dove la roccia magmatica si presenta profondamente alterata e ridotta in sabbioni arcocici. Si suppone che anche al di sotto del Terrazzo di Casnigo sia presente uno stock porfiritico di grosse dimensioni di cui però si hanno pochi dati difficilmente utilizzabili per una ricostruzione spaziale dettagliata. Grossi plutoni invece affiorano a Lefte (tra la sella di S. Rocco e le pendici del Monte Bei) e a nord-est della frazione di Cirano (lungo la Val Groaro, la Val Tinella e la Valle Concossolo) dove sono presenti affioramenti decametrici di roccia magmatica debolmente alterata.



Foto 5: Affioramento di Dolomia Principale a monte della S.P. 671.

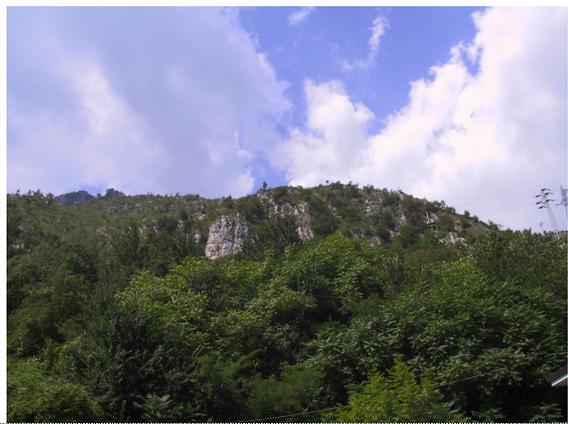


Foto 6: Affioramento di Dolomia Principale a monte della S.P. 671.



Foto 7: Affioramento di Argilliti di Riva di Sotto lungo la Valle Asinina.



Foto 8: Reticolo idrico meandriforme in Valle Spinaria.



Foto 9: Stock porfirico intruso nel Calcare di Zorzino nei pressi della cava in prossimità dell'area Dobenca.



Foto 10: Particolare dello Stock porfirico



2.3.2 Depositi del Bacino lacustre di Leffe

Si tratta del settore più significativo dal punto di vista geologico e geomorfologico dal momento che la particolare conformazione del territorio è profondamente legata all'evoluzione fluvio-glaciale pleistocenica ed alla sua successiva urbanizzazione.

Si distinguono due depositi dovuti a differenti ambiti geomorfologici e morfogenetici:

- ✚ I depositi del Bacino lacustre di Leffe formati da sedimenti lacustri, palustri e di torbiera;
- ✚ I depositi fluvio-glaciali Pleistocenici di origine seriana (Unità di Casnigo) formati da conglomerati costituiti da sedimenti alluvionali e di conoide (foto 11).

L'abitato di Casnigo è situato sul terrazzo fluviale di origine seriana (foto 12) e delimitato da alte pareti di conglomerati. Parte di questo terrazzo è visibile anche più a sud, nel territorio di Fiorano-Vertova, a quota simile, alla destra idrografica del Fiume Serio e isolato dall'erosione del fiume stesso. I depositi dell'Unità di Casnigo ricoprono i depositi lacustri e poggiano nel settore sud occidentale sul substrato triassico.



Foto 11: Depositi dell'Unità di Casnigo affioranti in prossimità del Centro Sportivo Radici.



Foto 12: Veduta d'insieme del lato occidentale del Terrazzo di Casnigo.

Appare significativo fare un breve cenno sull'evoluzione del bacino lacustre di Leffe. Esso si è originato su una profonda valle incisa nel Calcere di Zorzino (e probabilmente nella porfiritite) durante una forte fase erosionale riferita al periodo Messiniano. Lo sbocco di tale incisione si può intuire lungo la strada che sale dalla



S.P. 671 all'abitato di Casnigo; il fondo della valle non è visibile poiché coperto dai depositi alluvionali del Serio.

Durante il Pliocene superiore a causa dell'aggradazione del Fiume Serio, nella zona di Lefte si crea una situazione di drenaggio difficoltoso e ciò determina la formazione del bacino lacustre a sedimentazione terrigena, alimentato da delta conoidi costruiti dai corsi d'acqua locali.

Dopo l'inizio del Pleistocene, con la diminuzione dell'apporto dei sedimenti terrigeni, la sedimentazione all'interno del bacino diviene biogenica di acque poco profonde. Correlate alle oscillazioni del livello lacustre si alternano fasi di ambiente telmatico palustre (torbe compresse, brown coal e gyttja) e limnico (kalk gyttja, shell marl).

Successivamente l'apporto di materiale terrigeno da parte del fiume Serio causa l'accumulo di argille lacustri ed il progressivo riempimento del lago.

In seguito ad un cambiamento del regime idrodinamico, nel Pleistocene aumenta la capacità erosiva dei corsi d'acqua, l'attivazione di processi di demolizione lungo i versanti determina la deposizione di depositi grossolani di alta energia (Conglomerato di Peia – Gandino). Contemporaneamente una nuova fase di aggradazione del fiume Serio crea uno sbarramento dinanzi alla Val Gandino e la creazione di un bacino lacustre di minori dimensioni.

L'ultima fase del processo evolutivo è dovuta all'azione erosiva del Fiume Serio che inizia ad incidere la valle attuale provocando l'estinzione del bacino.



Foto 13: Depositi lacustri della Formazione di Lefte affioranti lungo il margine occidentale del Terrazzo di Casnigo.

Foto 14: Depositi della parte superiore della serie di Lefte lungo la Valle Morino.



I depositi che contraddistinguono l'evoluzione del bacino lacustre costituiscono la Formazione di Leffe, all'interno della quale si differenzia una facies eteropica costituita da sedimenti fini di origine fluviale e fluvio-lacustre in continuità laterale con i depositi francamente lacustri. Il contatto eteropico rappresenta il contatto tra depositi canalizzati di origine seriana e i sedimenti di ambiente palustre del margine occidentale del bacino di Leffe.

I depositi sono visibili in affioramento lungo il margine occidentale del terrazzo in prossimità del fiume Serio (Foto 13); la parte alta della serie lacustre è invece visibile lungo la valle Morino, lungo gli scavi aperti per la sistemazione di un vecchio sentiero. (Foto 14). La facies eteropica lungo il tratto iniziale della S.P. 45.

Durante tutto il Pleistocene si assiste all'evoluzione di un pedocomplesso (con spessori fino a 10 m) composto da una coltre di loess pedogenizzato ricoprente un vetusuolo in ghiaie profondamente alterate, che sigilla la serie. Questi depositi costituiscono la superficie del Terrazzo di Casnigo (Foto 15).



Foto 15: Depositi del mantello alteritico del Terrazzo di Casnigo in via Flignasco.

2.3.3 Valle attuale del Fiume Serio

Il Fiume Serio attraversa il territorio di Casnigo con andamento grossomodo nordest-sudovest, segnando nella parte meridionale il confine occidentale.

La valle che descrive è ampia, il fondovalle stretto a monte si allarga verso sud formando estese piane alluvionali terrazzate. Il restringimento in corrispondenza del ponte del Costone costituisce un punto cruciale dell'evoluzione geomorfologica della valle seriana dal momento che rappresenta il limite del fronte glaciale pleistocenico;



questo restringimento ha condizionato la deposizione dei sedimenti continentali e la loro conservazione; l'elevata energia della corrente ha fatto prevalere i processi erosivi rendendo discontinue e difficilmente correlabili le unità quaternarie poste a monte e a valle.

Nella valle confluiscono numerosi tributari minori le cui aste hanno lunghezze comprese tra 1 e 1,5 Km e portate irregolari dovute alla variabilità degli afflussi meteorici, nonché all'intensa fratturazione ed a fenomeni carsici che rendono l'ammasso roccioso dolomitico fortemente permeabile.

L'orientazione delle aste secondarie è di due tipi: sudest-nordovest nel settore settentrionale del territorio, ha andamento simile anche la Valle Asinina situata a sud, ed est-ovest nella fascia centro meridionale, compreso il Torrente Romna. Si discostano da questo andamento generale le incisioni della Valle Morino (al confine con il Comune di Cazzano S. Andrea) e del Torrente Re, orientate grossomodo nord-sud.

La morfologia degli alvei è spesso caratterizzata da profonde forre con pareti alte più di 30-40 m nelle quali è possibile riconoscere spaccati della serie stratigrafica triassica. La confluenza nel Fiume Serio è spesso accompagnata da un ventaglio di materiale detritico accumulatosi allo sbocco della valle minore e che, in alcuni casi, ha modificato il percorso del Fiume Serio.

I sedimenti del Fiume Serio sono suddivisi in:

- ✚ Alluvioni attuali del Fiume Serio: ghiaie, ciottoli e blocchi in matrice sabbiosa (Foto 16).
- ✚ Alluvioni recenti terrazzate del Fiume Serio: terrazzi fluviali rilevati rispetto all'alveo (Foto da 17 a 21).



Foto 16: Alluvioni attuali del Fiume Serio.



Foto 17: Il fondovalle visto dal Santuario di S. Patrizio.



Foto 18: Vista panoramica degli ampi terrazzi nei pressi dell'incrocio tra la S.P. 67 e la Via Ripa Pi.



Foto 19: Superfici terrazzate del Fiume Serio in prossimità del ponte che collega Casnigo a Colzate



Foto 20: Superfici terrazzate in località Segrone.



Foto 21: Alluvioni attuali e orlo del terrazzo nei pressi della località Mele.



2.3.4 Valli attuali dei Torrenti Romna e Re

All'interno di queste due valli sono distinti i depositi alluvionali attuali, le ghiaie e sabbie con ciottoli arrotondati, e i depositi alluvionali recenti terrazzati rilevati di pochi metri rispetto all'alveo dei torrenti.

Le alluvioni terrazzate si sviluppano a partire dalla confluenza del Torrente Re e Romna fino alla sbocco della Val Gandino. L'altezza dell'orlo del terrazzo rispetto all'alveo varia da pochi metri in località Rasga (foto 33) a 5 metri, fino a 10 metri, in prossimità del ponte che collega, all'altezza del Km 20, le case poste alla destra orografica del Torrente Romna alla S.P. 42.

L'esteso conoide alluvionale del torrente Romna allo sbocco della Val Gandino sembra evidenziare che in tempi geologici recenti (Pleistocene), la portata del Torrente fosse molto maggiore dell'attuale. Esistono testimonianze di una paleo-valle (riempita da argille sabbiose e ghiaie) posta sul margine occidentale del terrazzo (area sottostante alle Cascine Castello di Casnigo) disposta obliquamente rispetto all'odierna orientazione della Valle Romna. Gli elementi raccolti hanno fatto ipotizzare che la direzione della paleo-incisione fosse nord-nordovest sud-sudest ed è possibile che la Valle Forcella (oggi tributaria del Romna posta alla sua sinistra orografica) rappresenti il tratto a monte della valle rimasta isolata dopo la fase di erosione che ha creato lo sbocco odierno.



Foto 22: Alluvioni terrazzate del Torrente Romna in prossimità dello sbocco della Val Gandino in località Rasga.



Foto 23: Alluvioni terrazzate e depositi alluvionali attuali del Torrente Re in prossimità della confluenza nel Torrente Romna.



3 CARTA LITOLOGICA E DELLA DINAMICA GEOMORFOLOGICA (TAV. 3)

La carta litologica e della dinamica geomorfologica è stata compilata alla scala 1:5.000 e costituisce l'elaborato di base per la definizione della carta di sintesi e della fattibilità.

Gli elementi rappresentati sono:

- substrato roccioso e copertura, distinti esclusivamente su base litologica;
- processi geomorfologici attivi, ai quali si deve l'attuale assetto del territorio;
- elementi antropici significativi.

La caratterizzazione fisica dei terreni e delle rocce è stata effettuata sulla base di quanto desunto dai rilievi di campagna, integrati dalla fotointerpretazione e dallo studio geologico precedentemente redatto.

Sono di seguito elencati gli ambiti di maggior pericolosità legati alla dinamica geomorfologica in atto:

- aree franose attive, quiescenti e inattive, con soliflusso generalizzato: comprendono porzioni di territorio contraddistinte da instabilità che si manifesta in diffusi dissesti della copertura, normalmente di piccola entità;

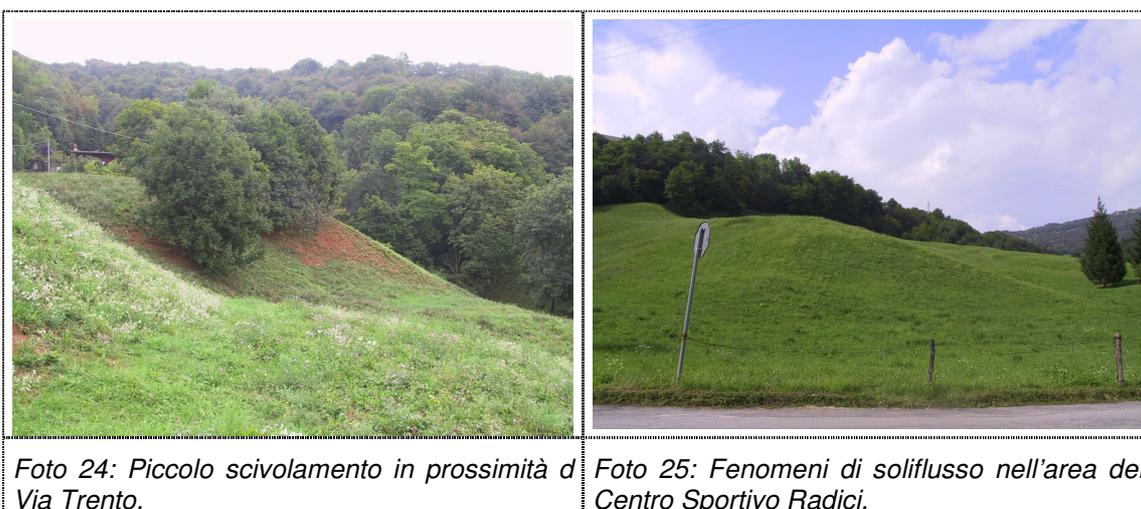


Foto 24: Piccolo scivolamento in prossimità di Via Trento.

Foto 25: Fenomeni di soliflusso nell'area del Centro Sportivo Radici.



Foto 26: Frana stabilizzata posta a nord del Centro Sportivo Radici durante i lavori di sistemazione (marzo 2002).



Foto 27: Frana stabilizzata posta a nord del Centro Sportivo Radici a seguito degli interventi di sistemazione.



Foto 28: Piccolo scivolamento nei pressi della località Bornione.



Foto 29: Accumulo di frana e nicchia di frana quiescente lungo il margine occidentale del Terrazzo di Casnigo a valle della località Cascine Castello di Casnigo.

- ▣ aree allagabili lungo le aste del Fiume Serio e dei torrenti Romna e Re;
- ▣ aree interessate da crollo, transito e accumulo di blocchi rocciosi. In alcuni casi è stato possibile distinguere le aree di distacco da quelle interessate da transito e accumulo di blocchi di roccia. In base alla conformazione morfologica del pendio si possono verificare fenomeni di volo libero dei blocchi, rotolamento, rimbalzo, rotture multiple per impatto e arresto, con conseguente abbattimento o danneggiamento della coltre vegetale e di eventuali infrastrutture.

3.1 Forme, processi e depositi legati alla gravità

Depositi eluvio-colluviali: sono cartografati laddove assumono spessori significativi. Sono depositi di natura argilloso-limosa con rari clasti sparsi. I depositi colluviali si originano per un lento movimento per gravità della parte eluviale.



Frana per scivolamento: movimento di masse di terra o di roccia limitate da una superficie di rottura ben definita e il cui cinematismo è assimilabile a uno scivolamento lungo una superficie lineare o curva (Foto 30 e 31).

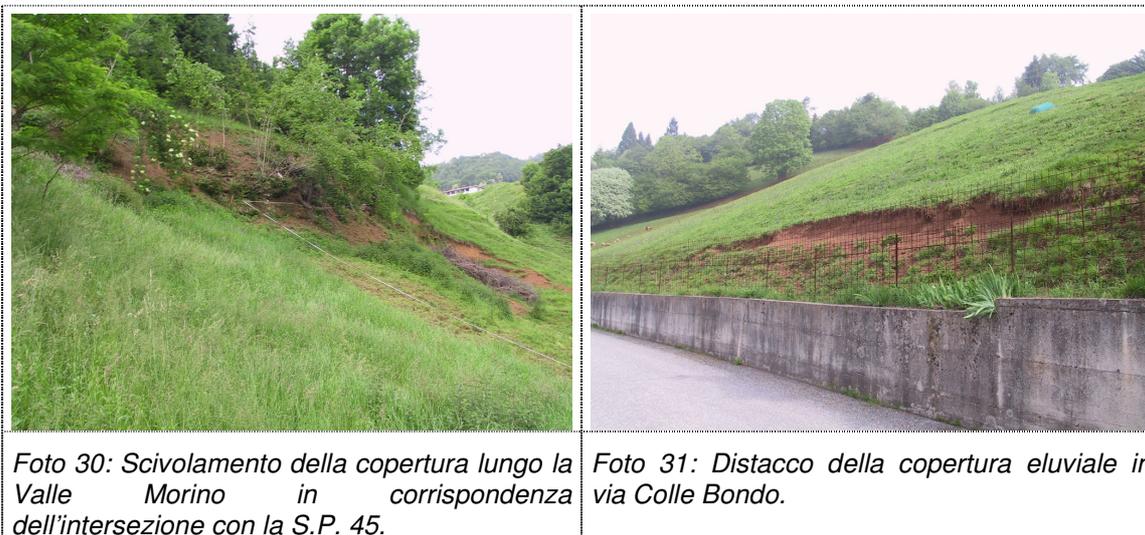


Foto 30: Scivolamento della copertura lungo la Valle Morino in corrispondenza dell'intersezione con la S.P. 45.

Foto 31: Distacco della copertura eluviale in via Colle Bondo.

Una situazione particolarmente delicata è la frana di cospicue dimensioni posta lungo il margine occidentale del Terrazzo di Casnigo (a valle della località Cascine Castello di Casnigo) che ha modificato e obliterato.

Zona con fenomeni di caduta massi (distacco, transito e accumulo): comprende estesi settori del territorio di Casnigo. Tra questi:

- ✚ il versante che si estende da Colle Petta alla località Bot, in sponda orografica sinistra del fiume Serio;
- ✚ il versante a nord-ovest della località Romnei in sponda orografica sinistra del torrente Romna, sino alla sua confluenza nel Serio;
- ✚ il versante del Ponte del Costone fino al confine con Ponte Nossa.

3.1.1 IBOT

La zona denominata “Bot” è stata oggetto di uno studio ad hoc per la zonazione del pericolo e del rischio di caduta massi, basato sulle indicazioni riportate nell'allegato 2 alla D.G.R. 8/1566 del 22 dicembre 2005 e successive modifiche e integrazioni, che ha portato alla redazione di una carta della pericolosità (Allegato 6, Studio Associato Eurogeo – Bergamo, 2005), mediante l'implementazione di una simulazione al calcolatore mediante un software di analisi della caduta massi.



Lo studio ha comportato un'analisi dell'area dei Bot dal punto di vista geomorfologico, per ciò che concerne il versante, e geomeccanico, per ciò che concerne l'ammasso roccioso. Tale analisi è stata propedeutica all'esecuzione delle simulazioni al computer che hanno consentito di ottenere una tavola della pericolosità del fenomeno della caduta massi.

L'area dei Bot è formata da un versante molto acclive, con pendenze medie attorno ai 35° e massime superiori ai 50° ed è caratterizzata dalla presenza di molteplici zone di distacco blocchi. Infatti, da nord verso sud questo settore del territorio di Casnigo è suddivisibile in tre aree omogenee (denominate nel citato studio come 1N, 2N e 3N).

L'area omogenea 1N si estende dalla valle Predal verso sud sino alle prime baite dei Bot ed è caratterizzata da pareti rocciose alte una ventina di metri con base a circa 530 m s.l.m. di quota.

Queste pareti sono le zone di potenziale distacco dei massi; in alcuni settori l'ammasso roccioso è attraversato da discontinuità con apertura centimetrica che isolano blocchi di dimensioni metriche. Il pendio sottostante è formato da depositi eluvio-colluviali di natura argilloso-limosa con rari clasti sparsi.

I massi distaccati dalla parete e fermi al piede appaiono, in taluni casi, in condizioni di equilibrio limite. Si tratta di blocchi con volumi di mezzo metro cubo circa ma in alcuni casi anche molto più grandi.

L'Area Omogenea 2N si estende dal limite della zona 1N sino al lato settentrionale del Colle Petta ed è suddivisibile in due zone: una a monte, sopra i 450 m s.l.m., e una a valle. Nella zona a monte si trova roccia affiorante che ha subito l'azione carsica; mancano pareti subverticali di dimensioni ragguardevoli ma sono presenti pinnacoli alti tra i tre ed i quattro metri.

La zona a valle si presenta come un pendio piuttosto regolare di depositi eluvio-colluviali, di spessore decimetrico e raramente di roccia affiorante. Numerosi blocchi di dimensioni da decimetriche a metriche sono sparsi sul versante e in taluni casi in condizioni di equilibrio limite.

L'Area Omogenea 3N comprende il versante occidentale del Colle Petta e i versanti a valle della frazione Ronco Santo Spirito. In questa zona si trovano pareti con sviluppo verticale attorno a cinque metri; sono costituite da ammassi rocciosi con blocchi isolati



da discontinuità con aperture centimetriche e di dimensioni fino a una decina di metri cubi in condizione di equilibrio limite. Anche in questa zona sono presenti massi sparsi sul pendio di dimensioni fino al metro cubo.

Lungo tutto il versante dei BOT sono presenti massi decametrici e metrici fermati dai fusti delle piante a breve distanza dall'affioramento di origine.

Gli impluvi che tagliano il pendio costituiscono spesso vie preferenziali di transito dei blocchi roccia, come in corrispondenza dell'impluvio a valle dei Bot (Foto 32). Il volume e l'energia dei massi hanno permesso loro di compiere tragitti di decine di metri, probabilmente anche a causa del disboscamento operato dal passaggio della linea elettrica. I danni arrecati ai fusti degli alberi stanno a indicare l'elevata energia dei massi.



Foto 32: Blocchi e pinnacoli in equilibrio limite a monte della strada che conduce alla località Bot.

Foto 33: Blocchi rotolati lungo l'impluvio a valle della località Bot.

Al piede del versante, la S.P. 671 costituisce un elemento di vulnerabilità solo parzialmente protetta dalla rottura di pendenza che la precede e per un tratto dalla roggia Seriola che costeggia a monte l'arteria viabilistica.

3.1.2 I ROMNEI

Anche questa porzione del territorio di Casnigo è stata inserita nello studio per la zonazione del pericolo e del rischio di caduta massi del 2005 (Allegato 6) e ha preso in considerazione il versante in sponda sinistra del torrente Romna e compreso tra il ponte per Fiorano al Serio e l'insediamento produttivo dell'impresa ScaMoTer.



Come nel caso dell'area dei Bot, lo studio ha comportato un'analisi approfondita della località Romnei dal punto di vista geomorfologico, e geomeccanico, per ciò che concerne l'ammasso roccioso. Tale analisi è stata propedeutica all'esecuzione delle simulazioni al computer che hanno consentito di ottenere una tavola della pericolosità del fenomeno della caduta massi.

Sono state riconosciute tre aree omogenee (denominate da ovest verso est S1, S2 e S3) con caratteristiche geomorfologiche e di pericolosità differenti.

L'area omogenea 1S si estende dal ponte per Fiorano al Serio sino al limite orientale dell'area di cava in prossimità della località Rasga e individua una zona acclive formata da pareti rocciose di dimensioni significative, plurimetriche.

Gli affioramenti si estendono in modo discontinuo per circa 250 metri ed hanno sviluppo verticale superiore a 5 metri. Il resto del pendio è costellato di massi di dimensioni eterogenee (da decimetriche sino a mezzo metro cubo), che si concentrano in piccoli avvallamenti del versante.

Buona parte del versante in fregio alla strada che porta a Fiorano al Serio è protetto da barriere paramassi di tipo passivo, installate in fasi successive e integrate recentemente dopo il fenomeno di rotolamento massi verificatosi nel settembre del 2007.

In corrispondenza della Cappella Votiva, collocata nelle immediate vicinanze dell'imbocco del ponte per Fiorano al Serio, è presente un'area libera utilizzata per la sosta dei mezzi e delimitata da una parete rocciosa alta circa 15 metri. Da essa si staccano frequentemente porzioni di roccia di dimensioni da centimetriche a decimetriche che spesso arrivano da occupare la sede stradale. Per la messa in sicurezza dell'area sarebbe opportuno realizzare una pulizia della parete con disaggio e la successiva installazione di reti in aderenze e barre in acciaio perpendicolari alla stratificazione.

L'Area Omogenea 2S si estende dal limite orientale dell'area S1 sino a poche decine di metri dall'attraversamento carrabile che collega via Romna agli edifici dell'impresa ScaMoTer; si tratta di un'area acclive ma formata da roccia subaffiorante e solo a tratti affiorante. Il distacco dei blocchi si verifica in corrispondenza di:

✚ rotture di pendio ove la roccia passa da subaffiorante ad affiorante;



✚ massi isolati sparsi lungo il versante.

In passato l'area è stata oggetto di distacchi di una certa importanza come il masso del volume di circa un metro cubo che ha raggiunto gli insediamenti industriali della ditta FAB S.p.A. nel gennaio 2004 (Foto 34 e 35). Percorrendo a ritroso la traiettoria del masso è stato individuato il punto di distacco in corrispondenza di una rottura di pendenza che ha favorito il distacco del blocco isolato dal sistema di discontinuità dell'ammasso roccioso.



Foto 34: L'area posta a nord della località Romnei interessata dal distacco e rotolamento di blocchi.



Foto 35: Blocco che ha raggiunto la recinzione di un fabbricato artigianale sul fondo valle.

L'assenza di una qualsiasi contropendenza alla base del versante rende questo settore particolarmente pericoloso per le infrastrutture presenti.

Situazioni simili sono difficilmente riconoscibili prima che il fenomeno si palesi, poiché la copertura superficiale non consente l'individuazione delle porzioni instabili.

L'Area Omogenea 3S ha un'estensione molto limitata. È formata da una parete di roccia alta circa 3 metri.

Non sono state osservate situazioni di particolare gravità sia per lo scarso sviluppo della zona di possibile distacco, sia per la topografia del versante che non consente ai blocchi di percorrere lunghe distanze e accumulare energia.

3.1.3 Ponte del Costone

Comprende i versanti prossimi al confine con il territorio di Ponte Nossa. La loro morfologia è molto acclive e le vallecole sono molto incise e caratterizzate da regime torrentizio.



Il substrato è costituito da Dolomia Principale, affiorante e subaffiorante spesso fratturata, a formare pareti alte decine di metri (Foto 36) e/o pinnacoli di altezza metrica (sopra la strada che costeggia la sponda destra del fiume Serio) in condizioni di equilibrio limite (Foto 37).

L'assenza di una copertura boschiva e l'elevata acclività del pendio accentuano la situazione di pericolo per la sottostante S.P. 671.



Foto 36: Pareti di Dolomia Principale sopra la S.P.671 nei pressi del Ponte del Costone.



Foto 37: Pinnacolo di Dolomia Principale sopra la strada che costeggia la sponda destra del fiume Serio nei pressi del Ponte del Costone.

3.1.4 Distacchi di minore entità

In fregio alla strada che sale alla frazione Bondo di Casnigo sono presenti delle pareti rocciose calcaree (Calcarea di Zu) dalle quali si staccano blocchi di dimensioni decimetriche che si accumulano sulla sede stradale.



Foto 38: Fronte di scavo instabile lungo la strada che conduce alla Madonna d'Erba in prossimità del ponte sulla Valle delle Sponde.



Foto 39: Reti paramassi dislocate lungo la S.P. 671 in prossimità del Ponte del Costone.



Lungo la strada che conduce al Santuario della Madonna d'Erba e in particolare in prossimità della valle delle Sponde (foto 38) affiora lungo il taglio stradale un ammasso roccioso calcareo, di altezza massima di circa 3 metri, a tratti intensamente fratturato. Anche in questo caso si verificano distacchi di materiale con un volume medio di alcuni decimetri che vanno ad occupare la sede stradale.

3.1.5 Opere di mitigazione del pericolo di caduta massi

Il pericolo della caduta massi è ben noto nel territorio di Casnigo e gli interventi di bonifica e messa in sicurezza realizzati sono stati numerosi, anche se lontani dall'essere esaustivi. Di seguito si riporta un elenco delle opere note:

1. Lungo la via Carrali, che collega la via Romna con l'abitato principale di Casnigo, si sviluppa una parete rocciosa di altezza variabile costituita dal Calcarea di Zorzino; tale parete è stata oggetto di due interventi di bonifica, il primo a cavallo tra il 1994 e il 1995 e il secondo nel 2005 (Foto da 40 a 43).



Foto 40: Alcune foto degli interventi realizzati lungo la via Carrali. *Foto 41: Idem*



Foto 42: Idem

Foto 43: Idem



2. Lungo la S.P. 671 sono state installate alcune barriere paramassi a protezione dei manufatti posti nelle vicinanze del pendio- Le troviamo in località Cedrina, a monte del rivenditore di automobili, ed in prossimità del Ponte del Costone (a nord e a sud della cava). Le strutture sembrano in buono stato di manutenzione.
3. All'inizio della valle del Torrente Romna sono installate alcune barriere paramassi a protezione della strada che porta a Fiorano al Serio. Anche in questo caso lo stato di manutenzione sembra buono.

In ogni caso è raccomandato il controllo periodico e la manutenzione delle opere di protezione installate in considerazione dell'elevato rischio che grava in queste zone.

Distacco di blocchi: caduta di blocchi litoidi individuati da superfici di discontinuità (faglie, fratture, stratificazione, ecc.) all'interno dell'ammasso roccioso.

Soliflusso: può essere assimilato al colamento lento di una massa fluida e viscosa. Non sono necessarie pendenze elevate. Il movimento si manifesta nel suolo fluidificato in seguito a pioggia o per disgelo e crea blande increspature del terreno accompagnate da lenti spostamenti della coltre superficiale e dall'incurvamento del fusto degli alberi.

3.2 Forme, processi e depositi legati alle acque superficiali

Solco di ruscellamento concentrato: corso d'acqua caratterizzato da elevate pendenze dell'alveo e alta energia di erosione di fondo.

Forra: profonda incisione dovuta all'erosione di fondo dell'asta torrentizia.

Terrazzo fluviale e orlo di terrazzo: superfici pianeggianti disposte ai lati delle aste fluviali delimitate da scarpate di altezza variabile dovute all'erosione dei sedimenti precedentemente deposti.

Zona con possibili fenomeni di ristagno d'acqua: aree caratterizzate da ristagno d'acqua e/o drenaggio difficoltoso o impedito, dovute alla concomitanza di una morfologia depressa e di terreni poco permeabili.

Conoide detritico torrentizio: accumulo di detriti a forma di ventaglio, generato da un torrente allo sbocco della valle come conseguenza della brusca diminuzione di pendenza (Foto 44).



3.3 Forme e processi legati al carsismo

Campo di doline: area a morfologia irregolare dovuta alla presenza di forme di dissoluzione carsica subsuperficiali (Foto 45).



Foto 44: Spaccato di un deposito di conoide lungo via Oltre Serio.



Foto 45: Area a morfologia carsica a nord del Santuario della Trinità.

Grotta: cavità naturale in rocce carbonatiche dovuta a processi di dissoluzione lungo originarie discontinuità dell'ammasso roccioso. Sono dovute a dissoluzione del cemento carbonatico anche le cavità rilevate nei banchi conglomeratici con formazione di pareti aggettanti (Foto 46 e 47).



Foto 46: Cavità naturale nel substrato calcareo triassico lungo il pendio a valle della località Bot.



Foto 47: Cavità naturale nei banchi di conglomerato lungo il margine occidentale del Terrazzo di Casnigo.

Cavità sotterranea: nei pressi della località Romnei si è formata una cavità sotterranea di origine carsica recentemente esplorata dal Gruppo Speleologico



Valeriana Talpe. La cavità si colloca in un'area boscosa subpianeggiante poco a est dalla mulattiera che sale dalla cava di via Romna ai prati della località Romnei.

L'esplorazione ha accertato la presenza di una cavità profonda 4,9 metri, larga 2,5 m e lunga 5 m. L'apertura ha un diametro di circa 60 centimetri che con un salto di 4,70 metri porta a un corso d'acqua. L'acqua fuoriesce da una stratta fessura scavata tra il terreno superficiale e il substrato roccioso, percorre il fondo della sala e viene inghiottita in una fessura non praticabile dagli speleologi.

Il fondo della sala è di terreno ricoperto da pietre, le pareti sono costituite da terreno e non sono stati rilevati affioramenti di roccia. Il soffitto è in terreno e sostenuto da una fitta rete di radici di un albero che in parte è ceduto a causa della mancanza di supporto.



Foto 48: Ingresso della cavità sotterranea.



Foto 49: Soffitto della sala e accesso dalla superficie.



Foto 50: Punto di ingresso dell'acqua.



Foto 51: Inghiottitoio di deflusso dell'acqua.



3.4 Forme legate a interventi antropici

Riguardo gli aspetti prettamente antropici occorre segnalare la presenza di tre aree colmate da R.S.U.: due sono situate in prossimità del Fiume Serio (la prima in località Segrone presso il vecchio inceneritore e l'altra in località Mele) e la terza in prossimità del confine orientale del centro abitato (la vecchia Val Bronesca).

Particolare attenzione è stata posta nell'individuazione della "paleovalle" Bronesca sulla piana del Terrazzo di Casnigo. Oggi non più visibile poiché colmata da materiale di riporto e altro e successivamente urbanizzata. La Val Bronesca era posta nella parte orientale del centro abitato e collegava l'impluvio a sud del Santuario della Trinità al corso d'acqua che scende dalla località Bronesca fino a confluire nel Torrente Re.

Negli anni settanta il Magistrato del Po' ha autorizzato in più riprese la tombinatura della Val Bronesca per il cui riempimento sono stati utilizzati materiali di riporto, materiale edile e, in misura minore, rifiuti solidi urbani.

Dalle informazioni raccolte, risulta che i rifiuti solidi urbani sono localizzati all'interno del mappale 1000, mentre i mappali più a sud (le vecchie delibere citano i mappali 985-330,2/a-4200-995-994-991-940-212) sono stati colmati utilizzando materiale edile o di riporto. L'impressione è che l'area colmata da R.S.U. occupi una superficie più estesa del solo mappale 1000.



Foto 52: L'area occupata dalla vecchia discarica del mappale 1000. La foto è stata scattata dalla probabile sponda destra orografica della Val Bronesca.



Foto 53: Area in precedenza occupata dall'incisione della Valle Bronesca.



Area interessata da attività estrattiva: porzione di territorio le cui forme sono state profondamente modificate dall'attività estrattiva.

Nel territorio comunale sono presenti:

- ✚ l'ambito estrattivo attivo ATEc7, collocato nella zona settentrionale di Casnigo sulla sponda orografica sinistra del Fiume Serio;
- ✚ l'ambito estrattivo inattivo Rp6, immediatamente a valle dell'ATEc7;
- ✚ l'ambito estrattivo inattivo Rp5, collocato in sponda sinistra del torrente Romna in prossimità dell'insediamento ScaMoTer.



4 IDROGEOLOGIA E SISTEMA IDROGRAFICO

4.1 Idrografia superficiale

Spina dorsale del sistema idrografico di Casnigo è il Fiume Serio che attraversa il territorio da nord a sud raccogliendo le acque delle numerose aste torrentizie.

Il Torrente Romna è tra quelli più significativi per ampiezza del bacino sotteso, ma anche perché individua il limite meridionale del terrazzo di Casnigo del quale a contribuito a definire la morfologia attuale.

4.1.1 Il Fiume Serio

Il Fiume Serio ha origine dalle pendici delle Alpe Orobie bergamasche nella zona compresa tra il Monte Torena e il Pizzo del Diavolo, denominata Passo del Serio.

Attraversa le province di Bergamo e Cremona per una lunghezza complessiva di circa 124 km sottendendo un bacino imbrifero ampio 1.256 km². Confluisce nel Fiume Adda in prossimità del confine tra le province di Cremona e Lodi nel comune di Montodine, in località Bocca di Serio.

4.1.2 Il torrente Romna

Il torrente Romna nasce sulle pendici del Monte Torrezzo e si sviluppa per una lunghezza di circa 12 chilometri. Attraversa il territorio di Casnigo con direzione est nord est, ovest sud ovest e confluisce nel Fiume Serio in prossimità del confine con il territorio di Fiorano al Serio.

4.2 *Aspetti idrogeologici*

4.2.1 Permeabilità superficiale dei terreni

L'importanza della conoscenza dei meccanismi che regolano la circolazione idrica sotterranea è legata sia alla possibilità di orientare le scelte di pianificazione territoriale per la tutela della risorsa idrica sia, a scala molto più locale, alla quantificazione dei rischi connessi alla presenza di acqua nella costruzione di opere in sotterraneo.



La permeabilità dei primi livelli del suolo e del sottosuolo svolge un ruolo molto importante nel contribuire all'alimentazione degli acquiferi e nell'analisi della vulnerabilità delle acque sotterranee.

È necessario distinguere i terreni sciolti, caratterizzati da permeabilità primaria legata alle caratteristiche tessiturali del sedimento (Tabella 1), dagli ammassi rocciosi, nei quali la circolazione idrica avviene lungo le discontinuità dell'ammasso roccioso e/o per carsismo e viene definita permeabilità secondaria.

TAB. 1: CORRELAZIONE GRANULOMETRIA/CONDUCIBILITÀ IDRAULICA

| <i>Valori del coefficiente di conducibilità idraulica k correlati con la granulometria (R. Lancellotta, 1987)</i> | |
|---|------------------------|
| <i>Tipo di terreno</i> | <i>k (cm/sec)</i> |
| Ghiaia pulita | $10^{-2} \div 1$ |
| Sabbia pulita, sabbia e ghiaia | $10^{-5} \div 10^{-2}$ |
| Sabbia molto fine | $10^{-6} \div 10^{-4}$ |
| Limo | $10^{-8} \div 10^{-6}$ |
| Argilla omogenea | $< 10^{-9}$ |
| Argilla sovraconsolidata fessurata | $10^{-8} \div 10^{-4}$ |

Una stima della quantità d'acqua che può infiltrarsi in un ammasso roccioso può essere ottenuta, oltre che in maniera qualitativa anche mediante l'applicazione della formula di Snow (1968), basata sull'elaborazione dei dati ricavabili da un rilievo geomeccanico:

$$k = (g \cdot e^3) / 12 (b \cdot v)$$

dove:

k = coefficiente di permeabilità (m/s)

g = accelerazione di gravità (9,8 m/s)

e = apertura media delle discontinuità della famiglia prevalente

b = spaziatura media delle discontinuità della famiglia prevalente

v = coefficiente di viscosità cinematica dell'acqua ($1,01 \times 10^{-6}$ m²/s)

In alternativa, la formula di Louis tiene conto del ruolo fondamentale esercitato dal riempimento all'interno delle discontinuità, considerato il fattore guida, insieme a spaziatura e apertura, della circolazione idrica:

$$k = (e/b) \times (k_f + k_r)$$

dove:

k_f = coefficiente di permeabilità del materiale di riempimento

k_r = coefficiente di permeabilità del materiale roccia



Il substrato roccioso ha permeabilità primaria da bassa a molto bassa a causa della natura litologica delle formazioni (calcari, marne e argilliti). Giocano quindi un ruolo fondamentale l'assetto e la condizione delle strutture tettoniche alla macro, ma anche alla meso e alla micro scala, la pervasività delle discontinuità, la presenza di fenomeni di dissoluzione carsica con allargamento delle fessure. Tipicamente le litologie calcaree, a comportamento fragile, tendono ad assorbire gli stress fratturandosi al contrario delle peliti che, avendo comportamento plastico, tendono a deformarsi e piegarsi.

Sulla base di tali considerazioni, il substrato roccioso che affiora nel territorio di Casnigo è suddivisibile in quattro unità idrogeologiche principali:

- ✚ Unità idrogeologica della Dolomia Principale e delle Dolomie Zonate, caratterizzata da sistemi idrici di tipo carsico ben sviluppati permeabilità medio-alta;
- ✚ Unità idrogeologica del Conglomerato di Casnigo, caratterizzato da una permeabilità medio-alta per le sue caratteristiche tessiturali e di fratturazione;
- ✚ Unità idrogeologica del Calcarea di Zu superiore e del Calcarea di Zorzino, caratterizzata da permeabilità medio-bassa e meccanismi di circolazione condizionati dal grado di fratturazione;
- ✚ Unità idrogeologica dell'Argillite di Riva di Solto, comprende anche la parte inferiore del Calcarea di Zu, caratterizzata da bassa permeabilità, con numerose fratture che però non sono sufficientemente pervasive;

Nel territorio di Casnigo sono state distinte quattro classi di permeabilità in base a un'analisi qualitativa della tessitura prevalente dei depositi e delle condizioni di fratturazione degli ammassi rocciosi (Fig. 1):

- ✚ CLASSE I ($k > 10^{-2}$ cm/s)
- ✚ CLASSE II ($10^{-4} < k < 10^{-2}$ cm/s)
- ✚ CLASSE III ($10^{-5} < k < 10^{-3}$ cm/s)
- ✚ CLASSE IV ($k < 10^{-5}$ cm/s)

Alla **Classe I** sono state assegnate quelle unità litologiche che per le loro caratteristiche tessiturali presentano una permeabilità primaria alta (*depositi alluvionali attuali e recenti del Fiume Serio e del Torrente Romna*).



Alla **Classe II** sono state assegnate le unità litologiche che presentano una permeabilità medio-alta per le loro caratteristiche tessiturali (*Depositi di conoide torrentizia*) e/o per le caratteristiche di fratturazione e dissoluzione (*Dolomia Principale, Dolomie Zonate, Conglomerato di Casnigo*).

Alla **Classe III** sono state assegnate quelle unità litologiche che presentano una permeabilità medio-bassa per le loro caratteristiche tessiturali e granulometriche (*Depositi eluvio-colluviali*) o per le caratteristiche di fratturazione e dissoluzione (*porzione superiore del Calcarea di Zu e Calcarea di Zorzino*).

Alla **Classe IV** sono state assegnati i depositi che risultano impermeabili per proprie caratteristiche granulometriche (*Mantello Alteritico del terrazzo di Casnigo, Depositi lacustri, palustri e di torbiera*) e le unità litologiche poco permeabili (*Argilliti di Riva di Solto, porzione inferiore del Calcarea di Zu*).

Per quanto riguarda gli ammassi rocciosi la permeabilità stimata è da intendersi riferita all'intero ammasso essendo comunque possibile la presenza di venute d'acqua consistenti in corrispondenza di faglie, fratture aperte o canalizzazioni di tipo carsico.

Importanti, oltre alle considerazioni sul valore di permeabilità primaria e secondaria degli ammassi rocciosi, sono: il possibile meccanismo di circolazione carsica nel sottosuolo e l'individuazione dei bacini idrogeologici di alimentazione e di strutture che favoriscono la circolazione nel sottosuolo.

4.2.2 Sorgenti

Nel territorio di Casnigo sono presenti numerose sorgenti la maggior parte delle quali collegate alla rete acquedottistica (Allegato 3).

Una prima serie di sorgenti è posta in prossimità del ponte del Costone. Queste sorgenti forniscono complessivamente una portata media di 300 l/s. L'acquifero è costituito dalle Dolomia Principale il cui ammasso è pervaso da una fitta rete di discontinuità e fessure carsificate. Le emergenze sono dovute al contatto strutturale tra unità differenti.

La sorgente Botana si trova in località Bondo e costituisce parte di un sistema di emergenze con portata di 6-7 l/s. Le scaturigini sono dovute al contatto tra i depositi superficiali e il substrato roccioso impermeabile (Argilliti di Riva di Solto).



Lungo il fondovalle si collocano altre due sorgenti a uso potabile: la sorgente Mele e la sorgente del Dragone. Quest'ultima fornisce una portata intermittente attorno ai 40 l/s. In questo caso le emergenze sono dovute a contatto stratigrafico e il carattere discontinuo a un'alimentazione fortemente connessa alla rete di fratture carsificate degli ammassi rocciosi circostanti.

Tutte le captazioni idriche a uso potabile sono salvaguardate ai sensi del D.L. 152/99, del D.L. 258/00 e della D.G.R. 7-12693/2003, come riportato nel capitolo 6 e nella relativa tavola dei vincoli (Tav. 5).

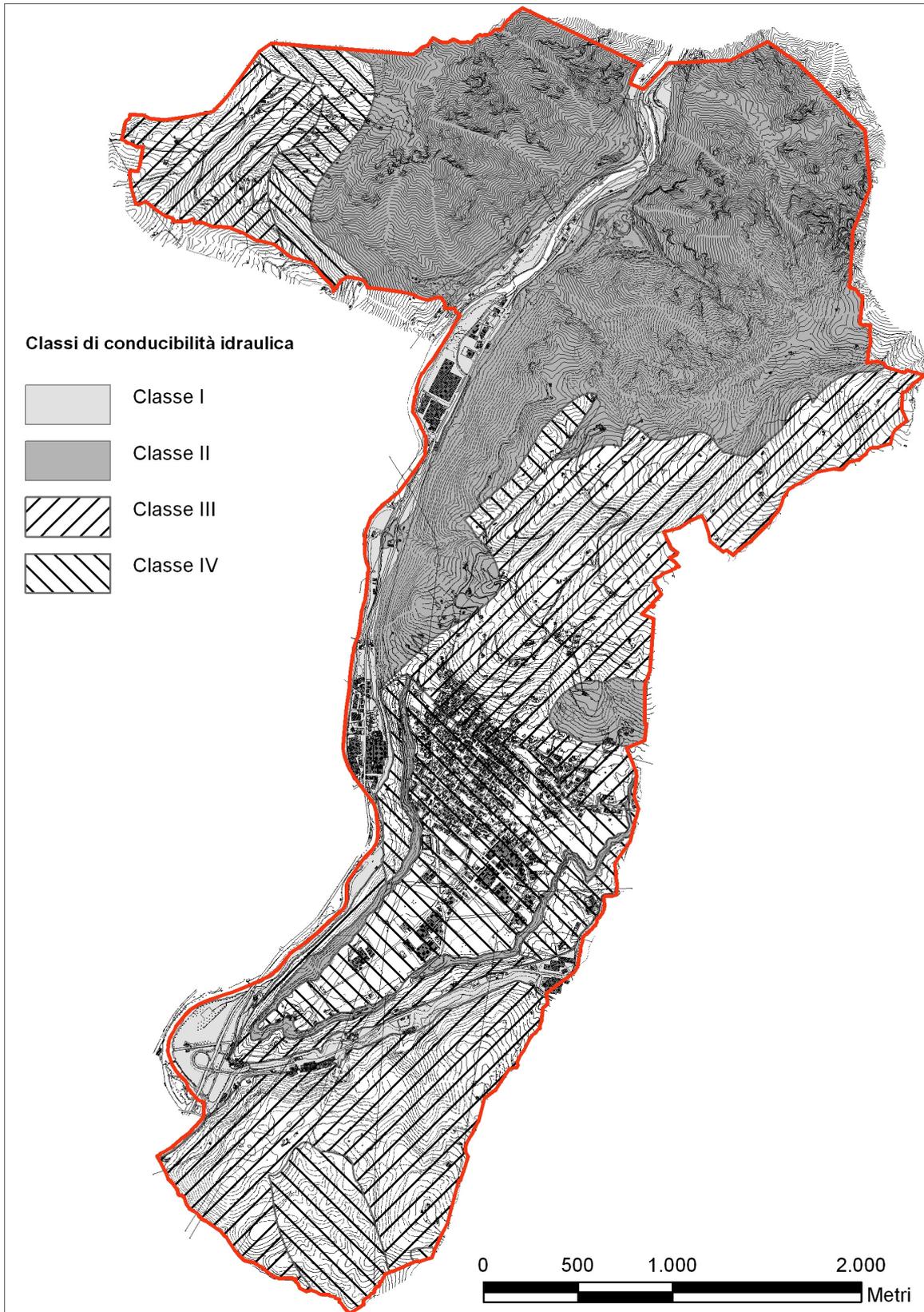


Fig. 1: Classi di conducibilità idraulica nel territorio di Casnigo.



5 ANALISI DELLA SISMICITÀ DEL TERRITORIO E CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (TAV. 4)

5.1 Premessa

L'analisi sismica è articolata in tre livelli successivi di approfondimento implementati in relazione alla zona sismica di appartenenza del comune (O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003), agli scenari di pericolosità sismica locale ed alla tipologia delle costruzioni in progetto (allegato 5 alla D.G.R. 8/1566 e successive integrazioni).

Le zone sismiche sono quattro e sono così definite:

TAB. 2: ZONE SISMICHE

| Zona | Valori di a_g |
|------|-----------------|
| 1 | 0,35g |
| 2 | 0,25g |
| 3 | 0,15g |
| 4 | 0,05g |

dove a_g è il valore dell'accelerazione orizzontale massima espresso come frazione della gravità (g).

Il territorio comunale di Casnigo ricade nella zona sismica 4 (bassa sismicità).

I livelli di approfondimento e le fasi di applicazione richieste dalla normativa sono riassunti nella tabella seguente.

TAB. 3: LIVELLI DI APPROFONDIMENTO E FASI DI APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA SULLA ZONIZZAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

| zona sismica | livelli di approfondimento e fasi di applicazione | | |
|--------------|---|---|--|
| | 1° livello fase pianificatoria | 2° livello fase pianificatoria | 3° livello fase progettuale |
| 4 | Obbligatorio | nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03) | - nelle aree indagate con il 2° livello quando F_a calcolato > valore soglia comunale; - nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5 per edifici strategici e rilevanti. |

Il primo livello di approfondimento comporta il riconoscimento delle aree nelle quali è possibile un'amplificazione dell'effetto sismico sulla base delle caratteristiche litologiche, geotecniche e morfologiche ricavabili dalle carte di inquadramento tematico e confrontate con gli scenari previsti dalle direttive tecniche (Tab. 4).



A ciascuna area così individuata è attribuita una classe di pericolosità sismica e il relativo livello di approfondimento. Le campiture che definiscono lo scenario di pericolosità sismica sono rappresentate nell'omonima tavola (Tav. 4).

TAB. 4: SCENARI DI PERICOLOSITÀ, EFFETTI E CLASSI DI PERICOLOSITÀ ASSOCIATE

| Sigla | SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE | EFFETTI | CLASSE DI PERICOLOSITA' SISMICA |
|--------------|---|--|---|
| Z1a | Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi | Instabilità | H3 |
| Z1b | Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti | | H2 - livello di approfondimento 3° |
| Z1c | Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana | | H2 - livello di approfondimento 3° |
| Z2 | Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale) | Cedimenti e/o liquefazioni | H2 - livello di approfondimento 3° |
| Z3a | Zona di ciglio H > 10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica) | Amplificazioni topografiche | H2 - livello di approfondimento 2° (3°) |
| Z3b | Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite – arrotondate | | |
| Z4a | Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi | Amplificazioni litologiche e geometriche | H2 - livello di approfondimento 2° |
| 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 | H2 - livello di approfondimento 3° |

L'applicazione del secondo livello di analisi consente di verificare se i valori di spettro elastico sono adatti alle tipologie di opere in progetto o, se è necessario implementare il terzo livello di analisi per la definizione di nuovi spettri.

In determinati casi è obbligatorio applicare direttamente il terzo livello di approfondimento sismico in fase di progettazione.

Con gli aggiornamenti alle direttive tecniche contenute nella d.g.r. n 8/7374 del 28 maggio 2008 tale approfondimento deve essere preceduto dall'analisi della classe sismica di appartenenza del suolo.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto sono state definite le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni).

A *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.



- B *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT, 30 > 50 nei terreni a grana grossa e CU, 30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).
- C *Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs, 30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT, 30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < Cu, 30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).
- D *Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT, 30 < 15 nei terreni a grana grossa e Cu, 30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).
- E *Terreni dei sottosuoli di tipo C o D* per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

5.2 Zonazione della pericolosità sismica locale (Tav. 4)

5.2.1 Primo livello

Con il primo livello di analisi il territorio di Casnigo è stato suddiviso in nove zone diverse, tra classi e sottoclassi di Pericolosità Sismica Locale, oltre alle aree miste.

Classe Z1 – In questa classe sono raggruppate le aree dove un potenziale evento sismico può causare effetti di instabilità.

Sono distinti i seguenti scenari:

✚ **Z1a**: movimenti franosi attivi con pericolosità H3; non sono previsti ulteriori livelli di analisi oltre al primo poiché queste aree ricadono in classe di fattibilità 4.

✚ **Z1b**: movimenti franosi quiescenti e zone potenzialmente franose o esposte a pericolo di frana con pericolosità H2; il progetto di edifici ricadenti nel perimetro di questo scenario richiede il terzo livello di approfondimento;



✚ **Z1c**: comprende le zone potenzialmente franose o esposte a rischio frana; il progetto di edifici ricadenti nel perimetro di questo scenario richiede il terzo livello di approfondimento.

Classe Z2 – In questa classe sono compresi i terreni di fondazione particolarmente scadenti ed è stata assegnata a quelle aree con forti eterogeneità litologiche naturali e/o antropiche.

Classe Z3 – In questo ambito sono comprese le aree soggette ad amplificazione topografica il cui sottosuolo è costituito da terreni con **andamento delle velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio (V_s)** maggiore o uguale a 800 m/s. Questo scenario richiede il secondo livello di approfondimento ed eventualmente il terzo in fase progettuale.

Sono distinti i seguenti scenari:

- **Z3a**: zona di ciglio con altezza maggiore di 10 metri (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica). A questo settore è assegnata la classe di pericolosità H2.
- **Z3b**: zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo appuntita/arrotondata. A questo settore è assegnata la classe di pericolosità H2.

Gli scenari di pericolosità sismica locale **Z3a**, zona di ciglio, e **Z3b**, zona di cresta rocciosa, sono rappresentati nella carta della pericolosità sismica locale da linee.

Il *Fattore di Amplificazione* deve essere calcolato per la quota di cresta o di ciglio e successivamente interpolato linearmente sino alla base del pendio dove assume valore pari all'unità. Possono pertanto essere soggette ad amplificazione topografica anche aree non collocate nelle immediate vicinanze delle creste e delle scarpate.

Classe Z4 – In questo ambito sono raggruppate le aree soggette ad amplificazione litologica e geometrica. A questo scenario è associata la classe di pericolosità H2.

Sono distinti i seguenti scenari:

- **Z4a**: terreni di fondovalle formati da depositi alluvionali e/o fluvioglaciali con tessitura mista; a essa sono associati i depositi terrazzati che occupano il fondovalle del Fiume Serio e del Torrente Romna.



- **Z4b**: comprende le zone pedemontane formate da falde di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre.
- **Z4d**: argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale. Questa classe è stata assegnata alla copertura di loess del terrazzo di Casnigo e ai depositi eluvio colluviali in località Bondo.

In fase progettuale è prevista l'analisi di terzo livello delle amplificazioni litologiche solo qualora l'analisi di secondo livello non soddisfi i valori soglia del *Fattore di Amplificazione (Fa)* fissati dalla Regione Lombardia.

Dove vi è concomitanza di più classi sono state impiegate campiture miste. Questo vale per gli scenari:

- ✚ Z1a-Z1b-Z1c/Z2 lungo il versante occidentale del terrazzo di Casnigo (il settore compreso tra il cimitero e la strada di via Ripa Pi) e quello opposto (la zona compresa tra la via Carrali, il centro sportivo comunale e la via Trieste);
- ✚ Z1a/Z4a lungo i fondovalle del fiume Serio e del torrente Romna in sovrapposizione con le aree potenzialmente interessate da rotolamento massi.
- ✚ Z1a/Z4b nelle aree di sovrapposizione tra i depositi di conoide e il rischio di rotolamento massi;
- ✚ Z2/Z4d sul terrazzo di Casnigo;
- ✚ Z3 si sovrappone agli altri scenari poiché la sua definizione è basata su un criterio morfologico diversamente dalle altre classi che utilizzano quello litologico.

A ciascun scenario di Pericolosità Sismica Locale corrisponde un effetto e un relativo grado di pericolosità:

- ✚ allo scenario Z1 è associato un effetto di instabilità che determina una pericolosità 3 (H3) per la sottoclasse Z1a e pericolosità 2 (H2) per le sottoclassi Z1b e Z1c;
- ✚ allo scenario Z2 sono associati cedimenti e/o liquefazione ed una pericolosità 2 (H2);
- ✚ allo scenario Z3 sono associati effetti di amplificazione topografica ed un grado di pericolosità 2 (H2);
- ✚ allo scenario Z4 sono associati effetti di amplificazione litologica e geometrica ed un grado di pericolosità 2 (H2).



5.2.2 Secondo livello

La procedura di secondo livello si applica alle zone con Pericolosità Sismica Locale Z3 e Z4. Consiste in una valutazione semiquantitativa della risposta sismica dei terreni in termine di *Fattore di amplificazione (Fa)* e nel confronto con i valori soglia del territorio comunale stabiliti dalla Regione Lombardia (Tab. 5).

TAB. 5: VALORI DI SOGLIA PER IL COMUNE DI CASNIGO

| | suolo tipo A | suolo tipo B | suolo tipo C | suolo tipo D | suolo tipo E |
|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| periodo compreso tra 0,1 – 0,5 s | | 1,4 | 1,9 | 2,2 | 2,0 |
| periodo compreso tra 0,5 – 1,5 s | | 1,7 | 2,4 | 4,2 | 3,1 |

I valori soglia per gli effetti di amplificazione topografica (*St*) sono contenuti nelle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (Tab. 6).

TAB. 6: VALORI DELLA SOGLIA *St* (NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2008).

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica | | <i>St</i> |
|-----------|---|--|-----------|
| T2 | Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ | In corrispondenza della sommità del pendio | 1,2 |
| T3 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ | In corrispondenza della cresta del rilievo | 1,2 |
| T4 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$ | In corrispondenza della cresta del rilievo | 1,4 |

La procedura di calcolo del *Fattore di Amplificazione* differisce se riferita agli effetti morfologici (scenari Z3) piuttosto che litologici (scenari Z4).

Nelle aree che ricadono in classe Z3, la procedura presuppone l'identificazione del tipo di rilievo morfologico mediante la misura di parametri quali l'altezza del rilievo, la larghezza della base e l'estensione della cresta. La stima del *Fa* avviene mediante l'utilizzo delle schede morfologiche preparate dalla Regione Lombardia (Allegato 5).

La procedura per la valutazione degli effetti litologici, scenari Z4, presuppone la conoscenza della litologia dei materiali presenti, della stratigrafia del sito e dell'**andamento delle velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio (*Vs*) nel primo sottosuolo**. Mediante queste informazioni e l'utilizzo delle schede litologiche preparate dalla Regione Lombardia è possibile la stima del *Fa*.



5.2.3 Applicazione del secondo livello per le aree soggette ad amplificazione litologica

5.2.3.1 Procedura

Il primo punto della procedura di secondo livello prevede l'identificazione della litologia prevalente e il raffronto del profilo delle **Vs** con l'apposito abaco contenuto nelle schede fornite dalla Regione Lombardia.

Attualmente sono disponibili 6 schede per 6 differenti litologie prevalenti.

Una volta individuata la scheda di riferimento, è stato verificato l'andamento delle **Vs** con la profondità utilizzando gli abachi riportati nelle schede di valutazione.

Nel caso in cui l'andamento delle **Vs** con la profondità non ricada nel campo di validità della scheda litologica corrispondente deve essere utilizzare la scheda che presenta l'andamento delle **Vs** più simile a quello riscontrato nell'indagine. In alcuni casi la valutazione del *fattore di amplificazione* è stata eseguita utilizzando più di una scheda e scegliendo la situazione più cautelativa.

Ove possibile è stata utilizzata la scheda litologica corrispondente, negli altri casi è stata utilizzata la curva con maggiore approssimazione per la stima del valore di *Fa* negli intervalli 0,1 – 0,5 s e 0,5 – 1,5 s.

Il periodo proprio del sito (T) è stato calcolato considerando la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità **Vs** è uguale o maggiore a 800 m/s, mediante la seguente equazione:

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

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

Laddove le prospezioni non abbiano investigato una profondità tale da raggiungere strati con **Vs** = 800 m/s, tale limite è stato interpolato manualmente.



Il valore del *fattore di amplificazione* ottenuto, con un'approssimazione di $\pm 0,1$ è stato confrontato con i valori soglia stabiliti dalla Regione Lombardia.

Lo sviluppo della velocità delle onde S con la profondità è stato ottenuto mediante l'esecuzione di prospezioni geofisiche di tipo MASW. Sono state eseguite quattro prospezioni geofisiche: due in corrispondenza del terrazzo morfologico, in prossimità del capoluogo, una sulle pendici del Monte Il Colle, in prossimità della Frazione Bondo e una in corrispondenza del fondovalle del Fiume Serio.

In queste zone la stratigrafia del primo sottosuolo è differente. I terreni localizzati sul terrazzo morfologico di Casnigo hanno natura limoso-argillosa, spessore di alcuni metri e poggiano su di un substrato conglomeratico (Conglomerato di Casnigo). La copertura eluvio colluviale che si estende sui versanti montuosi del territorio ha spessori limitati ed è generalmente costituita da materiale con tessitura fine e clasti sparsi, mentre il fondovalle è formato da terreni con granulometria eterometrica con prevalenza di ghiaie e sabbie con ciottoli.

5.2.3.2 La metodologia MASW

5.2.3.2.1 Teoria

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (**V_s**), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.



Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi: l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle **Vs**.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Questa similitudine permette di ottenere, con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione. MASW può essere efficace con anche solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni singoli a bassa frequenza (<10Hz).

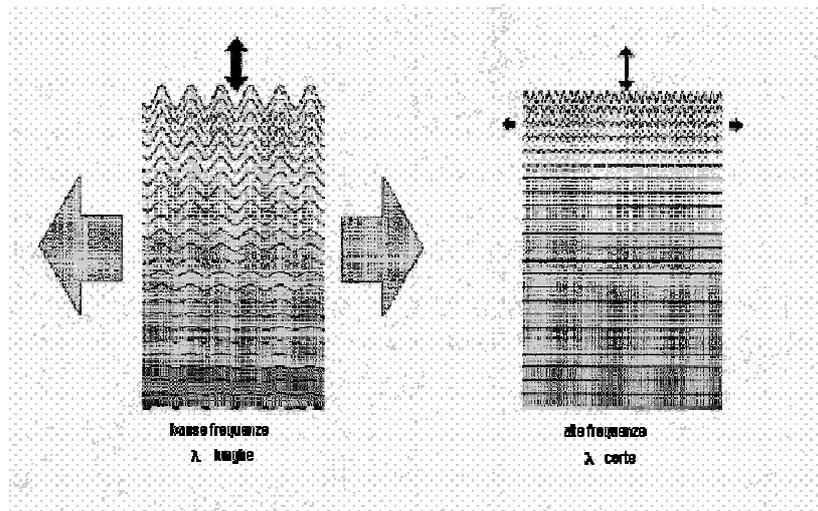


Figura 2: Proprietà di dispersione delle onde superficiali

La figura 2 mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare



della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno, tutte queste onde sono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.

5.2.3.2 Procedura in sito

Ciascuna base sismica è stata ottenuta con la stesa di un cavo sismico lungo 48 metri con 24 geofoni e una spaziatura dei punti di ricezione pari a 2 metri. In alcuni casi sono stati impostati due punti di energizzazione (shots) il primo a 5 metri dal primo geofono ed il secondo a 10 metri.

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati a rifrazione è consistita in un sismografo ECHO 24/2002 e 24 geofoni a frequenza naturale di 4,5 Hz. L'energizzazione del terreno (sorgente di energia) è stata ottenuta impiegando una mazza e una piastra appoggiata al terreno.

Il rilievo altimetrico dei punti-geofono e dei punti di energizzazione non si è reso necessario in quanto il piano topografico è risultato pianeggiante.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

1. acquisizione dei dati di campo;
2. estrazione della curva di dispersione;
3. inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s (profilo 1-D) che descrive la variazione di V_s con la profondità.

5.2.3.2.3 Interpretazione delle misure

Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.



L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati. Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale **Vs** dalla curva di dispersione e sono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali. Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Reyleigh, sono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane. Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni). Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno. La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza indipendentemente dalla distanza dalla sorgente.

La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione. Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza. La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x ; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione.



Le prospezioni sismiche sono state interpretate mediante il software SWAN (GeoStudi Aster SRL, 2007). L'utilizzo di questo software consente di preprocessare i dati grezzi acquisiti epurandoli da eventuali disturbi. Successivamente, partendo dal sismogramma medio di sito, sono calcolati gli spettri FK (Frequenza-Numero d'onda) ed FV (Frequenza-Velocità).

La distribuzione dei picchi evidenziati dagli spettri viene ulteriormente analizzata per ricavare la curva di dispersione sperimentale che viene confrontata con quella teorica. Una volta trovata un'interpolazione tra le due curve il programma esegue l'inversione per ricostruire il profilo delle **Vs** con la profondità. Il profilo così ottenuto può essere ulteriormente modificato per aumentare il grado di interpolazione tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

5.2.3.2.4 Analisi dei risultati ottenuti

Sono state realizzate tre prove MASW nei siti individuati dai numeri da 1 a 4.

L'andamento delle velocità delle onde S nei primi 30 metri di profondità è risultato piuttosto eterogeneo. Sono stati individuati suoli di tipo B, C ed E.

Dai profili delle **Vs** calcolati sono stati ricavati i *Fattori di Amplificazione* (Tab. 7). I valori più cautelativi tra questi, sono stati confrontati con quelli di soglia (Tab. 8).

TAB. 7: FATTORI DI AMPLIFICAZIONE STIMATI

| | periodo compreso tra 0,1 – 0,5 s | periodo compreso tra 0,5 – 1,5 | Vs30 m/s |
|--------|--|--------------------------------------|-------------|
| Sito 1 | 2,1 | 1,2 | 580 – 697 |
| Sito 2 | 1,2 | 1,0 | 605 |
| Sito 3 | 1,8 – 2,1 | 1,7 | 355 – 321 |
| Sito 4 | 1,4 | 1,1 | 603 – 608 |

TAB. 8: CONFRONTO TRA VALORI CALCOLATI E VALORI SOGLIA DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE

| Periodo | suolo tipo B | | suolo tipo C | | suolo tipo D | | suolo tipo E | |
|---------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
| | 0,1 -0,5 | 0,5 – 1,5 | 0,1 -0,5 | 0,5 – 1,5 | 0,1 -0,5 | 0,5 – 1,5 | 0,1 -0,5 | 0,5 – 1,5 |
| Soglia | 1,4 | 1,7 | 1,9 | 2,4 | 2,2 | 4,2 | 2,0 | 3,1 |
| Sito 1 | 2,1 | 1,2 | 2,1 | 1,2 | 2,1 | 1,2 | 2,1 | 1,2 |
| Sito 2 | 1,2 | 1,0 | 1,2 | 1,0 | 1,2 | 1,0 | 1,2 | 1,0 |
| Sito 3 | 1,8 - 2,1 | 1,7 | 1,8 | 1,7 | 1,8 - 2,1 | 1,7 | 1,8 - 2,1 | 1,7 |
| Sito 4 | 1,4 | 1,1 | 1,4 | 1,1 | 1,4 | 1,1 | 1,4 | 1,1 |



Nel complesso si può affermare che i valori soglia sono verificati sia per strutture con periodo 0,1 – 0,5s che per periodo 0,5 – 1,5 s.

5.2.4 Applicazione del secondo livello per le aree soggette ad amplificazione topografica

Nelle zone a PSL Z3 il secondo livello di approfondimento deve essere applicato solo per edifici strategici rilevanti di nuova previsione.

La procedura consente la stima del *fattore di amplificazione* negli scenari di cresta rocciosa, scarpata o cocuzzolo, caratterizzati da pendii con inclinazione di almeno 10° e i cui rilievi sono costituiti da materiale con $V_s \geq 800$ m/s e fornisce valori del F_a solo per l'intervallo 0,1 – 0,5 a causa di alcune limitazioni del metodo di calcolo utilizzato per la preparazione delle schede di valutazione.

Gli effetti morfologici riguardano i suoli di tipo A così come sono definiti dall'O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003.

La procedura di secondo livello prevede:

- ✚ l'individuazione delle creste e/o delle scarpate in un intorno significativo dell'area di progetto;
- ✚ l'analisi dei parametri geometrici di tali morfologie con l'utilizzo delle schede regionali;
- ✚ il calcolo del fattore di amplificazione;
- ✚ il confronto dei valori ottenuti con le soglie ricavate dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008.

I *Fattori di amplificazione* calcolati sono assegnati alle aree di cresta o al ciglio delle scarpate e interpolati sino al piede del versante a cui è assegnato il valore unitario ($F_a=1$). È quindi necessario considerare gli effetti di amplificazione topografica anche in aree apparentemente lontane dalle zone di cresta o scarpata morfologica. Per tale ragione nella tavola della Pericolosità Sismica Locale, le zone Z3 comprendono gran parte del territorio di Casnigo.



5.2.5 Terzo Livello

L'applicazione del terzo livello di approfondimento prevede un approccio quantitativo alla valutazione della pericolosità sismica locale. Tale approccio potrà essere svolto ricorrendo a metodologie strumentali o numeriche.

Il terzo livello di approfondimento si applica obbligatoriamente in fase progettuale nei seguenti casi:

- ✚ negli scenari a PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione;
- ✚ nello scenario a PSL Z4 quando il *Fattore di amplificazione* calcolato è maggiore del valore soglia per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione;
- ✚ nello scenario a PSL Z3 quando in un intorno significativo all'area di progetto sono presenti aree di cresta o scarpata che ricadono nella casistica prevista dallo scenario e il *Fattore di Amplificazione* calcolato risulti maggiore della soglia S_t , per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione;
- ✚ nello scenario a PSL Z3 quando in un intorno significativo all'area di progetto sono presenti aree di cresta o scarpata che ricadono nella casistica prevista dallo scenario sono previste costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani.

Nelle aree in cui coesistono differenti scenari di Pericolosità Sismica Locale dovranno essere approfonditi gli aspetti relativi a ciascuno scenario e utilizzati per la progettazione i parametri più restrittivi a favore della sicurezza.

Potrà essere evitata l'applicazione del terzo livello di approfondimento sismico utilizzando lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, seguendo il seguente schema:

- ✚ in sostituzione dello spettro per la classe sismica B si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe C; nel caso in cui la soglia non fosse sufficientemente cautelativa si può utilizzare lo spettro previsto per il suolo di classe D;
- ✚ in sostituzione dello spettro per la classe sismica C si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D;
- ✚ in sostituzione dello spettro per la classe sismica E si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D.



5.2.5.1 Effetti di instabilità (PSL Z1)

L'analisi di terzo livello prevede la quantificazione dell'instabilità delle zone franose intesa come valutazione degli indici di stabilità in condizioni statiche, pseudostatiche e dinamiche. L'analisi prevede un approccio puntuale, finalizzato alla quantificazione dei singoli movimenti.

Gli approfondimenti del caso devono essere eseguiti secondo le indicazioni riportate nell'allegato 5 della D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008.

Per i movimenti franosi di tipo rotazionale e traslazionale la relazione geologica di approfondimento si articolerà nei seguenti punti principali:

- ✚ ricostruzione di un modello geologico del movimento franoso tramite rilievi e/o indagini geognostiche atti a definirne la geometria, le superfici di scivolamento, i livelli di falda ecc., ed individuazione di sezioni geologiche e geomorfologiche;
- ✚ individuazione dei parametri geotecnici necessari all'analisi di stabilità: peso di volume (γ), angolo di attrito (Φ) residuo e di picco, coesione (c) di picco e residua (nel caso si adottò il criterio di rottura di Mohr-Coulomb);
- ✚ individuazione degli accelerogrammi di input nel caso di analisi dinamiche;
- ✚ analisi numeriche al computer per la valutazione del fattore di sicurezza (F_s) in condizioni statiche, del valore del coefficiente di accelerazione orizzontale critica (k_c) in condizioni pseudostatiche ed in termini di spostamento atteso in condizioni dinamiche.

Per i movimenti tipo crolli e ribaltamenti la relazione geologica si articolerà nei seguenti punti principali:

- ✚ inquadramento geologico in un intorno significativo ed esecuzione di alcune sezioni geologiche e topografiche (scala 1:10.000);
- ✚ individuazione dei parametri dell'input sismico (valori del picco di accelerazione, valore di picco di velocità);
- ✚ rilievi geomeccanici per la classificazione degli ammassi rocciosi;
- ✚ identificazione dei principali cinematismi di rotture degli ammassi rocciosi;
- ✚ descrizione e rilievo della pista di scendimento dei massi;



costruzione del modello numerico delle piste di scendimento e verifiche di caduta massi con vari metodi e statistiche di arrivo

5.2.5.2 Zone con terreni di fondazioni particolarmente scadenti (PSL Z2)

L'analisi di terzo livello prevede la valutazione quantitativa dei cedimenti mediante l'esecuzione di accertamenti geognostici e l'impiego di procedure note in letteratura e scelte a discrezione del professionista incaricato.

5.2.5.3 Effetti di amplificazione morfologica (PSL Z3)

Gli scenari di pericolosità sismica locale **Z3a**, scarpate morfologiche, e **Z3b**, creste morfologiche sono rappresentati nella carta della pericolosità sismica locale da linee. Tali elementi individuano gli ambiti soggetti ad amplificazione topografica. In questi ambiti il *fattore di amplificazione* deve essere calcolato per la quota di cresta o di ciglio e successivamente interpolato linearmente sino alla base del pendio dove assume valore pari all'unità. Possono pertanto essere soggette ad amplificazione topografica anche aree non collocate nelle immediate vicinanze delle creste e delle scarpate.

Nello scenario Z3 dovrà essere applicare il terzo livello di approfondimento sismico nei seguenti casi:

- ✚ aree di cresta o scarpata nel caso si prevedano costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani;
- ✚ aree di cresta o scarpata se in un intorno significativo dell'area di progetto si rilevino asperità morfologiche ricadenti nella casistica delle PSL Z3 ed il *fattore di amplificazione*, calcolato caso per caso, sia maggiore del valore soglia *St*.

La valutazione quantitativa dei fenomeni di amplificazione prevede l'utilizzo di metodologie strumentali o numeriche, a discrezione del professionista incaricato.

Le metodologie strumentali prevedono lo sviluppo di una campagna di acquisizione dati tramite prove specifiche (nell'allegato 5 alla D.G.R. 8/7374 sono indicati a titolo esemplificativo il metodo di Nakamura (1989) ed il metodo dei rapporti spettrali (Kanai e Tanaka, 1981)).



Le metodologie numeriche consistono nella ricostruzione di un modello geometrico e meccanico dell'area di studio e nell'applicazione di codici di calcolo (monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali) per la valutazione della risposta sismica locale.

La scelta del metodo e le modalità di applicazione sono a discrezione del professionista incaricato che valuterà la possibilità di integrare le due metodologie per compensare i vantaggi e gli svantaggi dei differenti approcci.

5.2.5.4 Effetti di amplificazione litologica (PSL Z4)

L'applicazione del terzo livello di approfondimento prevede un approccio quantitativo per la valutazione della pericolosità sismica locale che potrà essere svolto ricorrendo a metodologie strumentali o numeriche.

Per l'analisi dell'amplificazione litologica le metodologie strumentali prevedono lo sviluppo di una campagna di acquisizione dati tramite prove specifiche (nell'allegato 5 alla D.G.R. 8/1566 sono indicate a titolo esemplificativo il metodo di Nakamyre (1989) ed il metodo dei rapporti spettrali (Kanai e Tanaka, 1981)). Le metodologie numeriche consistono nella ricostruzione di un modello geometrico e meccanico dell'area di studio e nell'applicazione di codici di calcolo (monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali) per la valutazione della risposta sismica locale.

La scelta del metodo è a discrezione del professionista che valuterà la possibilità di integrare le due metodologie per compensare gli svantaggi dei differenti approcci.



6 CARTA DEI VINCOLI (TAV. 5)

Nella Carta dei Vincoli sono rappresentate le limitazioni d'uso del territorio derivanti dalle normative in vigore di contenuto prettamente idrogeologico e/o ambientale-paesaggistico.

Nel territorio di Casnigo sono presenti:

✚ **Vincoli di polizia idraulica:** sul reticolo idrografico identificato ai sensi del R.D. n. 523/1904 art.96, D.G.R. 7/7868 del 25 gennaio 2002 e della D.G.R. 7/13950 del 1 agosto 2003. Il reticolo idrico principale è vincolato ai sensi del R.D. n. 523/1904 art. 96, mentre il reticolo idrico minore dal regolamento allegato allo “Studio del reticolo minore” redatto dalla Comunità Montana Valle Seriana.

✚ **Zone di salvaguardia delle captazioni a uso idropotabile** (pozzi e sorgenti): D.L. 152/99, D.L. 258/00 e D.G.R. 7-12693/2003:

- **Aree di tutela assoluta:** si tratta delle aree di raggio uguale a 10 m di protezione assoluta delle captazioni di acque sotterranee destinate al consumo umano, pozzi o sorgenti. Per tali ambiti valgono le prescrizioni contenute nel documento “direttive per la disciplina delle attività all’interno delle aree di rispetto (comma 6 art.21 del DLGS 11 maggio 1999, n. 152 e successive modificazioni) ” approvato con D.G.R. 10 aprile 2003 n. 7/12693 e pubblicato sul B.U.R.L. Serie Ordinaria n. 17 del 22 aprile 2003 (Allegato 9).

Le aree di tutela assoluta devono essere adeguatamente protette e adibite esclusivamente a opere di captazione e alle infrastrutture accessorie.

- **Aree di rispetto:** sono porzioni di territorio circostanti le zone di protezione assoluta con raggio di 200 m dal centro la captazione. Nel caso delle sorgenti tale perimetrazione è limitata al tratto di bacino a monte della captazione. Per tali ambiti valgono le prescrizioni contenute nel documento “direttive per la disciplina delle attività all’interno delle aree di rispetto (comma 6 art.21 del DLGS 11 maggio 1999, n. 152 e successive modificazioni) ” approvato con D.G.R. 10 aprile 2003 n. 7/12693 e pubblicato sul B.U.R.L. Serie Ordinaria n. 17 del 22 aprile 2003 (Allegato 9). Tale normativa dovrà essere applicata a tutti i settori di ciascuna classe e/o sottoclasse di fattibilità inclusi nella perimetrazione dell'area di rispetto.



- ✚ **Ambiti estrattivi** individuati dal Piano Cave della Provincia di Bergamo (L.R. 14/98), all'interno dei quali valgono le norme previste sia per le attività di cava (Polo ATEc7) che per quelle di ripristino e recupero ambientale (poli Rp5 e Rp6).
- ✚ **Vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino P.A.I.:** ai sensi della Legge 183/89, art. 17, comma 5 e in particolare del Piano Stralcio per L'Assetto Idrogeologico, 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

6.1 Carta del dissesto con legenda uniformata al P.A.I. (TAV. 5)

La *Carta del dissesto con legenda uniformata al P.A.I.* è inserita quale proposta di aggiornamento all'Elaborato 2 del P.A.I..

6.1.1 Aree di dissesto P.A.I.

Sulla tavola sono stati individuati i seguenti tematismi:

- ✚ Trasporto di massa sui conoidi:
 - **Cn**, aree di conoidi non recentemente riattivate o completamente protette da opere di difesa – (pericolosità media o moderata).
- ✚ Aree franose:
 - **Fa**, aree interessate da frane attive - (pericolosità molto elevata);
 - **Fq**, aree interessate da frane quiescenti - (pericolosità elevata).
- ✚ Esondazioni e dissesti morfologici di carattere torrentizio lungo le aste dei corsi d'acqua:
 - **Ee**, aree coinvolgibili dai fenomeni con pericolosità molto elevata;
 - **Eb**, aree coinvolgibili da fenomeni con pericolosità elevata;
 - **Em**, aree coinvolgibili dai fenomeni con pericolosità media o moderata.



Agli ambiti ricadenti in tali perimetrazioni si applicano le prescrizioni contenute nell'art. 9 delle Norme Tecniche di Attuazione del P.A.I. e in particolare i comma 2, 3, 5, 6, 6bis e 9:

✚ **Comma 2:** nelle aree **Fa**, salvo quanto previsto dall'art. 3 ter del D.L. 12/10/2000, n. 279, convertito in L. 11/12/2000, n. 365, sono esclusivamente consentiti:

- gli interventi di demolizione senza ricostruzione;
- gli interventi di manutenzione ordinaria degli edifici, così come definiti alla lettera a) dell'art. 31 della L. 5/08/1978, n. 457;
- gli interventi volti a mitigare la vulnerabilità degli edifici e degli impianti esistenti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità, senza aumenti di superficie e volume, senza cambiamenti di destinazione d'uso che comportino aumento del carico insediativo;
- gli interventi necessari per la manutenzione ordinaria e straordinaria di opere pubbliche o di interesse pubblico e gli interventi di consolidamento e restauro conservativo di beni di interesse culturale, compatibili con la normativa di tutela;
- le opere di bonifica, di sistemazione e di monitoraggio dei movimenti franosi;
- le opere di regimazione delle acque superficiali e sotterranee;
- la ristrutturazione e la realizzazione di infrastrutture lineari e a rete riferite servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili, previo studio di compatibilità dell'intervento con lo stato di dissesto esistente validato dall'Autorità competente. Gli interventi devono comunque garantire la sicurezza dell'esercizio delle funzioni per cui sono destinati, tenuto conto dello stato di dissesto in essere.

✚ **Comma 3:** Nelle aree **Fq**, oltre agli interventi di cui al precedente comma 2, sono consentiti:

- gli interventi di manutenzione straordinaria, di restauro e di risanamento conservativo, così come definiti alle lettere b) e c) dell'art. 31 della L. 5 agosto 1978, n. 457, senza aumenti di superficie e volume;



- gli interventi di ampliamento degli edifici esistenti per adeguamento igienico-funzionale;
- gli interventi di ampliamento e ristrutturazione di edifici esistenti, nonché di nuova costruzione, purché consentiti dallo strumento urbanistico adeguato al presente Piano ai sensi e per gli effetti dell'art. 18, fatto salvo quanto disposto dalle alinee successive;
- la realizzazione di nuovi impianti di trattamento delle acque reflue e l'ampliamento di quelli esistenti, previo studio di compatibilità dell'opera con lo stato di dissesto esistente validato dall'Autorità competente; sono comunque escluse la realizzazione di nuovi impianti di smaltimento e recupero dei rifiuti, l'ampliamento degli stessi impianti esistenti, l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti, così come definiti dal D.Lgs. 5/02/1997, n. 22. E' consentito l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti già autorizzate ai sensi dello stesso D.Lgs. 22/1997 (o per le quali sia stata presentata comunicazione di inizio attività, nel rispetto delle norme tecniche e dei requisiti specificati all'art. 31 del D.Lgs. 22/1997) alla data di entrata in vigore del Piano, limitatamente alla durata dell'autorizzazione stessa. Tale autorizzazione può essere rinnovata fino ad esaurimento della capacità residua derivante dalla autorizzazione originaria per le discariche e fino al termine della vita tecnica per gli impianti a tecnologia complessa, previo studio di compatibilità validato dall'Autorità competente. Alla scadenza devono essere effettuate le operazioni di messa in sicurezza e ripristino del sito, così come definite all'art. 6 del suddetto decreto legislativo.

🚧 **Comma 5:** fatto salvo quanto previsto dall'art. 3 ter del D.L. 12/10/2000, n. 279, convertito in L. 11/12/2000, n. 365, nelle aree **Ee** sono esclusivamente consentiti:

- gli interventi di demolizione senza ricostruzione;
- gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e di risanamento conservativo degli edifici, così come definiti alle lettere a), b) e c) dell'art. 31 della L. 5/08/1978, n. 457;
- gli interventi volti a mitigare la vulnerabilità degli edifici e degli impianti esistenti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità, senza aumenti di



superficie e volume, senza cambiamenti di destinazione d'uso che comportino aumento del carico insediativo;

- gli interventi necessari per la manutenzione ordinaria e straordinaria di opere pubbliche e di interesse pubblico e di restauro e di risanamento conservativo di beni di interesse culturale, compatibili con la normativa di tutela;
- i cambiamenti delle destinazioni colturali, purché non interessanti una fascia di ampiezza di 4 m dal ciglio della sponda ai sensi del R.D. 523/1904;
- gli interventi volti alla ricostituzione degli equilibri naturali alterati e alla eliminazione, per quanto possibile, dei fattori incompatibili di interferenza antropica;
- le opere di difesa, di sistemazione idraulica e di monitoraggio dei fenomeni;
- la ristrutturazione e la realizzazione di infrastrutture lineari e a rete riferite a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili e relativi impianti, previo studio di compatibilità dell'intervento con lo stato di dissesto esistente validato dall'Autorità competente. Gli interventi devono comunque garantire la sicurezza dell'esercizio delle funzioni per cui sono destinati, tenuto conto delle condizioni idrauliche presenti;
- l'ampliamento o la ristrutturazione degli impianti di trattamento delle acque reflue;
- l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti già autorizzate ai sensi del D.Lgs. 5/02/1997, n. 22 (o per le quali sia stata presentata comunicazione di inizio attività, nel rispetto delle norme tecniche e dei requisiti specificati all'art. 31 dello stesso D.Lgs. 22/1997) alla data di entrata in vigore del Piano, limitatamente alla durata dell'autorizzazione stessa. Tale autorizzazione può essere rinnovata fino ad esaurimento della capacità residua derivante dalla autorizzazione originaria per le discariche e fino al termine della vita tecnica per gli impianti a tecnologia complessa, previo studio di compatibilità validato dall'Autorità competente. Alla scadenza devono essere effettuate le operazioni di messa in sicurezza e ripristino del sito, così come definite all'art. 6 del suddetto decreto legislativo.



✚ **Comma 6:** Nelle aree **Eb**, oltre agli interventi di cui al precedente comma 5, sono consentiti:

- gli interventi di ristrutturazione edilizia, così come definiti alla lettera d) dell'art. 31 della L. 5/08/1978, n. 457, senza aumenti di superficie e volume;
- gli interventi di ampliamento degli edifici esistenti per adeguamento igienicofunzionale;
- la realizzazione di nuovi impianti di trattamento delle acque reflue;
- il completamento degli esistenti impianti di smaltimento e recupero dei rifiuti a tecnologia complessa, quand'esso risultasse indispensabile per il raggiungimento dell'autonomia degli ambiti territoriali ottimali così come individuati dalla pianificazione regionale e provinciale; i relativi interventi di completamento sono subordinati a uno studio di compatibilità con il presente Piano validato dall'Autorità di bacino, anche sulla base di quanto previsto all'art. 19 bis (ndr. NTA del P.A.I.);

✚ **Comma 6bis:** nelle aree **Em** compete alle Regioni e agli Enti locali, attraverso gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica, regolamentare le attività consentite, i limiti e i divieti, tenuto anche conto delle indicazioni dei programmi di previsione e prevenzione ai sensi della L. 24/02/1992, n. 225. Gli interventi ammissibili devono in ogni caso essere soggetti ad uno studio di compatibilità con le condizioni del dissesto validato dall'Autorità competente.

✚ **Comma 9:** Nelle aree **Cn** compete alle Regioni e agli Enti locali, attraverso gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica, regolamentare le attività consentite, i limiti e i divieti, tenuto anche conto delle indicazioni dei programmi di previsione e prevenzione ai sensi della L. 24/02/1992, n. 225. Gli interventi ammissibili devono in ogni caso essere soggetti ad uno studio di compatibilità con le condizioni del dissesto validato dall'Autorità competente.

6.1.2 Aree a rischio idrogeologico molto elevato

Nel quadro dei dissesti sono inserite due aree, perimetrare ai sensi della Legge 183/89, art. 17, comma 5 e in particolare del Piano Stralcio per L'Assetto Idrogeologico, 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, che si collocano in prossimità del Centro Sportivo Radici e classificate come *Aree a rischio idrogeologico molto elevato*:

- **ZONA 1**: area instabile o che presenta un'elevata probabilità di coinvolgimento, in tempi brevi, direttamente dal fenomeno e dall'evoluzione dello stesso;
- **ZONA 2**: area potenzialmente interessata dal manifestarsi di fenomeni di instabilità coinvolgenti settori più ampi di quelli attualmente riconosciuti o in cui l'intensità dei fenomeni è modesta in rapporto ai danni potenziali sui beni esposti.

All'interno di tali aree sono applicate le limitazioni riportate nell'articolo 50 delle Norme di Attuazione del P.A.I. oltre a quelle operanti ai sensi della L. 9/07/1908, n. 445 e della L. 30/03/1998, n. 61, relative alle aree a rischio idrogeologico molto elevato.

L'art. 50 delle NTA del P.A.I. contiene le seguenti prescrizioni:

✚ Nella porzione contrassegnata come **ZONA 1** delle aree di cui all'Allegato 4.1 all'Elaborato 2 di Piano, sono esclusivamente consentiti:

- gli interventi di demolizione senza ricostruzione;
- gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, così come definiti alle lettere a), b), c) dell'art. 31 della L. 5/08/1978, n. 457, senza aumenti di superficie e volume, salvo gli adeguamenti necessari per il rispetto delle norme di legge;
- le azioni volte a mitigare la vulnerabilità degli edifici e degli impianti esistenti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità con riferimento alle caratteristiche del fenomeno atteso. Le sole opere consentite sono quelle rivolte al consolidamento statico dell'edificio o alla protezione dello stesso;
- gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria relativi alle reti infrastrutturali;
- gli interventi volti alla tutela e alla salvaguardia degli edifici e dei manufatti vincolati ai sensi del D.Lgs. 29/10/1999 n. 490 e successive modifiche e integrazioni, nonché di quelli di valore storico-culturale così classificati in strumenti di pianificazione urbanistica e territoriale vigenti;



- gli interventi per la mitigazione del rischio idrogeologico e idraulico presente e per il monitoraggio dei fenomeni;
 - la ristrutturazione e la realizzazione di infrastrutture lineari e a rete riferite a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili, previo studio di compatibilità dell'intervento con lo stato di dissesto esistente validato dall'Autorità competente. Gli interventi devono comunque garantire la sicurezza dell'esercizio delle funzioni per cui sono destinati, tenuto conto dello stato di dissesto in essere.
 - Per gli edifici ricadenti nella ZONA 1 già gravemente compromessi nella stabilità strutturale per effetto dei fenomeni di dissesto in atto sono esclusivamente consentiti gli interventi di demolizione senza ricostruzione e quelli temporanei volti alla tutela della pubblica incolumità.
- ✚ Nella porzione contrassegnata come ZONA 2 delle aree di cui all'Allegato 4.1 all'Elaborato 2 di Piano sono esclusivamente consentiti, oltre agli interventi di cui ai precedenti commi:
- gli interventi di ristrutturazione edilizia, così come definiti alla lettera d) dell'art. 31 della L. 5/08/1978, n. 457;
 - gli interventi di ampliamento degli edifici esistenti unicamente per motivate necessità di adeguamento igienico-funzionale, ove necessario, per il rispetto della legislazione in vigore anche in materia di sicurezza del lavoro connessi ad esigenze delle attività e degli usi in atto;
 - la realizzazione di nuove attrezzature e infrastrutture rurali compatibili con le condizioni di dissesto presente; sono comunque escluse le nuove residenze rurali;
 - gli interventi di adeguamento e ristrutturazione delle reti infrastrutturali.



7 CARTA SINTESI (TAV. 6)

La Carta di Sintesi individua una serie di poligoni ognuno dei quali definisce una porzione di territorio caratterizzata da pericolosità omogenea per la presenza di uno o più fenomeni di rischio in atto o potenziale, o da vulnerabilità idrogeologica.

La sovrapposizione di più ambiti genera poligoni misti per pericolosità determinata da più fattori.

7.1 Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti

ac: aree interessate da fenomeni carsici; doline di dimensioni metriche ricoperte da suoli rossastri su pendii blandi. Solchi carsici caratterizzano le superfici degli affioramenti rocciosi.

Lungo la scarpata del terrazzo di Casnigo sono presenti cavità di dimensioni metriche nei depositi conglomeratici dovute a dissoluzione del cemento carbonatico.

cr1: aree soggette a crolli di massi; sono aree caratterizzate da fenomeni di distacco di blocchi di roccia o di conglomerato da pareti rocciose fratturate o da pendii acclivi. Tra le numerose situazioni osservate nel corso dei rilievi si ricordano quelle in località Bot, la scarpata in conglomerato che delimita il terrazzo fluvio-glaciale su cui sorge il nucleo abitato di Casnigo (per la presenza di pareti aggettanti), i versanti in sponda orografica sinistra del torrente Romna, i versanti del Ponte del Costone ed il pendio nord-occidentale del Monte Beio.

cr2: aree soggette al prevalente transito ed accumulo di massi ma dalle quali si possono avere distacchi secondari di blocchi; costituiscono le rotture di pendenze ai piedi degli affioramenti dove si arrestano la maggior parte dei massi rocciosi.

cr3 aree a pericolosità potenziale per transito ed accumulo di massi per stimata area di influenza; sono le aree pianeggianti e spesso urbanizzate poste ai piedi dei pendii dove si verificano fenomeni di distacco.

fa: aree di frana attiva; scivolamenti della copertura detritica superficiale.

fq: aree di frana quiescente: scivolamenti della copertura detritica superficiale potenzialmente riattivabili.



Particolarmente esposta a questo rischio è la parte meridionale della Valle Morino, nel punto dove il torrente incide i depositi della Formazione di Leffe. Oltre ad evidenti fenomeni di soliflusso sono riconoscibili nicchie e accumuli di piccole frane apparentemente stabili. Il dissesto è dovuto alle caratteristiche geotecniche scadenti dei terreni e alle numerose emergenze idriche lungo il piede della scarpata del Terrazzo di Casnigo nonché all'elevata acclività di alcuni tratti di pendio.

- fs:** aree di frana stabilizzata; è un esteso smottamento che ha coinvolto i depositi del bacino di Leffe nell'area del Centro Sportivo Radici, in prossimità del contatto stratigrafico con l'Unità di Casnigo. Importanti interventi di sistemazione hanno stabilizzato il corpo della frana. Tale episodio ha rivestito una particolare importanza nello studio del bacino di Leffe in quanto lo scollamento della copertura superficiale ha permesso di descrivere dettagliatamente la parte superiore della serie lacustre e di formulare ipotesi circa l'alimentazione del bacino terziario.
- fr:** aree a franosità superficiale e soliflusso diffuso; coinvolgono la copertura eluvio-colluviale su versanti medio acclivi. Non sono associabili a una particolare unità geologica ma diffusi su tutto il territorio.
- sl:** aree a pericolosità potenziale legata alla possibilità di innesco di scivolamenti di coperture detritiche a tessitura mista su pendii da mediamente acclivi ad acclivi.
- ea:** aree in erosione accelerata (calanchi, ruscellamento in depositi superficiali o rocce deboli); sono localizzate nel settore meridionale del territorio comunale dove affiora la formazione delle Argilliti di Riva di Solto.
- tor:** aree di pertinenza torrentizia; sono le fasce perimetrali i corsi d'acqua potenzialmente soggette a dissesto idrogeologico per l'erosione delle acque incanalate.
- ter:** ambito di rispetto dell'orlo di terrazzo di Casnigo legato alla possibilità di scivolamenti della copertura detritica e/o distacchi dell'ammasso conglomeratico.



7.2 Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico:

- dt:** aree potenzialmente interessate da flussi di detrito; sono le conoidi alluvionali e/o detritico torrentizie formate dai torrenti allo sbocco nel fondovalle.
- dru:** discarica di rifiuti solidi urbani; sono state individuate tre aree utilizzate in passato per stoccare rifiuti solidi urbani:
-  in prossimità dell'incrocio tra via Trieste e via Valle (nei pressi del mappale 1000 della mappa catastale);
 -  in località Mele, in prossimità del Fiume Serio e nelle adiacenze di un capannone artigianale;
 -  in prossimità del Fiume, presso il vecchio inceneritore.
- di:** discarica di inerti: comprende una fascia di terreno che, dall'incrocio tra via Trieste e via Valle, individua la "paleovalle" Bronesca.

7.3 Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico:

- in1:** area frequentemente inondabile compreso l'alveo attivo e le fasce immediatamente circostanti il Fiume Serio.
- in2:** area con moderato rischio di inondazione con allagabilità e ristagno delle acque controllata da manufatti.
- fl:** aree di pertinenza dei corsi d'acqua minori da mantenere a disposizione per consentire l'accessibilità per gli interventi di manutenzione e la realizzazione di interventi di difesa.

7.4 Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche:

- ri:** aree con possibili fenomeni di ristagno delle acque; sono le aree ove affiorano i depositi lacustri della Formazione di Lefte. L'acqua proviene dalle numerose emergenze localizzate al piede dei depositi conglomeratici che formano la scarpata del Terrazzo di Casnigo.
- gt1:** aree prevalentemente limoso-argillose con limitata capacità portante; sono formate dai depositi del bacino lacustre di Lefte, nella zona del Centro Sportivo Radici e lungo il margine occidentale del Terrazzo di Casnigo dove riempiono



una paleovalle profondamente incisa con il fondo posto al di sotto dei depositi dell'alveo del Fiume Serio.

gt2: aree prevalentemente limoso-sabbiose con bassa-discreta capacità portante. Il Terrazzo di Casnigo è formato da un pedocomplesso con spessori fino a 10 metri di loess pedogenizzati ricoprente un vetusuolo in ghiaie profondamente alterate.

gt3: aree con consistenti disomogeneità tessiturali verticali e laterali, antropiche e naturali. Comprendono quella porzione del Terrazzo di Casnigo posta sopra le gallerie utilizzate per l'estrazione della torba. Lo sviluppo sotterraneo delle cavità è difficilmente ricostruibile dal momento che le informazioni sono molto frammentarie. In generale i cunicoli hanno direzione SE-NW a partire da Villa Giuseppina fino alla Cascina Somnes.

Disomogeneità sono anche quelle dovute all'attività carsica e alla variabilità tessiturale dei sedimenti alluvionali terrazzati del Fiume Serio, dei Torrenti Romna e Re e dei depositi di conoide.

ar: aree con riporti di materiale; sono accumuli di materiale riportato.



8 CARTA DI FATTIBILITÀ DELLE AZIONI DI PIANO (TAV. 7)

8.1 Classi di fattibilità geologica

I dati raccolti ed elaborati nei capitoli precedenti consentono, mediante l'analisi dei vari elementi che caratterizzano l'area in esame, di suddividere il territorio in settori a maggiore o minore vocazione urbanistica. Si tratta di una classificazione della pericolosità che fornisce indicazioni generali sulle destinazioni d'uso, sulle cautele generali da adottare per gli interventi, sugli studi e le indagini necessarie in caso di intervento e sulle opere di riduzione degli eventuali rischi territoriali, ciò al di là di ogni considerazione di carattere economico e amministrativo, ma esclusivamente in funzione dei diversi parametri naturali che caratterizzano il territorio.

È opportuno ricordare che i cambiamenti di destinazione d'uso di una qualsiasi parte del territorio devono derivare dalla lettura incrociata della carta della fattibilità e della carta dei vincoli dove sono rappresentate le limitazioni derivanti dalla normativa in vigore.

La D.G.R. 8/1566 del 22 dicembre 2005 adotta quattro classi di fattibilità.

Classe 1 (bianca) - Fattibilità senza particolari limitazioni

La classe comprende quelle aree che non presentano particolari limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso e per le quali deve essere direttamente applicato quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le costruzioni, di cui alla normativa nazionale.

Classe 2 (verde) – Fattibilità con modeste limitazioni

La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa. Per gli ambiti assegnati a questa classe devono essere indicati gli eventuali approfondimenti da effettuare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori.



Classe 3 (gialla) – Fattibilità con consistenti limitazioni

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

- se dispone fin da subito di elementi sufficienti, definire puntualmente per le eventuali*
- se dispone fin da subito di elementi sufficienti, definire puntualmente per le eventuali previsioni urbanistiche le opere di mitigazione del rischio da realizzare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori, in funzione della tipologia del fenomeno che ha generato la pericolosità/vulnerabilità del comparto;*
- se non dispone di elementi sufficienti, definire puntualmente i supplementi di indagine relativi alle problematiche da approfondire, la scala e l'ambito di territoriale di riferimento (puntuale, quali caduta massi, o relativo ad ambiti più estesi coinvolti dal medesimo fenomeno quali ad es. conoidi, interi corsi d'acqua ecc.) e la finalità degli stessi al fine di accertare la compatibilità tecnico-economica degli interventi con le situazioni di dissesto in atto o potenziale e individuare di conseguenza le prescrizioni di dettaglio per poter procedere o meno all'edificazione. Si specifica che le indagini e gli approfondimenti prescritti per le classi di fattibilità 2, 3 e 4 (limitatamente ai casi consentiti) devono essere realizzati prima della progettazione degli interventi in quanto propedeutici alla pianificazione dell'intervento e alla progettazione stessa.*

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

Si specifica che gli approfondimenti di cui sopra, non sostituiscono, anche se possono comprendere, le indagini previste dalle Norme Tecniche per le costruzioni, di cui alla normativa nazionale.

Classe 4 (rossa) – Fattibilità con gravi limitazioni

L'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso. Deve essere esclusa qualsiasi nuova



edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti sono consentite esclusivamente le opere relative a interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti dall'art. 27, comma 1, lettere a), b), c) della l.r. 12/05, senza aumento di superficie o volume e senza aumento del carico insediativo. Sono consentite le innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica.

Il professionista deve fornire indicazioni in merito alle opere di sistemazione idrogeologica e, per i nuclei abitati esistenti, quando non é strettamente necessario provvedere al loro trasferimento, dovranno essere predisposti idonei piani di protezione civile ed inoltre deve essere valutata la necessità di predisporre sistemi di monitoraggio geologico che permettano di tenere sotto controllo l'evoluzione dei fenomeni in atto.

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

8.2 La fattibilità geologica nel comune di Casnigo

8.2.1 Classe 2

In questa classe ricadono le zone dove sono state riscontrate modeste limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni.

Sono compresi quei settori pianeggianti del terrazzo morfologico esclusa una fascia centrale dove si ritiene insistano le gallerie utilizzate per l'estrazione della lignite.

Qualsiasi modifica alle destinazioni d'uso di queste aree è subordinata alla realizzazione di un accertamento geognostico sulla base di quanto contenuto nel D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 14 gennaio 2008.



Tale accertamento potrà essere effettuato mediante indagini geognostiche ad hoc, oppure essere basato sulla conoscenza della situazione geologica idrogeologica locale derivante dall'esperienza del tecnico incaricato.

Le richieste di concessione dovranno inoltre contenere un'indicazione quantitativa e qualitativa degli scarichi liquidi prodotti dal fabbricato o dal complesso di cui si richiede la costruzione e un'indicazione progettuale dei sistemi di depurazione corrispondenti e/o dei sistemi adottati per l'eliminazione dei materiali residui e la salvaguardia idrogeologica e dei relativi criteri costruttivi.

8.2.2 Classe 3

In questa classe ricadono le zone dove sono state rilevate consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso.

In relazione alle condizioni di rischio riscontrate sono state individuate quattro sottoclassi.

- 3a

Alla sottoclasse 3a appartengono quelle aree formate da terreni con consistenti disomogeneità tessiturali laterali e verticali, comprese le aree terrazzate del Fiume Serio e del Torrente Romna, la zona del terrazzo di Casnigo attraversata dalle gallerie minerarie nonché gli accumuli di materiale riportato.

L'utilizzo delle aree ricadenti in questa sottoclasse è subordinato alla realizzazione di indagini geognostiche ad hoc (D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 14 gennaio 2008), necessarie per la caratterizzazione puntuale dei parametri meccanici del sottosuolo, nonché della situazione idrogeologica locale.

Si applicano altresì le prescrizioni previste per la classe 2 per la salvaguardia delle acque sotterranee.

- 3b

La sottoclasse 3b individua quelle zone terrazzate del Fiume Serio e dei Torrenti Romna e Re esposte a un moderato rischio di inondazione.

L'utilizzo delle aree ricadenti in questa sottoclasse è subordinato alla realizzazione di indagini geognostiche ad hoc (D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 14 gennaio



2008), necessarie per la caratterizzazione puntuale dei parametri meccanici del sottosuolo, nonché della situazione idrogeologica locale compresa l'analisi del rischio di allagamento al fine di poter predisporre opportuni accorgimenti mitigatori in fase progettuale.

Si applicano altresì le prescrizioni previste per le aree di dissesto P.A.I. agli ambiti che ricadono in tali perimetrazioni (parag. 6.1).

- 3c

La sottoclasse 3c comprende i versanti e/o parti di pendio acclivi formati da coperture detritiche con tessitura mista.

L'utilizzo delle aree ricadenti in questa sottoclasse è subordinato alla realizzazione di indagini geognostiche ad hoc (D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 14 gennaio 2008), necessarie per la caratterizzazione puntuale dei parametri meccanici del sottosuolo, nonché della situazione idrogeologica locale e di un intorno significativo, al fine di procedere all'analisi di stabilità del complesso pendio opera.

Si applicano altresì le prescrizioni previste per le aree di dissesto P.A.I. agli ambiti che ricadono in tali perimetrazioni (parag. 6.1).

- 3d

La sottoclasse 3d comprende quei versanti e/o parti di pendio mediamente acclivi con modesta o assente copertura detritica e quelle adiacenti la scarpata del terrazzo di Casnigo.

L'utilizzo delle aree ricadenti in questa sottoclasse è subordinato alla realizzazione di indagini geognostiche ad hoc (D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 14 gennaio 2008), necessarie per la caratterizzazione puntuale dei parametri meccanici del sottosuolo, compresi quelli dell'ammasso roccioso, nonché della situazione idrogeologica locale e di un intorno significativo, al fine di procedere all'analisi di stabilità del complesso pendio opera.

Si applicano altresì le prescrizioni previste per le aree di dissesto P.A.I. agli ambiti che ricadono in tali perimetrazioni (parag. 6.1).



- 3e

La sottoclasse 3e individua quelle fasce terrazzate adiacenti il Fiume Serio esposte ad un moderato pericolo di inondazione e ad un potenziale pericolo di caduta massi.

L'utilizzo delle aree ricadenti in questa sottoclasse è subordinato alla realizzazione di indagini geognostiche ad hoc (D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 14 gennaio 2008), necessarie per la caratterizzazione puntuale dei parametri meccanici del sottosuolo, nonché della situazione idrogeologica locale compresa l'analisi della caduta massi e del rischio di allagamento al fine di poter predisporre opportuni accorgimenti mitigatori in fase progettuale.

Si applicano altresì le prescrizioni previste per le aree di dissesto P.A.I. agli ambiti che ricadono in tali perimetrazioni (parag. 6.1).

8.2.3 Classe 4

Nella classe 4 l'alta pericolosità e/o vulnerabilità comporta gravi limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso. Dovrà essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti saranno consentite esclusivamente le opere relative a interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti dall'art. 27, comma 1, lettere a), b) e c) della L.R. 12/05.0

Eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico potranno essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili e dovranno comunque essere puntualmente valutate in funzione della tipologia di dissesto e del grado di rischio che determinano l'ambito di pericolosità/vulnerabilità omogenea. A tal fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale, dovrà essere allegata un'apposita relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di rischio presente.



In relazione al tipo di vincolo e/o pericolo sono state distinte due sottoclassi.

- 4a

La sottoclasse 4a individua le aree di pertinenza torrentizia con accentuato pericolo idrogeologico dovuto all'azione erosiva delle acque incanalate sul piede dei versanti e al conseguente pericolo di franamento delle sponde, le aree soggette a crollo, transito e accumulo di massi e le aree adiacenti ai corsi d'acqua principali che devono restare sgombre da manufatti per consentire l'accessibilità dei mezzi per gli interventi di manutenzione e la realizzazione di eventuali opere di difesa.

Interventi tesi al consolidamento dei versanti e/o alla mitigazione del pericolo esistente potranno consentire una modifica del grado di rischio attuale.

Si applicano altresì le prescrizioni previste per le aree di dissesto P.A.I. agli ambiti che ricadono in tali perimetrazioni (parag. 6.1).

- 4b

In questa sottoclasse sono raggruppate gli accumuli di Rifiuti Solidi Urbani.

Interventi tesi alla bonifica del sito in applicazione del D.Lgs. 152 del 3 aprile 2006 e successive modifiche ed integrazioni che descrive *i criteri, le procedure e le modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati* potranno consentire una modifica del grado di rischio attuale.

Si applicano altresì le prescrizioni previste per le aree di dissesto P.A.I. agli ambiti che ricadono in tali perimetrazioni (parag. 6.1).

- 4c

La sottoclasse 4c comprende le zone che evidenziano la presenza di fenomeni legati al carsismo quali doline, inghiottitoi e solchi carsici.

Oltre alle limitazioni generiche della classe di fattibilità 4, si applicano altresì le prescrizioni previste per le aree di dissesto P.A.I. agli ambiti che ricadono in tali perimetrazioni (parag. 6.1).



8.3 Normativa sismica

Al mosaico della fattibilità sono sovrapposte tre campiture trasparenti che evidenziano le aree in cui sarà necessario applicare il 3° livello di approfondimento sismico in base a quanto stabilito dalla normativa vigente.

Nelle aree in cui coesistono differenti scenari di Pericolosità Sismica Locale dovranno essere approfonditi gli aspetti relativi a ciascun scenario e utilizzati per la progettazione i parametri più restrittivi a favore della sicurezza.

8.3.1 Effetti di instabilità (PSL Z1)

L'analisi di terzo livello prevede la quantificazione dell'instabilità delle zone franose intesa come valutazione degli indici di stabilità in condizioni statiche, pseudostatiche e dinamiche. L'analisi prevede un approccio puntuale, finalizzato alla quantificazione dei singoli movimenti.

Gli approfondimenti devono essere eseguiti secondo le indicazioni riportate nell'allegato 5 della D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008 e riassunti nel paragrafo 5.2.5.1.

8.3.2 Zone con terreni di fondazioni particolarmente scadenti (PSL Z2)

L'analisi di terzo livello prevede la valutazione quantitativa dei cedimenti e dove necessario del potenziale di liquefazione mediante l'esecuzione di accertamenti geognostici e l'impiego di procedure note in letteratura e scelte a discrezione del professionista incaricato.

Il terzo livello di approfondimento dovrà essere applicato rispettando le direttive tecniche regionali riassunte nel paragrafo 5.2.5.2.

Potrà essere evitata l'applicazione del terzo livello di approfondimento sismico utilizzando lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, seguendo il seguente schema:

- ✚ in sostituzione dello spettro per la classe sismica B si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe C; nel caso in cui la soglia non fosse sufficientemente cautelativa si può utilizzare lo spettro previsto per il suolo di classe D;



- ✚ in sostituzione dello spettro per la classe sismica C si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D;
- ✚ in sostituzione dello spettro per la classe sismica E si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D.

8.3.3 Effetti di amplificazione morfologica (PSL Z3)

Gli scenari di pericolosità sismica locale **Z3a**, zona di ciglio, e **Z3b**, zona di cresta rocciosa sono rappresentati nella carta della pericolosità sismica locale da linee. Tali elementi individuano gli ambiti soggetti ad amplificazione topografica. In questi ambiti il *fattore di amplificazione* deve essere calcolato per la quota di cresta o di ciglio e successivamente interpolato linearmente sino alla base del pendio dove assume valore pari all'unità. Possono pertanto essere soggette ad amplificazione topografica anche aree non collocate nelle immediate vicinanze di scarpate e creste.

In fase di progettazione si dovrà pertanto accertare se l'ambito oggetto di studio è potenzialmente soggetto ad amplificazione topografica, in quanto parte, prossima fino a distale, di un ciglio di scarpata o di una cresta rocciosa.

Il secondo livello di approfondimento deve essere applicato solo per edifici strategici rilevanti di nuova previsione.

Il terzo livello di approfondimento dovrà essere applicato rispettando le direttive tecniche regionali riassunte nel paragrafo 5.2.5.3 nei seguenti casi:

- ✚ quando in un intorno significativo all'area di progetto sono presenti aree di cresta o scarpata che ricadono nella casistica prevista dallo scenario e il *Fattore di Amplificazione* calcolato risulti maggiore della soglia S_t , per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione;
- ✚ quando sono previste costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani.

Potrà essere evitata l'applicazione del terzo livello di approfondimento sismico utilizzando lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, seguendo il seguente schema:



- ✚ in sostituzione dello spettro per la classe sismica B si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe C; nel caso in cui la soglia non fosse sufficientemente cautelativa si può utilizzare lo spettro previsto per il suolo di classe D;
- ✚ in sostituzione dello spettro per la classe sismica C si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D;
- ✚ in sostituzione dello spettro per la classe sismica E si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D.

L'approccio quantitativo prevede l'utilizzo di metodologie strumentali o numeriche, a discrezione del professionista incaricato.

Le metodologie strumentali prevedono lo sviluppo di una campagna di acquisizione dati tramite prove specifiche (nell'allegato 5 alla D.G.R. 8/7374 sono indicati a titolo esemplificativo il metodo di Nakamyre (1989) ed il metodo dei rapporti spettrali (Kanai e Tanaka, 1981).

Le metodologie numeriche consistono nella ricostruzione di un modello geometrico e meccanico dell'area di studio e nell'applicazione di codici di calcolo (monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali) per la valutazione della risposta sismica locale.

La scelta del metodo e le modalità di applicazione sono a discrezione del professionista incaricato che valuterà la possibilità di integrare le due metodologie per compensare i vantaggi e gli svantaggi dei differenti approcci.

8.3.4 Effetti di amplificazione litologica (PSL Z4)

Nello scenario Z4 è richiesta l'applicazione del secondo livello di approfondimento nel progetto di edifici strategici e rilevanti che prevedano affollamenti significativi (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03) e l'approfondimento di terzo livello per l'analisi dell'amplificazione litologica, solo quando il *fattore di amplificazione* calcolato è maggiore del valore soglia.

L'analisi di secondo livello condotta nell'ambito di questo studio ha trovato che nelle zone di sovrapposizione degli scenario Z4a e Z2 il *Fa* non è verificato per il periodo di oscillazione compreso tra 0,1 – 0,5 s.



Il terzo livello di approfondimento dovrà essere applicato rispettando le direttive tecniche regionali riassunte nel paragrafo 5.2.5.4. Tali approfondimenti dovranno essere preceduti dalla definizione della classe sismica di appartenenza del suolo (A, B, C, D, E).

Potrà essere evitata l'applicazione del terzo livello di approfondimento sismico utilizzando lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, seguendo il seguente schema:

- ✚ in sostituzione dello spettro per la classe sismica B si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe C; nel caso in cui la soglia non fosse sufficientemente cautelativa si può utilizzare lo spettro previsto per il suolo di classe D;
- ✚ in sostituzione dello spettro per la classe sismica C si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D;
- ✚ in sostituzione dello spettro per la classe sismica E si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D.



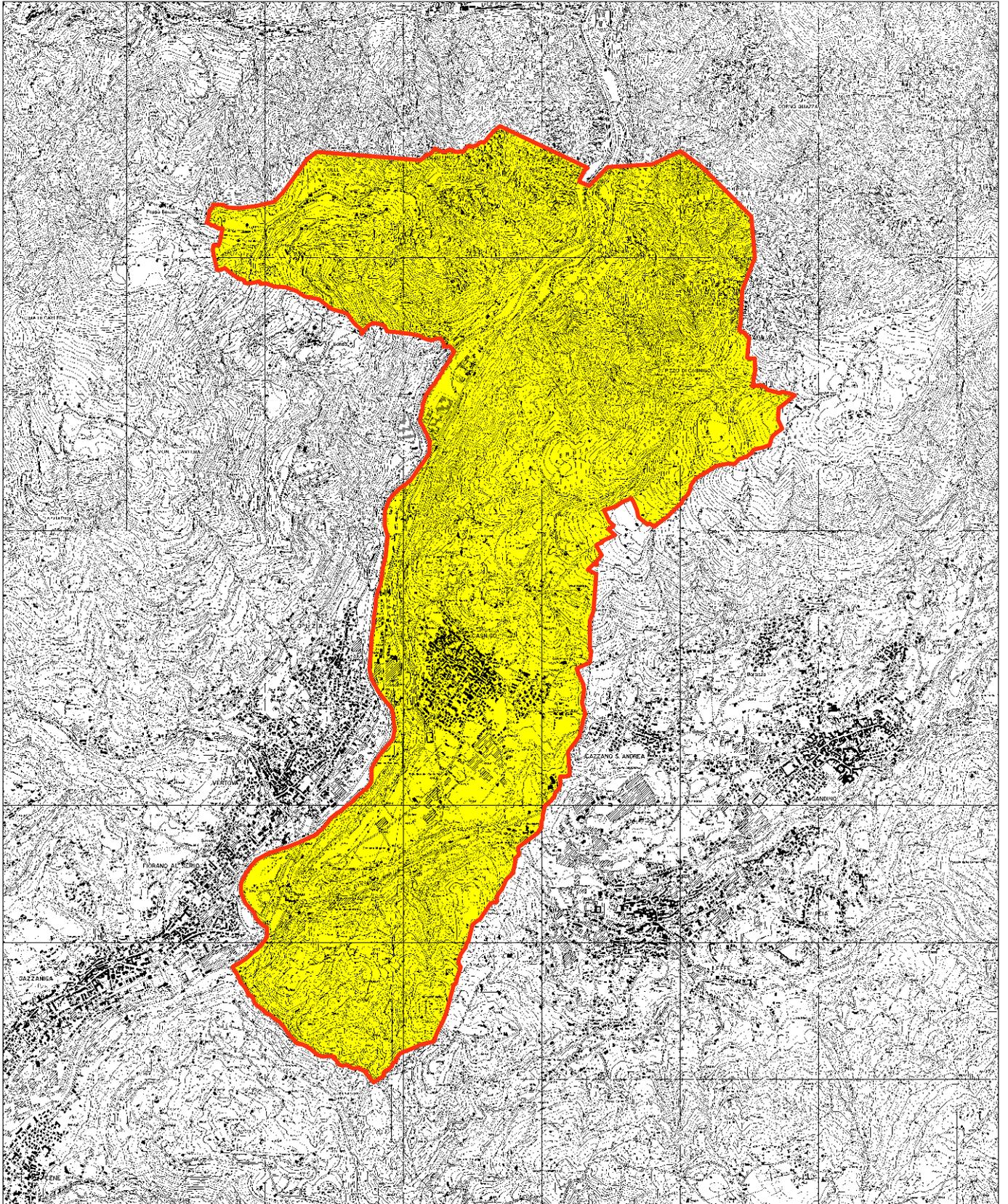
Massimo Elitropi



Renato Caldarelli

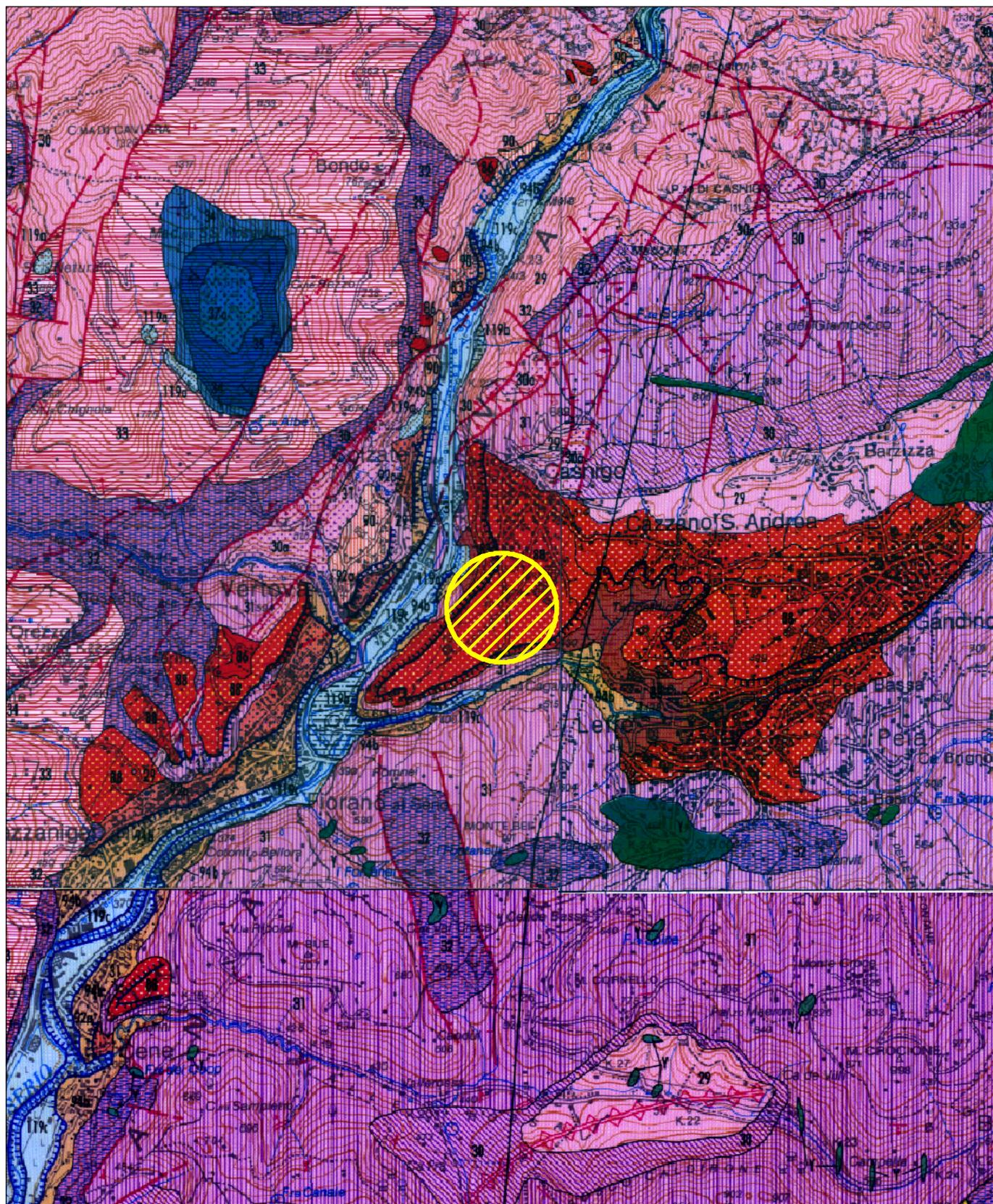
ALLEGATI

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO (SCALA 1:20.000)



Sezione CTR - C4d4, C4d5

STRALCIO DELLA CARTA GEOLOGICA DELLA PROVINCIA
DI BERGAMO (SCALA 1:40.000)



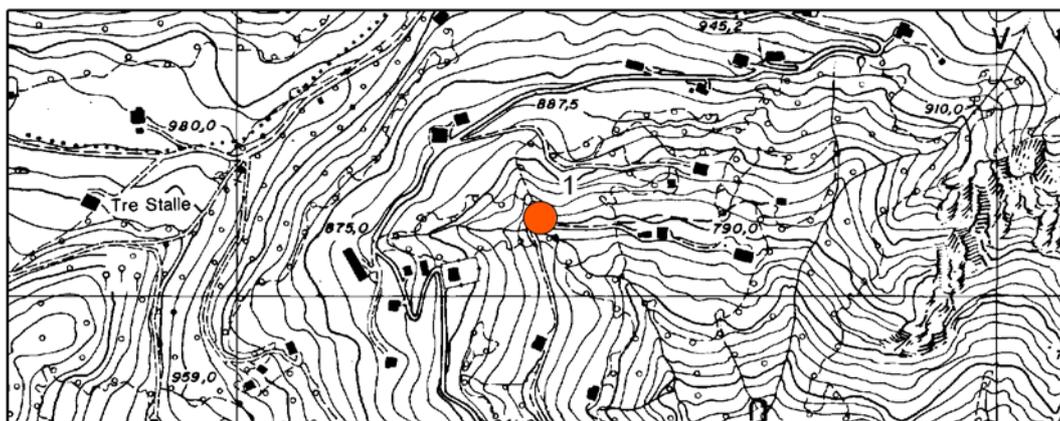
SCHEDE SORGENTI

SCHEDA PER IL CENSIMENTO DELLE SORGENTI

1 - DATI IDENTIFICATIVI

| | | |
|--|----------------------|-----------------------|
| n° di riferimento e denominazione (1) | 1 | |
| Località | Bondo | |
| Comune | Casnigo | |
| Provincia | BG | |
| Sezione CTR | C4D5 | |
| Coordinate chilometriche italiane (da CTR) | Latitudine 1.566.397 | Longitudine 5.077.105 |
| Quota (m da p.c.) | | |

UBICAZIONE SORGENTE (STRALCIO CTR)



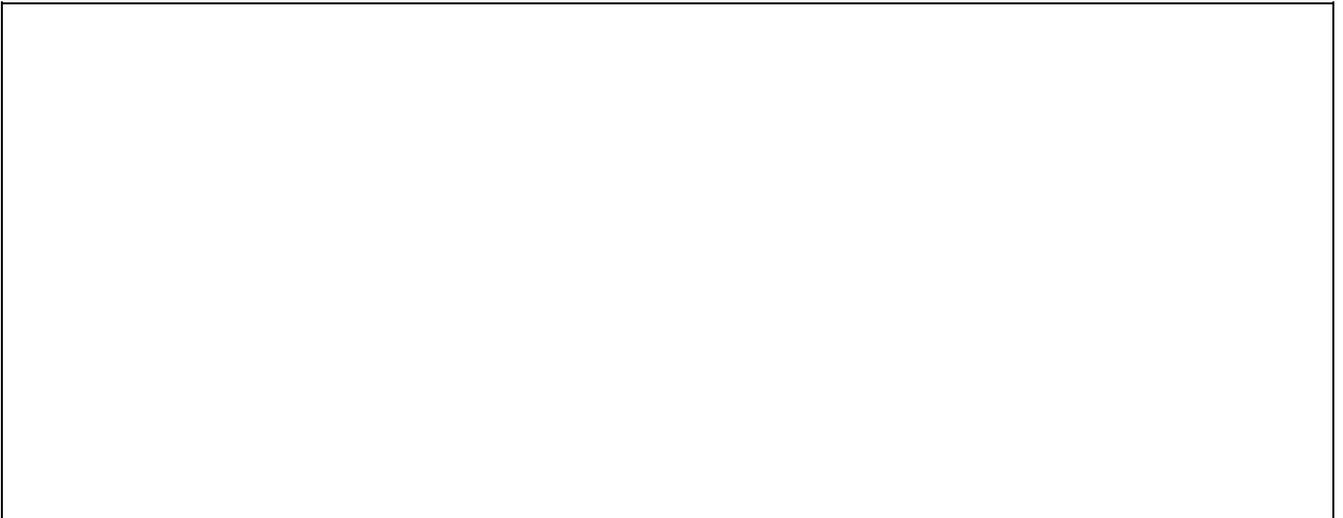
2 - DATI FISICI CARATTERISTICI DELLA SORGENTE

| | |
|-----------------------|----------------------------------|
| Tipo di emergenza | Carsica – contatto stratigrafico |
| Localizzata | X |
| Diffusa | |
| Fronte sorgivo | |
| Regime | |
| Perenne | |
| Secca stagionalmente | |
| Secca eccezionalmente | |
| Stato | |
| Captata | X |
| Non captata | |

3 - DATI CARATTERISTICI DELL'OPERA DI PRESA

| | |
|---------------------------|---------------------------------|
| Tipologia di utilizzo (2) | Idropotabile |
| Portata utilizzata mc/a | 6/7 l/s |
| Utilizzatore | Acquedotto di Casnigo e Colzate |

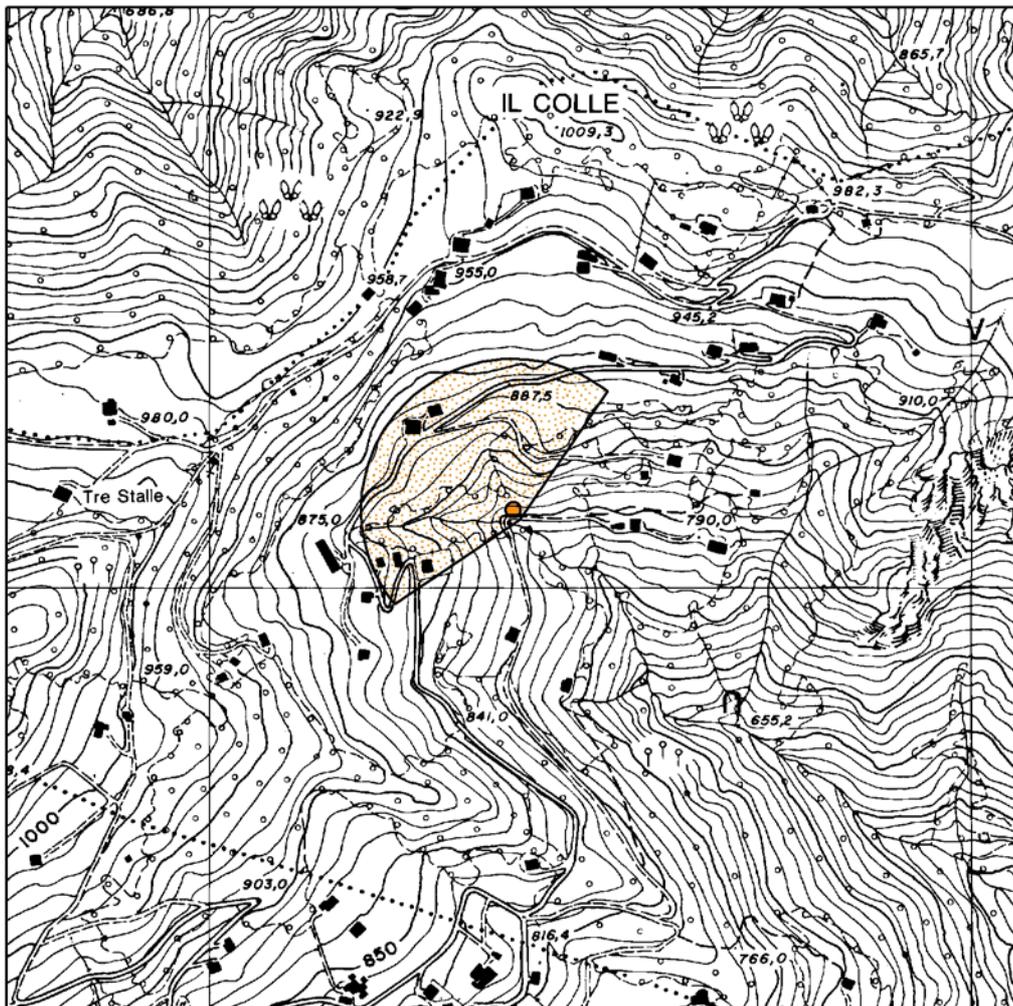
5 - DATI CHIMICO-FISICI (3)



6 – PERIMETRAZIONE DELLE AREE DI SALVAGUARDIA (4)

CRITERI DI PERIMETRAZIONE (AREA DI RISPETTO)

| | | |
|------------|---|---------------|
| geometrico | X | idrogeologico |
|------------|---|---------------|



SCHEDA PER IL CENSIMENTO DELLE SORGENTI

1 - DATI IDENTIFICATIVI

| | | |
|--|-----------|---|
| n° di riferimento e denominazione (1) | 2-3-4-5-6 | |
| Località | Costone | |
| Comune | Casnigo | |
| Provincia | BG | |
| Sezione CTR | C4D4 | |
| Coordinate chilometriche italiane (da CTR) | 2 | Latitudine 1.568.389 Longitudine 5.077.405 |
| Coordinate chilometriche italiane (da CTR) | 3 | Latitudine 1.568.393 Longitudine 5.077.386 |
| Coordinate chilometriche italiane (da CTR) | 4 | Latitudine 1.568.356 Longitudine 5.077.322 |
| Coordinate chilometriche italiane (da CTR) | 5 | Latitudine 1.568.415 Longitudine 5.077.279 |
| Coordinate chilometriche italiane (da CTR) | 6 | Latitudine 1.568.105 Longitudine 5.077.050 |
| Quota (m da p.c.) | | |

UBICAZIONE SORGENTE (STRALCIO CTR)



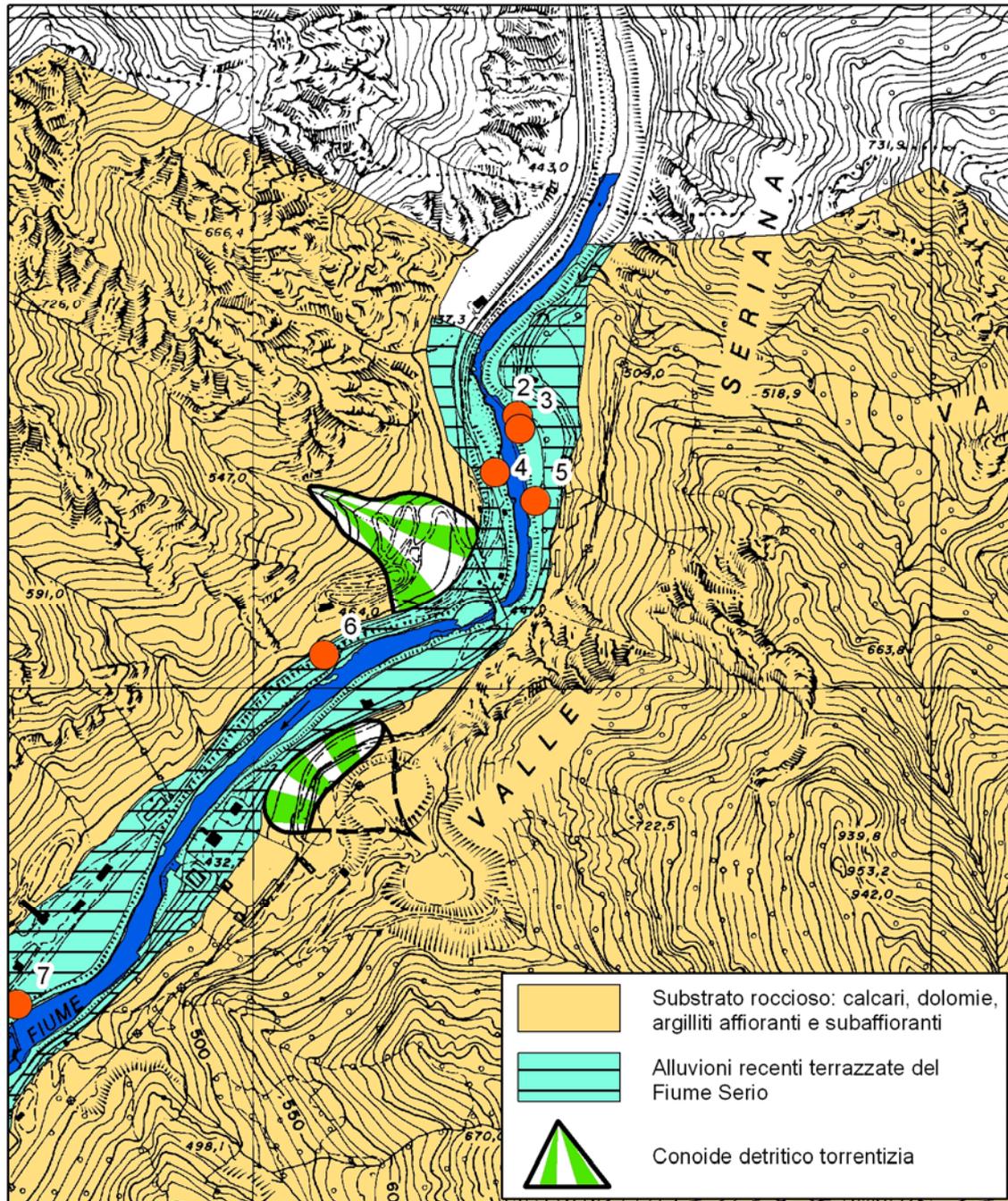
2 - DATI FISICI CARATTERISTICI DELLA SORGENTE

| | |
|-----------------------|------------------|
| Tipo di emergenza | Contatto-Carsica |
| Localizzata | |
| Diffusa | X |
| Fronte sorgivo | X |
| Regime | |
| Perenne | X |
| Secca stagionalmente | |
| Secca eccezionalmente | |
| Stato | |
| Captata | X |
| Non captata | |

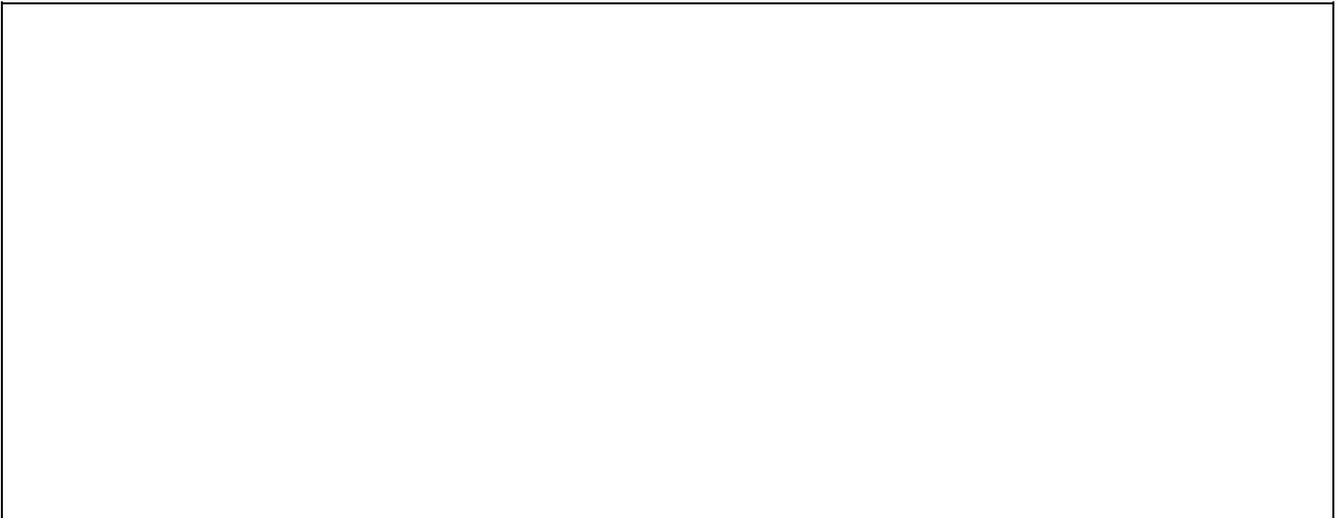
3 - DATI CARATTERISTICI DELL'OPERA DI PRESA

| | |
|---------------------------|--------------|
| Tipologia di utilizzo (2) | Idropotabile |
| Portata utilizzata mc/a | 300 l/s |
| Utilizzatore | B.A.S. |

4 – QUADRO GEOLOGICO



5 - DATI CHIMICO-FISICI (3)



6 – PERIMETRAZIONE DELLE AREE DI SALVAGUARDIA (4)

| CRITERI DI PERIMETRAZIONE (AREA DI RISPETTO) | | | |
|--|---|---------------|--|
| geometrico | X | idrogeologico | |

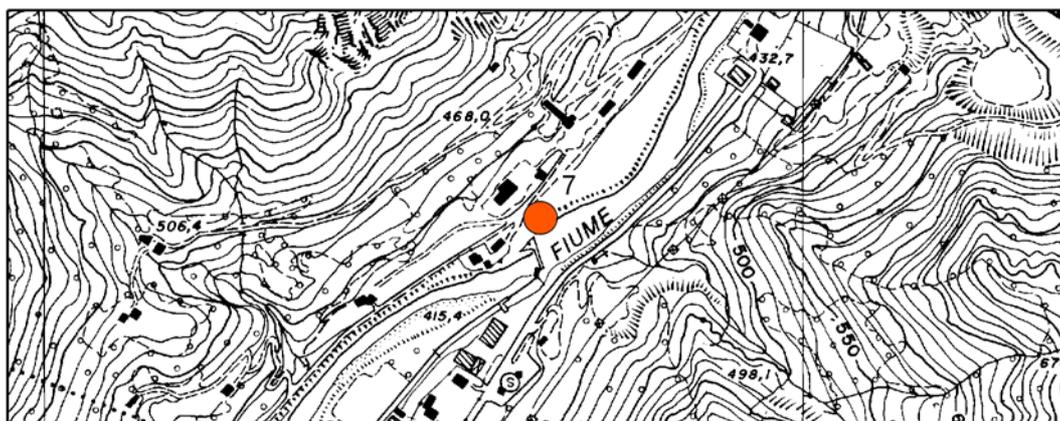


SCHEDA PER IL CENSIMENTO DELLE SORGENTI

1 - DATI IDENTIFICATIVI

| | |
|--|---|
| n° di riferimento e denominazione (1) | 7 |
| Località | Mele |
| Comune | Casnigo |
| Provincia | BG |
| Sezione CTR | C4D4 |
| Coordinate chilometriche italiane (da CTR) | Latitudine 1.567.653 Longitudine 5.076.531 |
| Quota (m da p.c.) | |

UBICAZIONE SORGENTE (STRALCIO CTR)



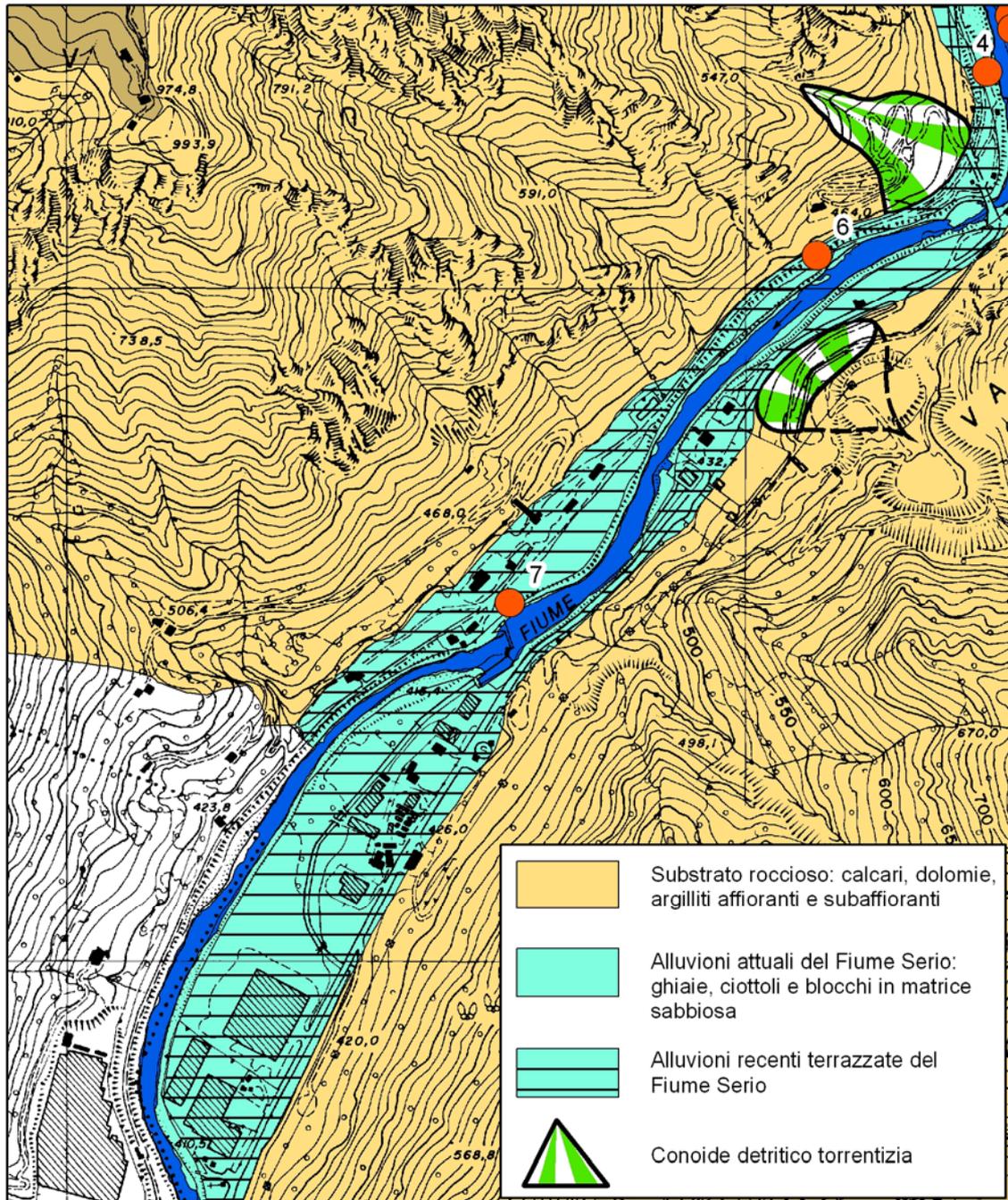
2 - DATI FISICI CARATTERISTICI DELLA SORGENTE

| | |
|-----------------------|----------|
| Tipo di emergenza | Contatto |
| Localizzata | X |
| Diffusa | |
| Fronte sorgivo | |
| Regime | |
| Perenne | |
| Secca stagionalmente | |
| Secca eccezionalmente | |
| Stato | |
| Captata | X |
| Non captata | |

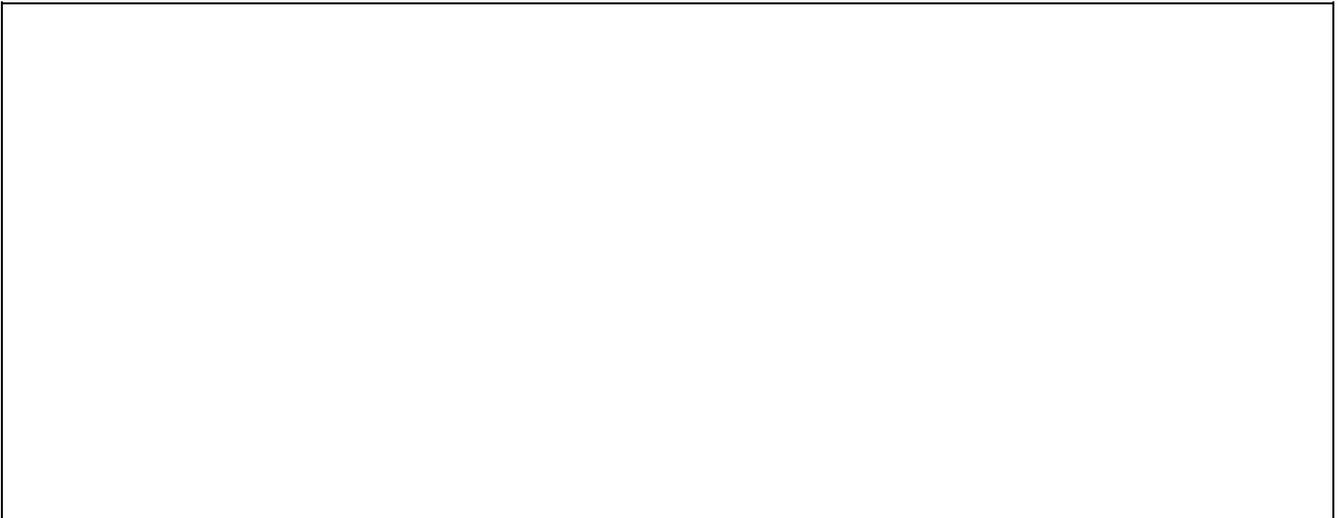
3 - DATI CARATTERISTICI DELL'OPERA DI PRESA

| | |
|---------------------------|--------------|
| Tipologia di utilizzo (2) | Idropotabile |
| Portata utilizzata mc/a | |
| Utilizzatore | |

4 – QUADRO GEOLOGICO



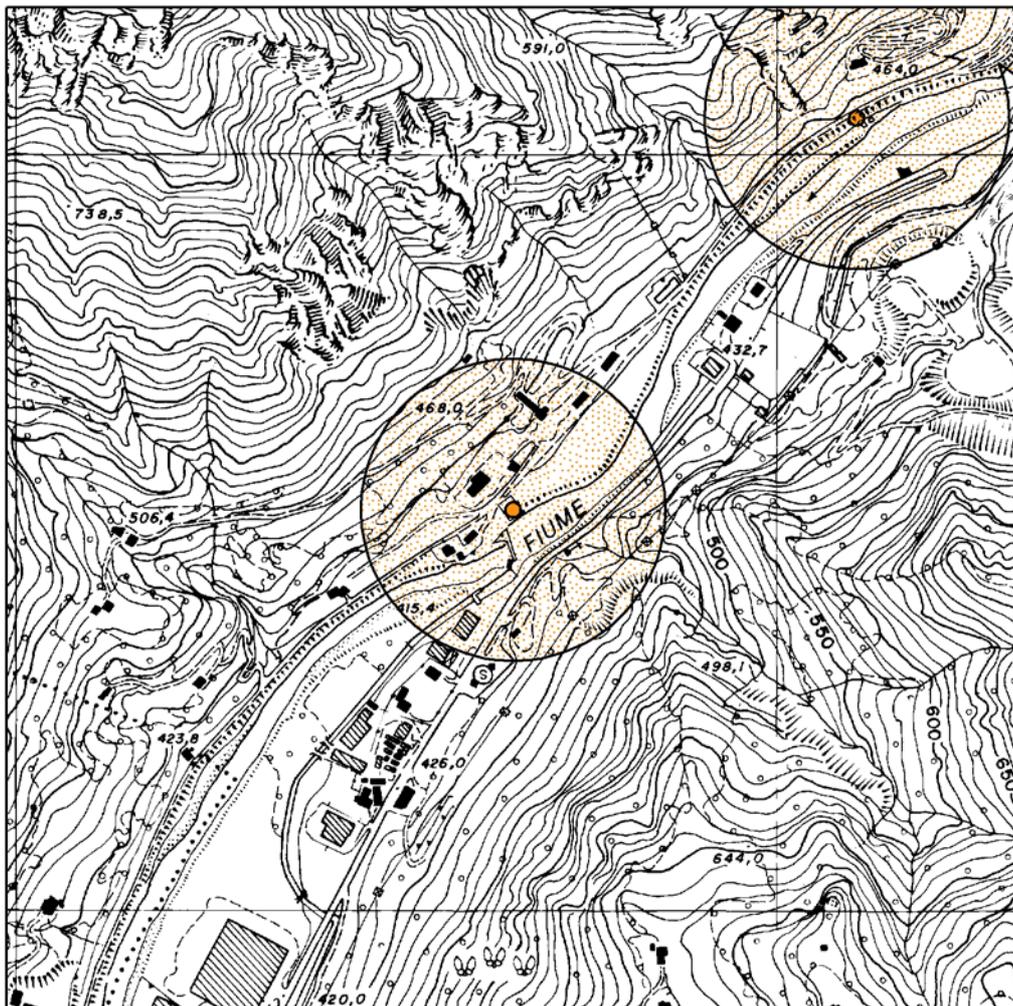
5 - DATI CHIMICO-FISICI (3)



6 – PERIMETRAZIONE DELLE AREE DI SALVAGUARDIA (4)

CRITERI DI PERIMETRAZIONE (AREA DI RISPETTO)

| | | |
|------------|---|---------------|
| geometrico | X | idrogeologico |
|------------|---|---------------|



SCHEDA PER IL CENSIMENTO DELLE SORGENTI

1 - DATI IDENTIFICATIVI

| | | |
|--|----------------------|-----------------------|
| n° di riferimento e denominazione (1) | 8 | |
| Località | Dragone | |
| Comune | Casnigo | |
| Provincia | BG | |
| Sezione CTR | C4D5 | |
| Coordinate chilometriche italiane (da CTR) | Latitudine 1.566.910 | Longitudine 5.074.187 |
| Quota (m da p.c.) | | |

UBICAZIONE SORGENTE (STRALCIO CTR)



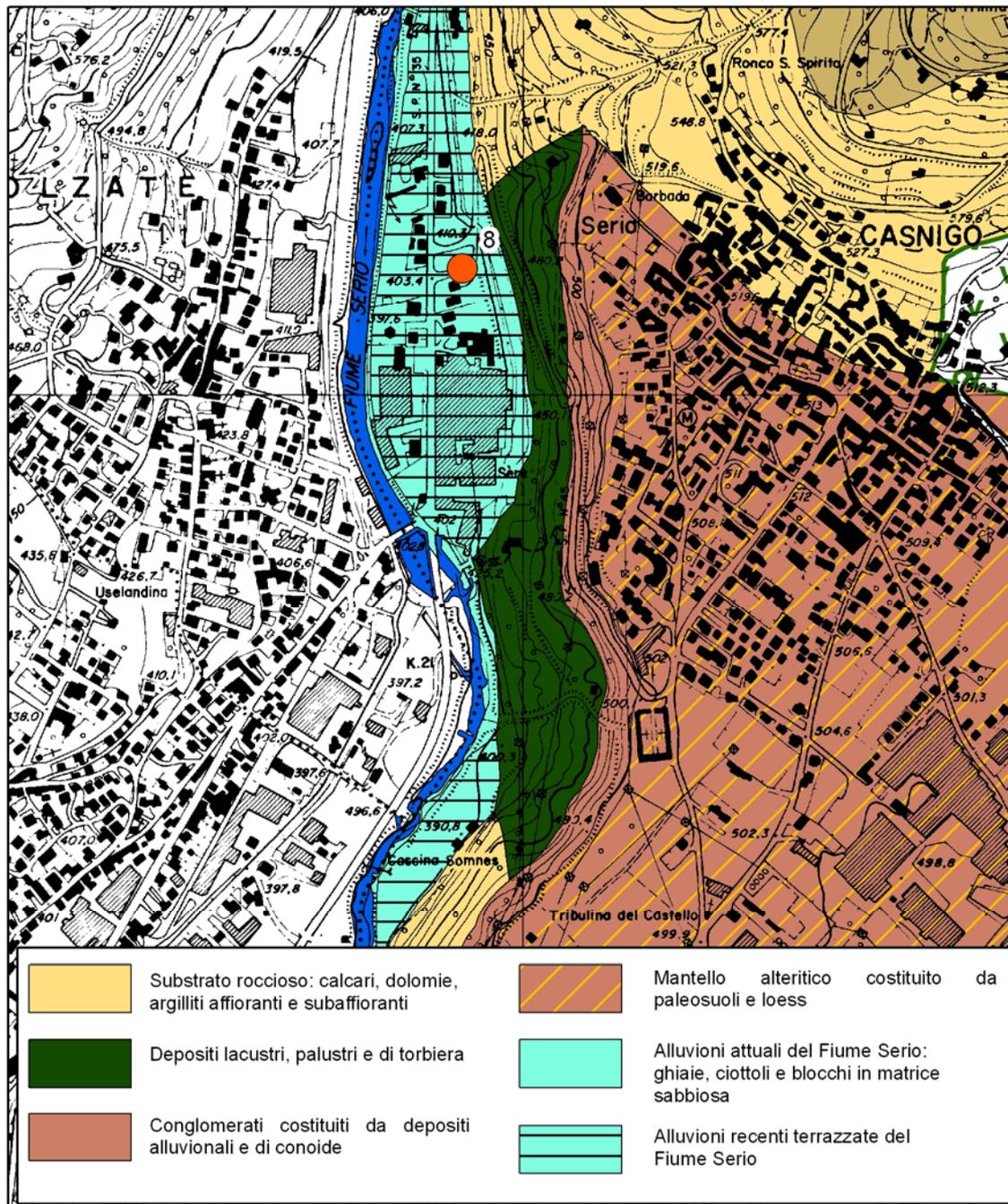
2 - DATI FISICI CARATTERISTICI DELLA SORGENTE

| | |
|-----------------------|---------|
| Tipo di emergenza | Carsica |
| Localizzata | X |
| Diffusa | |
| Fronte sorgivo | |
| Regime | |
| Perenne | |
| Secca stagionalmente | |
| Secca eccezionalmente | |
| Stato | |
| Captata | X |
| Non captata | |

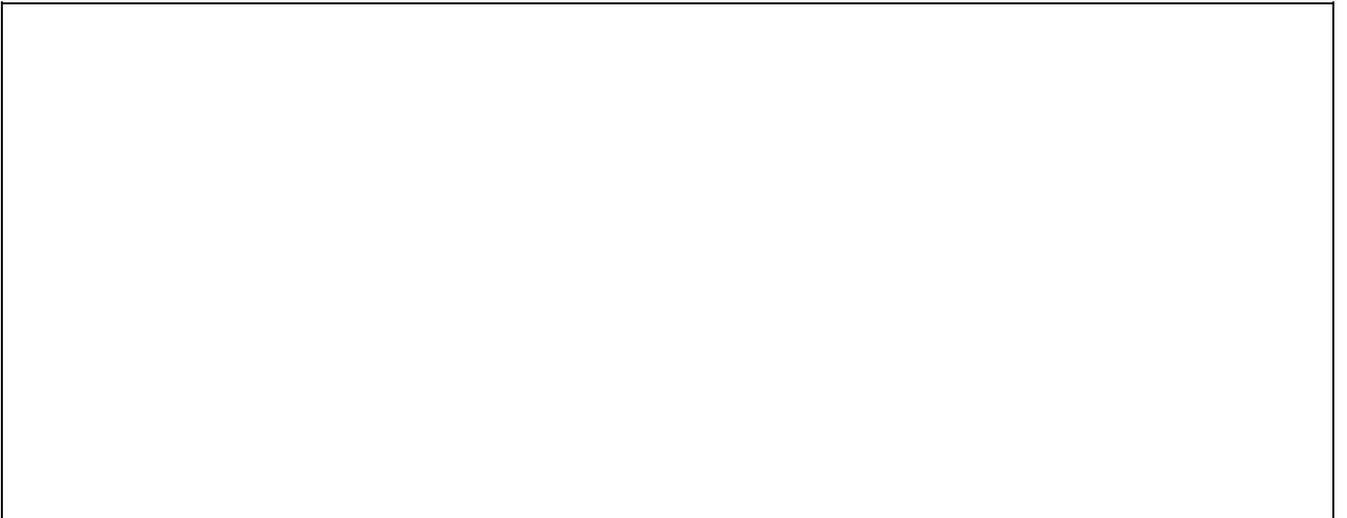
3 - DATI CARATTERISTICI DELL'OPERA DI PRESA

| | |
|---------------------------|--------------|
| Tipologia di utilizzo (2) | Idropotabile |
| Portata utilizzata mc/a | 40 l/s |
| Utilizzatore | |

4 – QUADRO GEOLOGICO



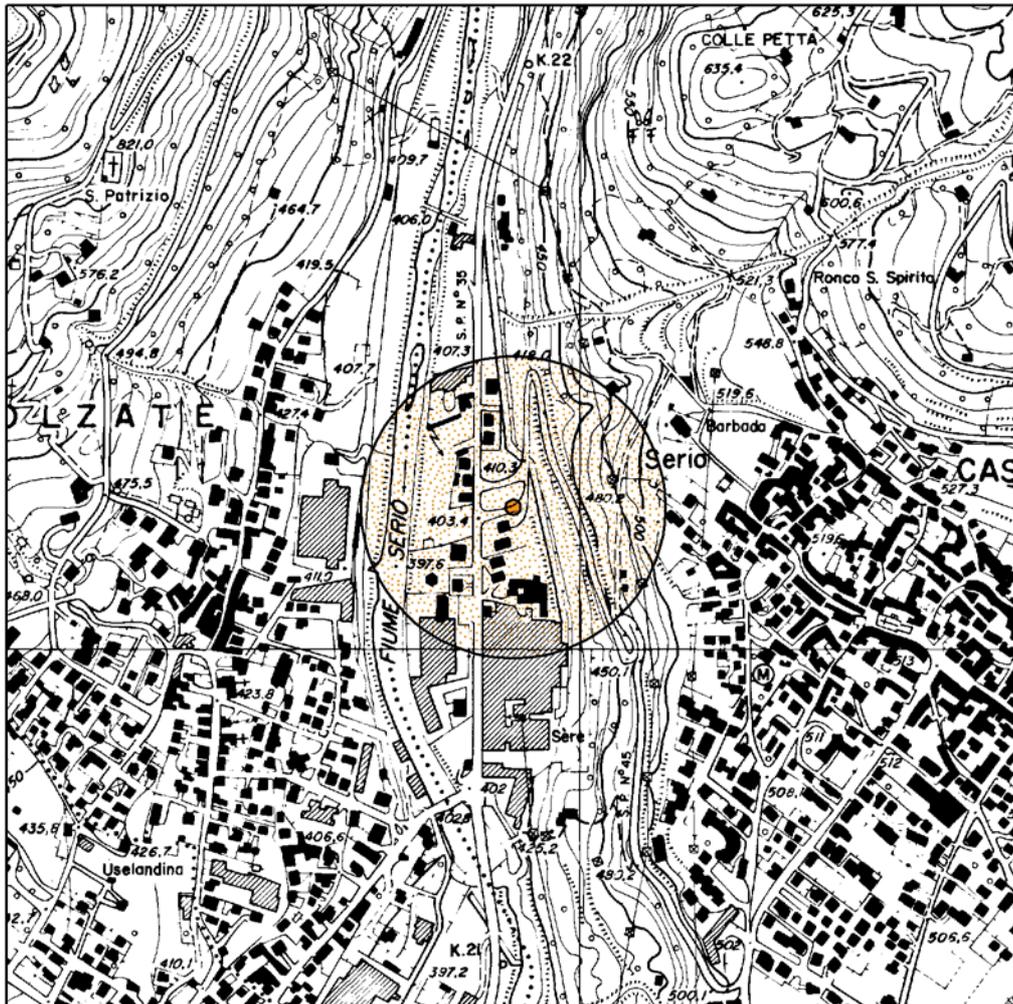
5 - DATI CHIMICO-FISICI (3)



6 – PERIMETRAZIONE DELLE AREE DI SALVAGUARDIA (4)

CRITERI DI PERIMETRAZIONE (AREA DI RISPETTO)

| | | | |
|------------|---|---------------|--|
| geometrico | X | idrogeologico | |
|------------|---|---------------|--|



PROVE GEOSISMICHE (MASW)

SITO 1 (energizzazione 5m)

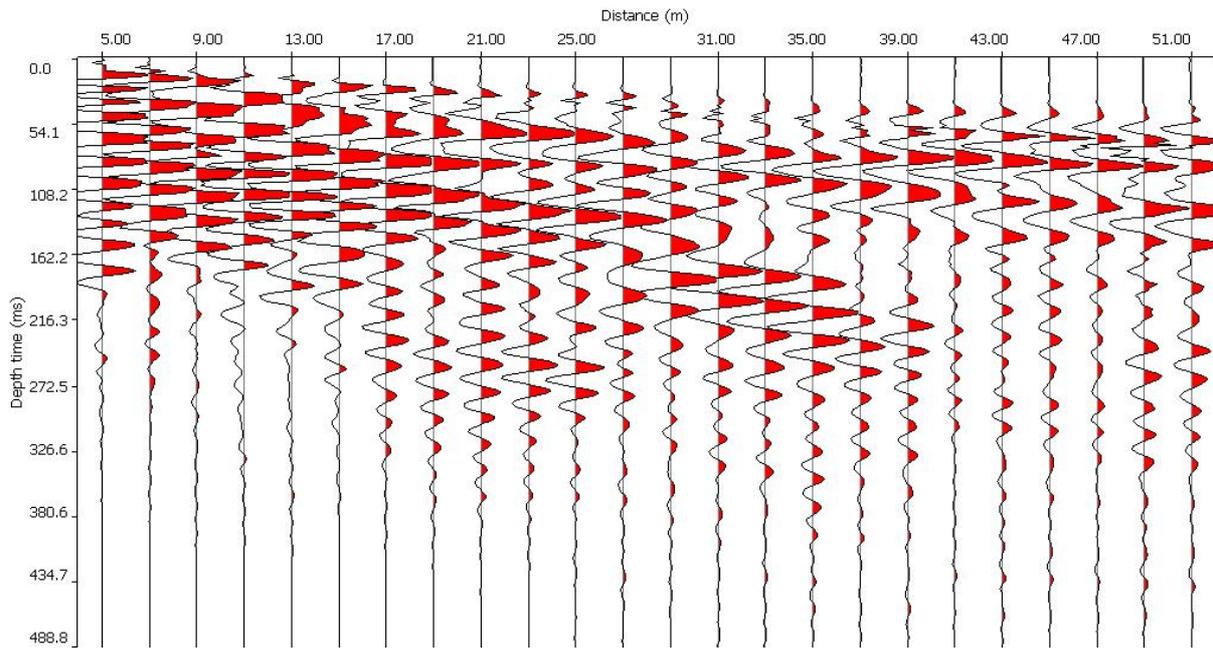


Fig. 1: Sismogramma medio

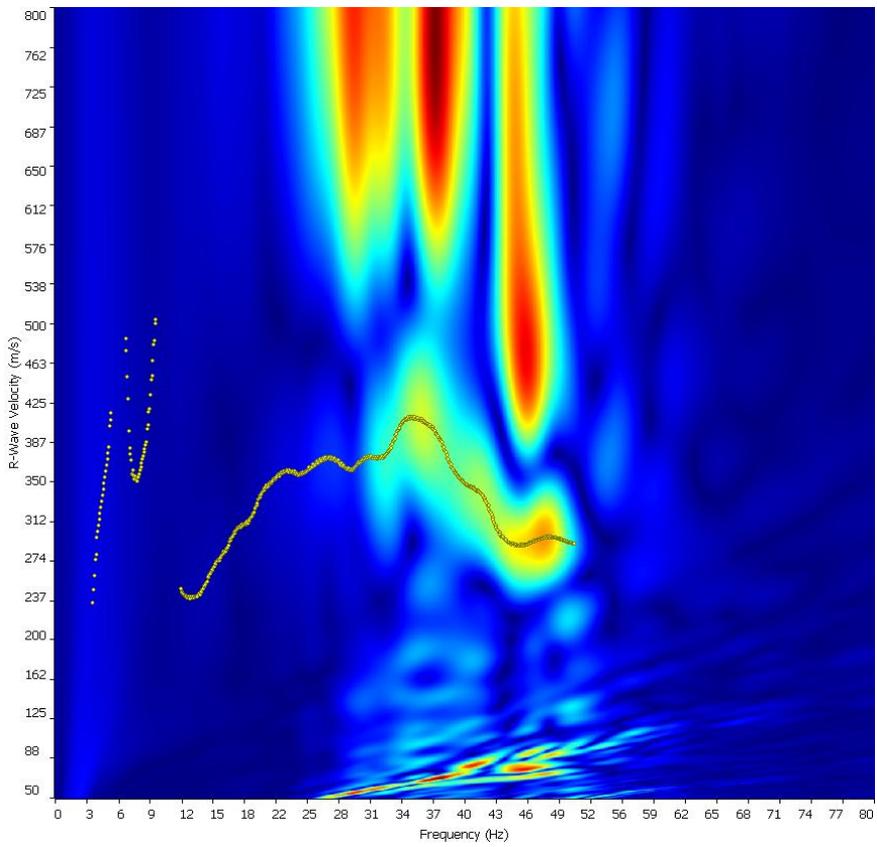


Fig. 2: Spettro Frequenza-velocità

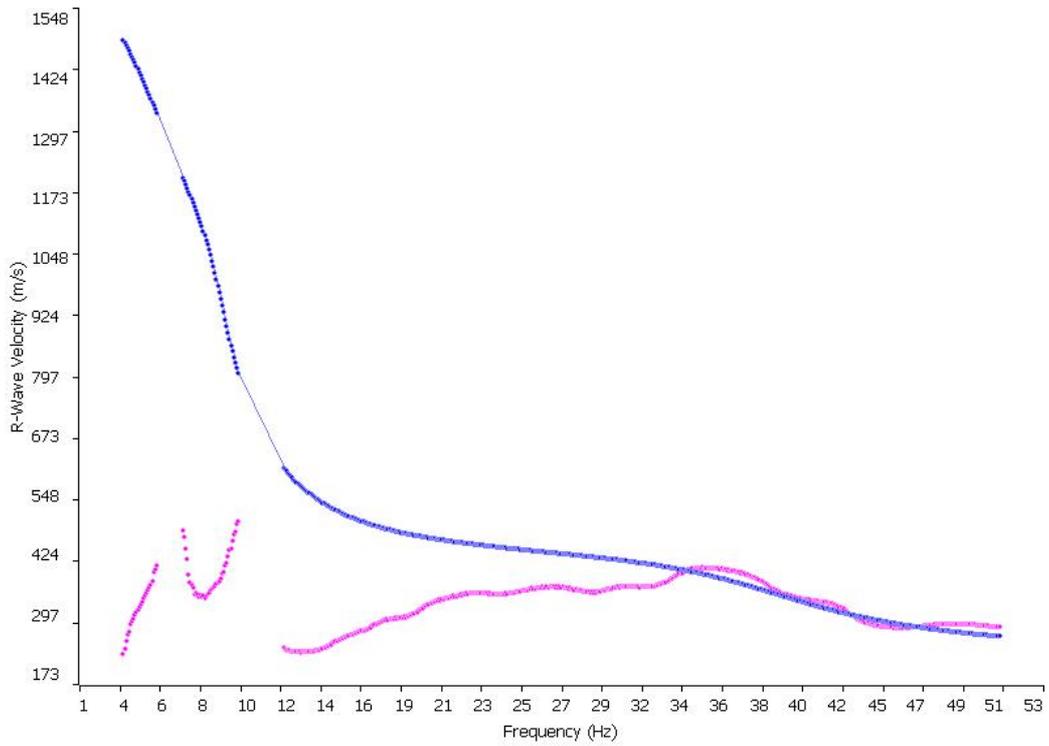


Fig. 3: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

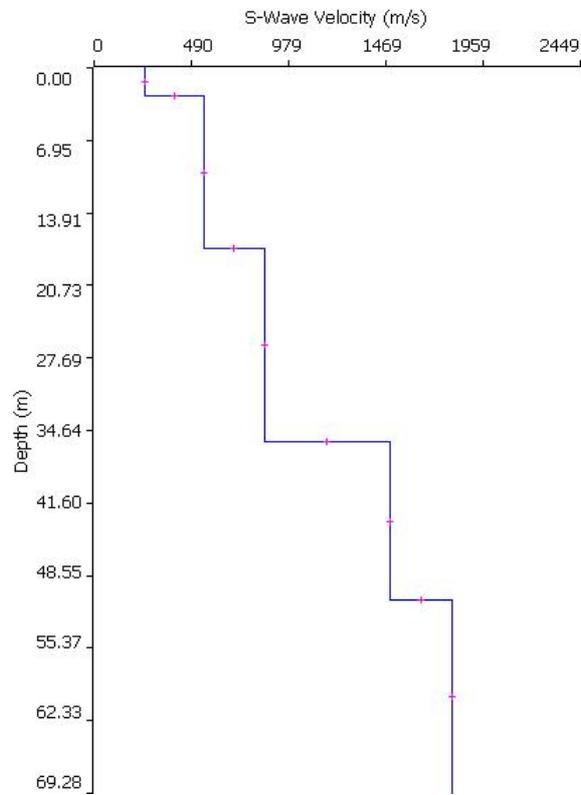


Fig. 4: Distribuzione Vs

SITO 1 (energizzazione 10m)

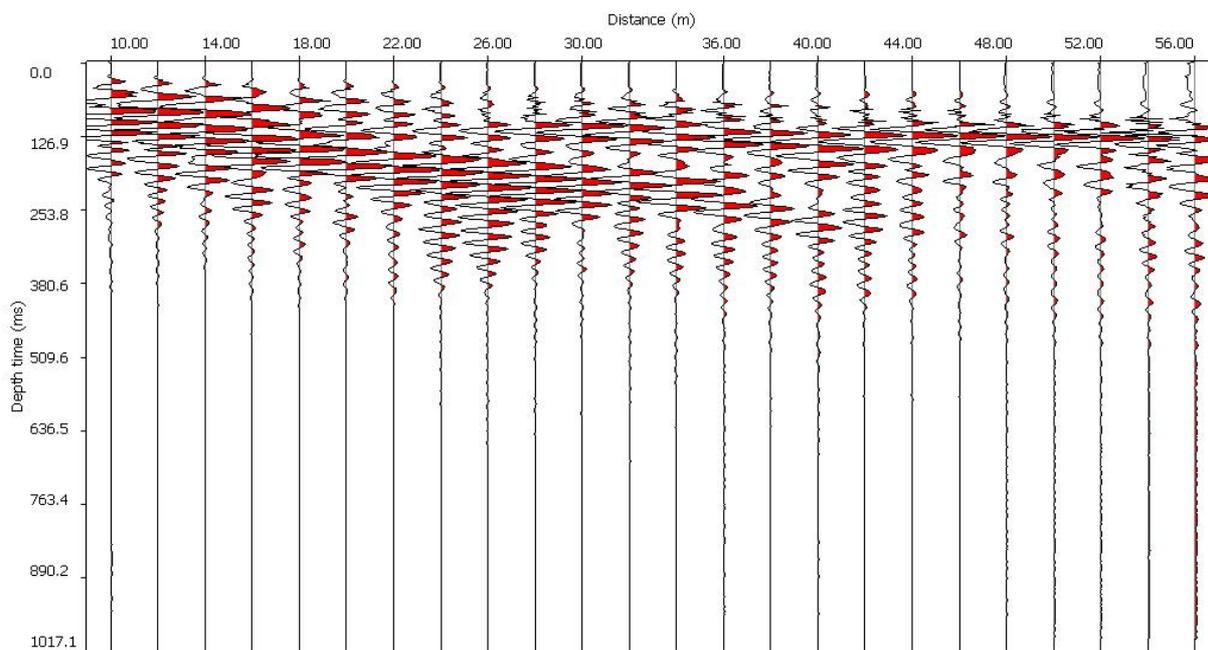


Fig. 5: Sismogramma medio

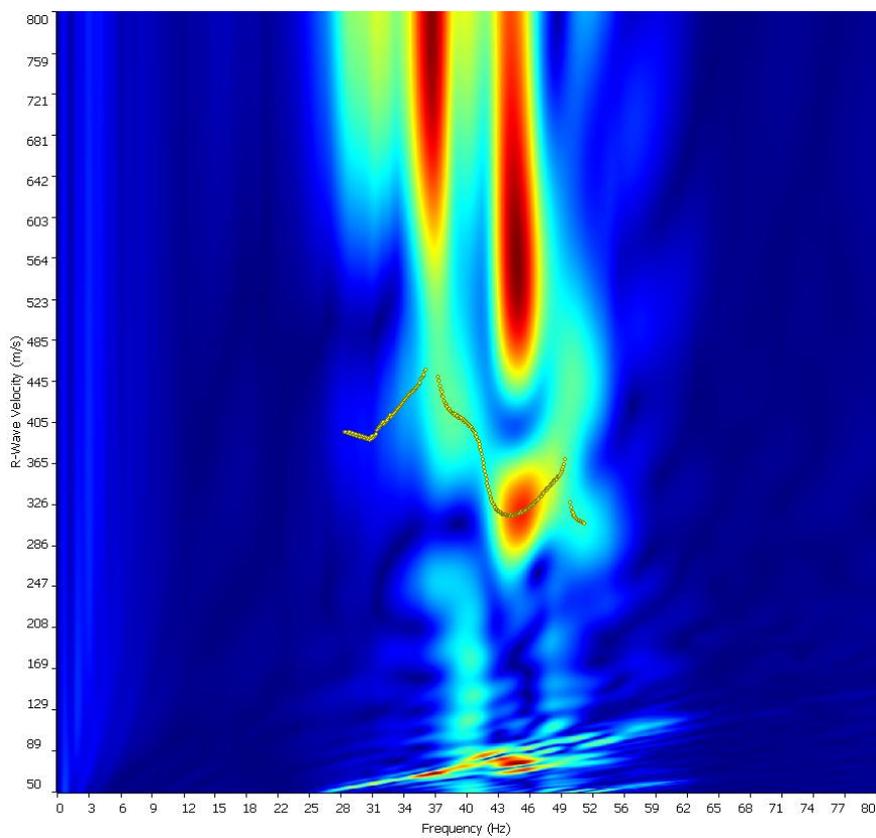


Fig. 6: Spettro Frequenza-velocità

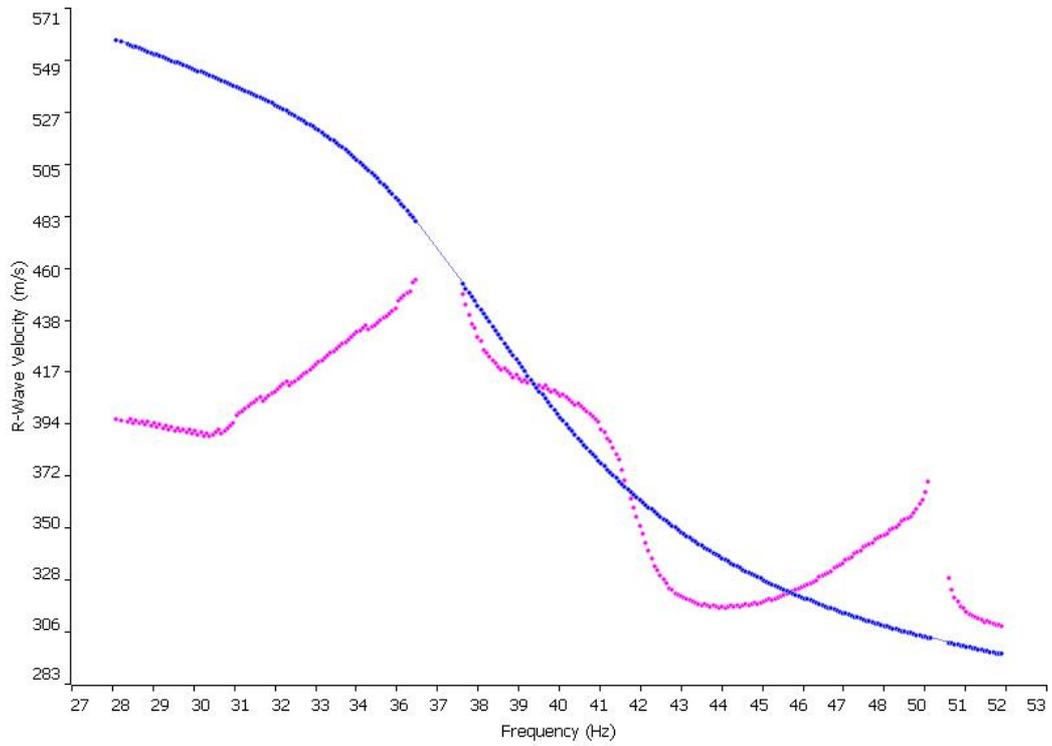


Fig. 7: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

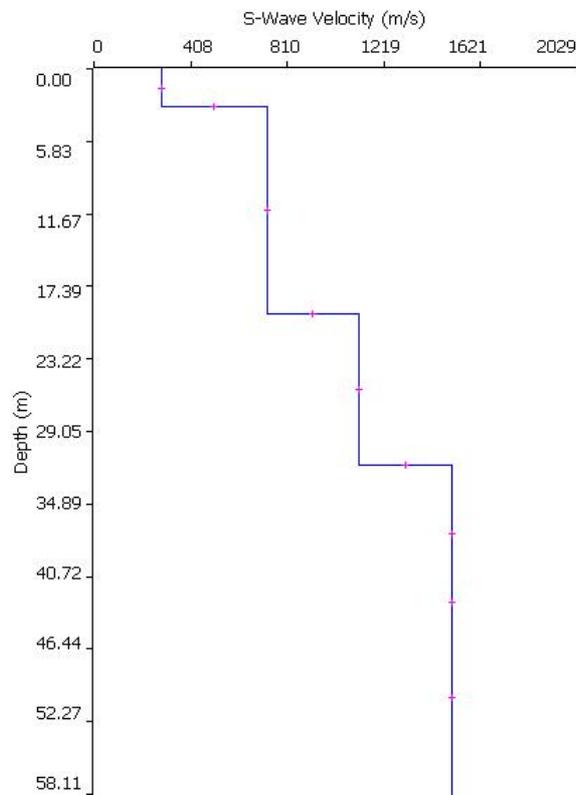


Fig. 8: Distribuzione Vs

SITO 2 (energizzazione 5m)

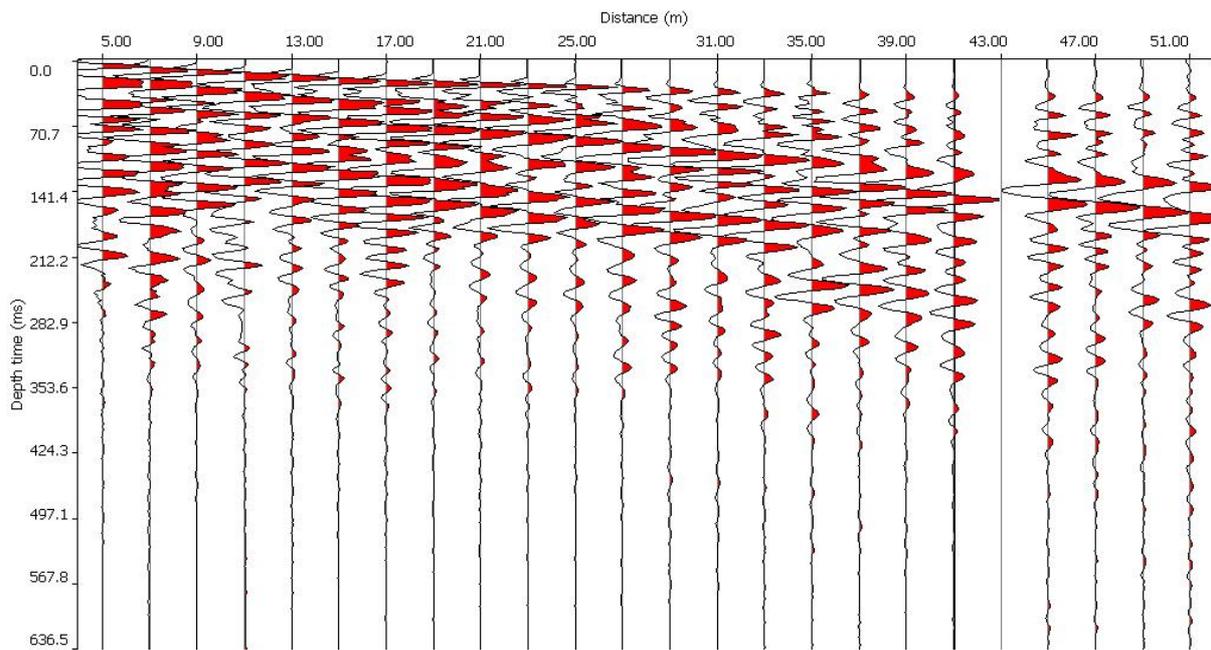


Fig. 9: Sismogramma medio

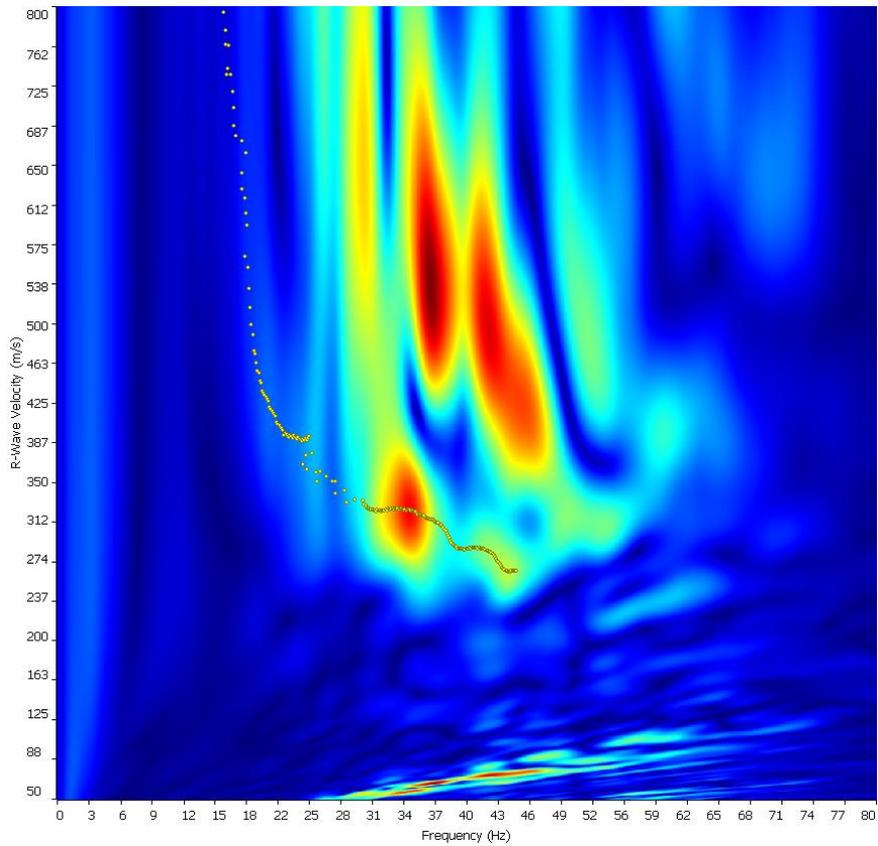


Fig. 10: Spettro Frequenza-velocità

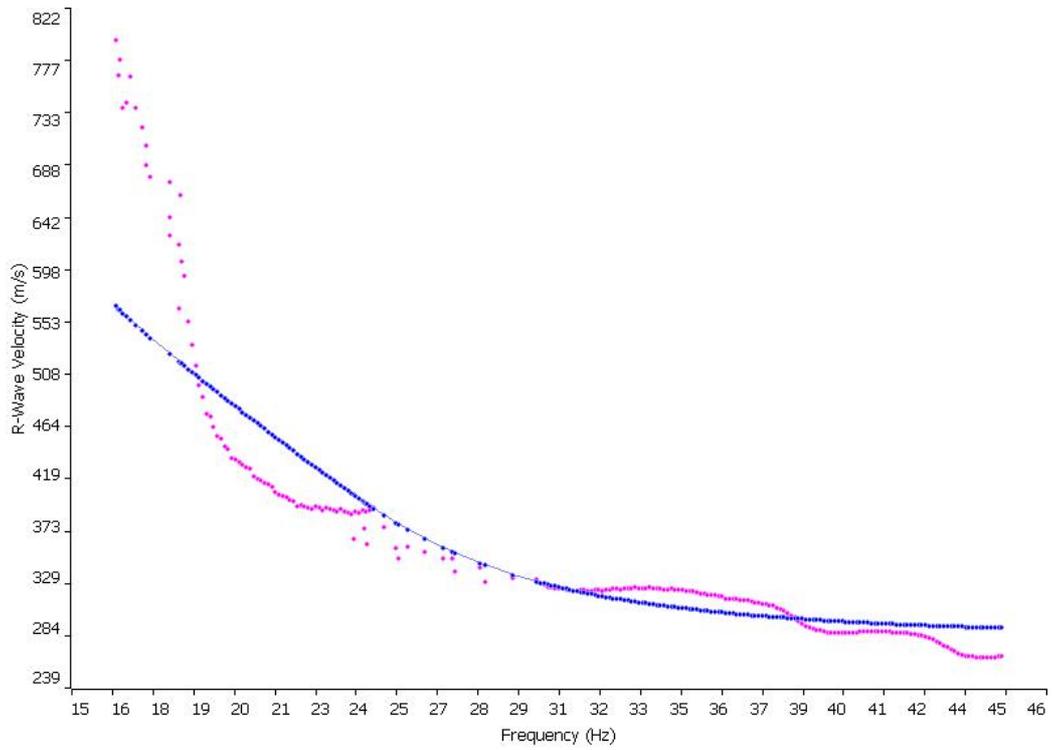


Fig. 11: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

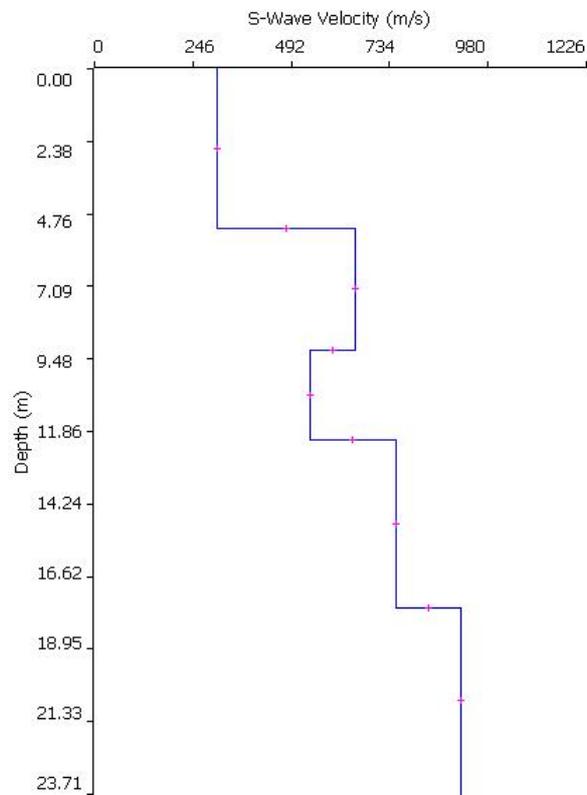


Fig. 12: Distribuzione Vs

SITO 2 (energizzazione 10m)

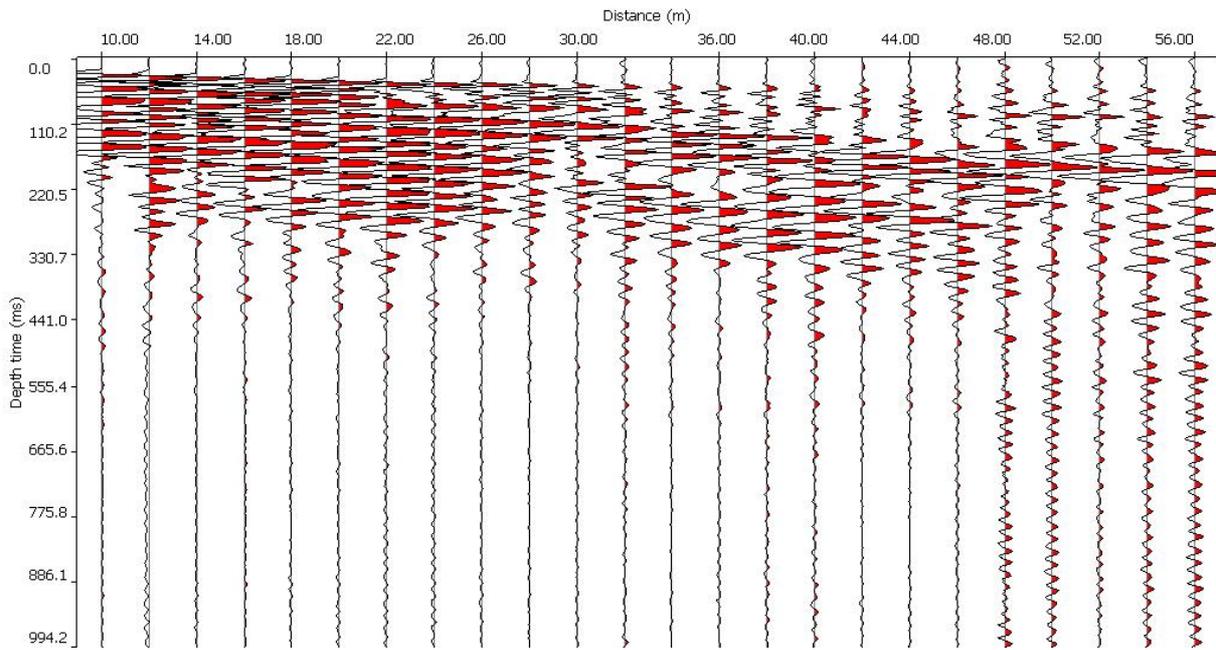


Fig. 13: Sismogramma medio

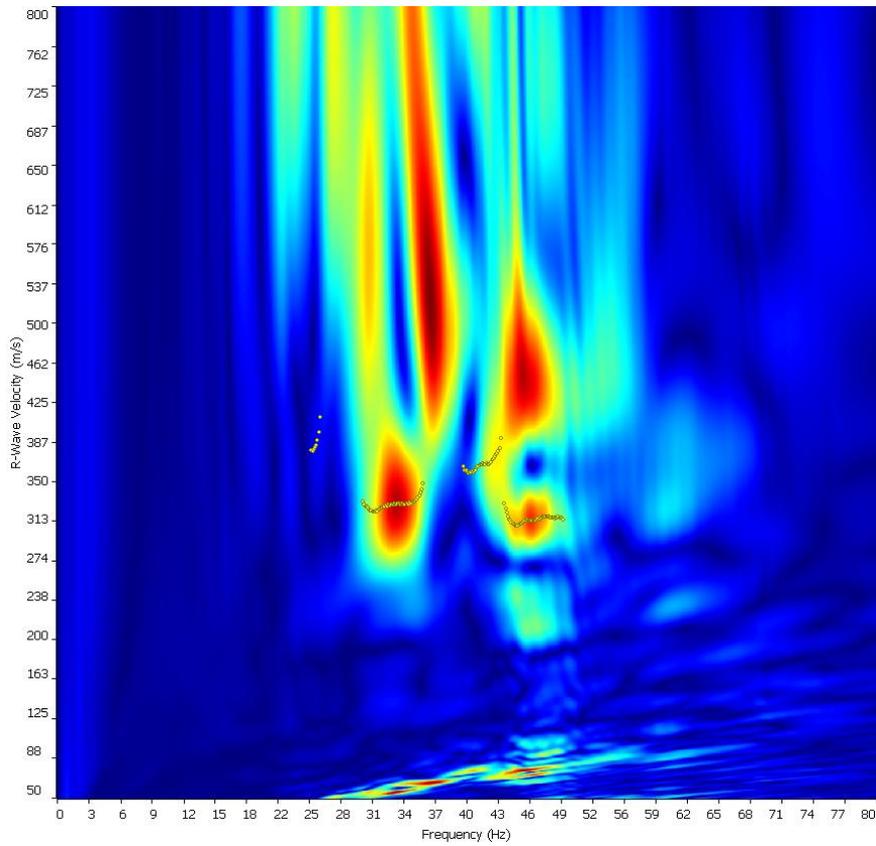


Fig. 14: Spettro Frequenza-velocità

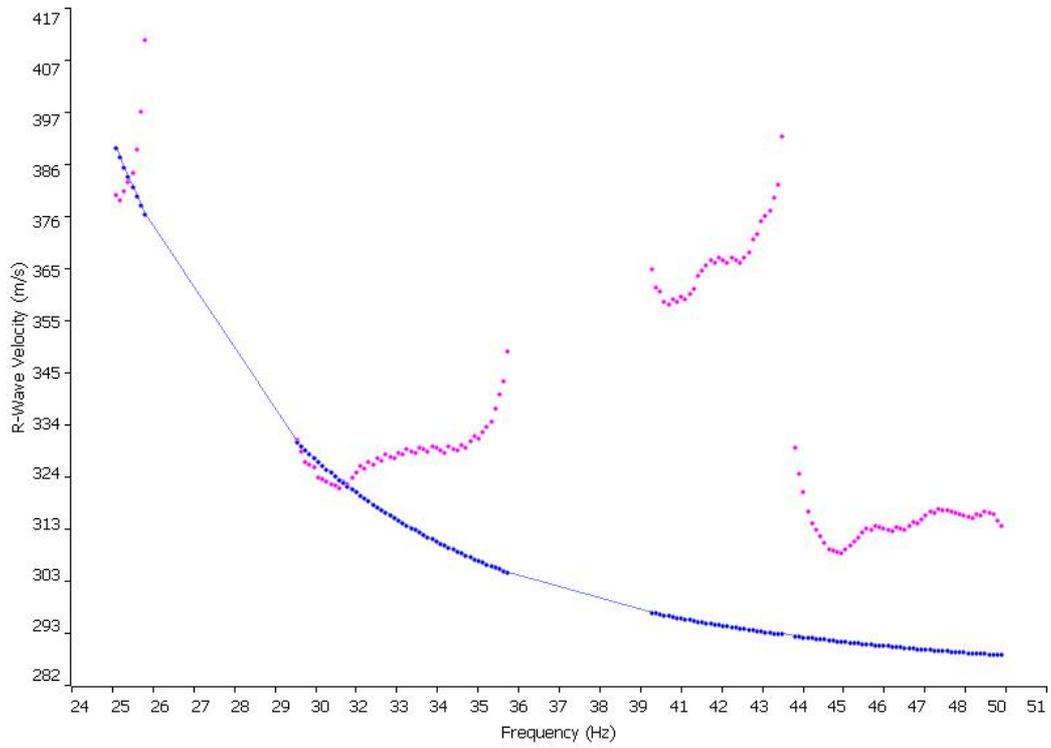


Fig. 15: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

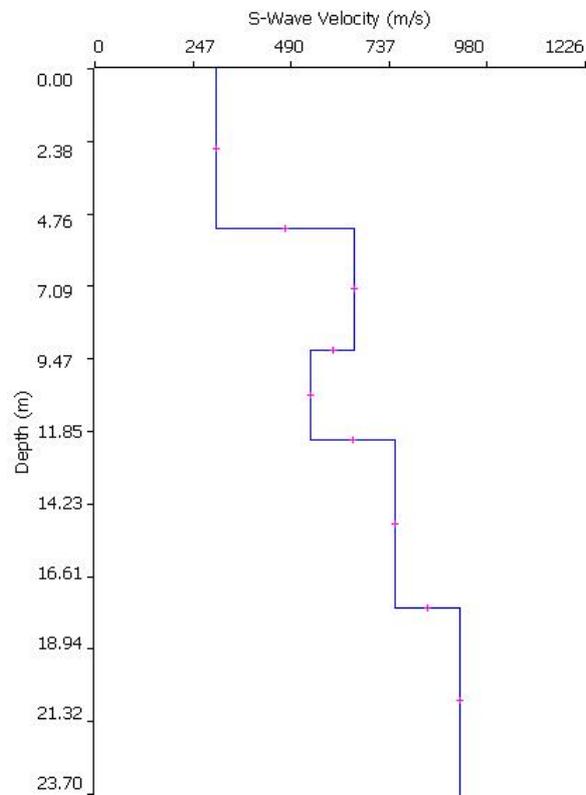


Fig. 16: Distribuzione Vs

SITO 3 (energizzazione 5m)

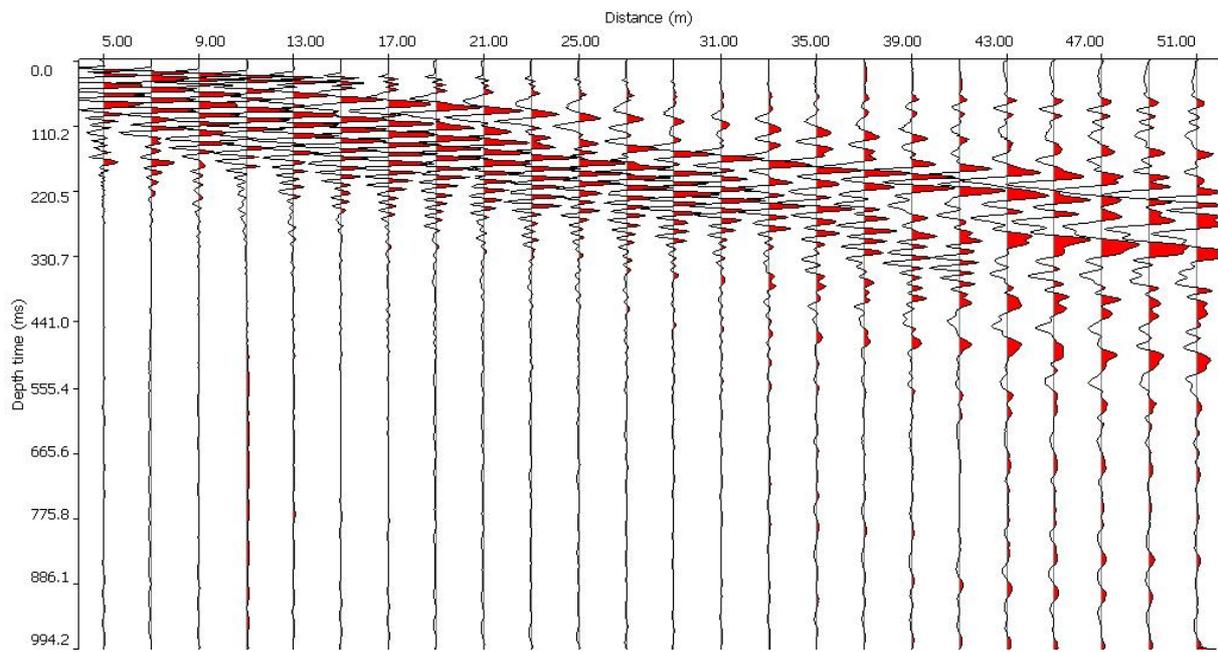


Fig. 17: Sismogramma medio

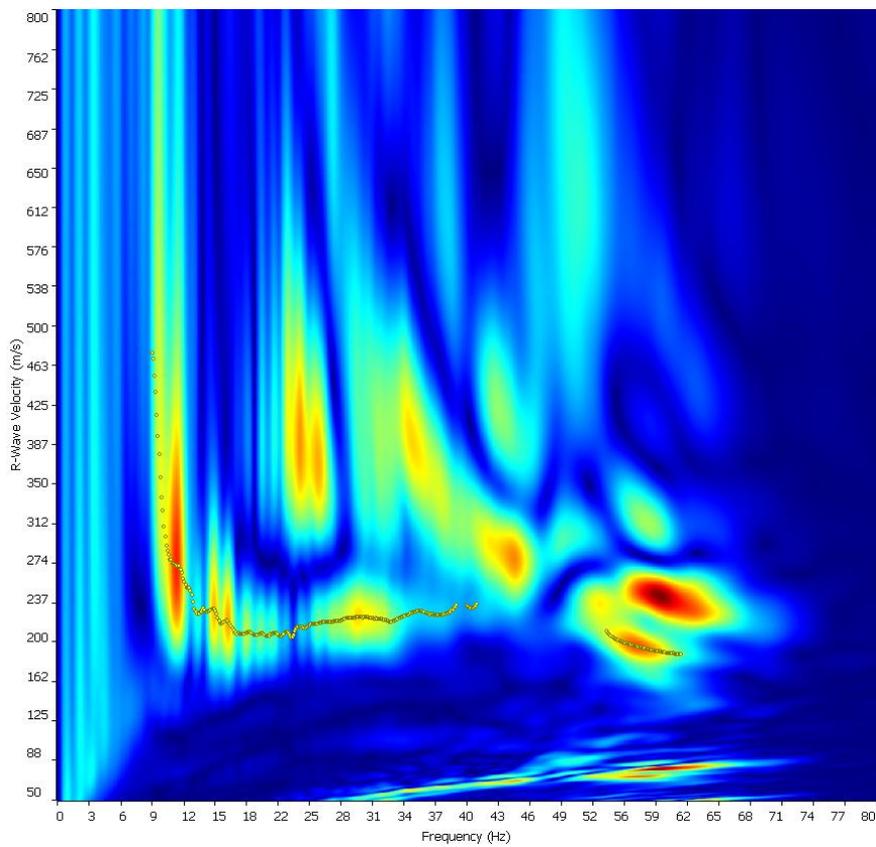


Fig. 18: Spettro Frequenza-velocità

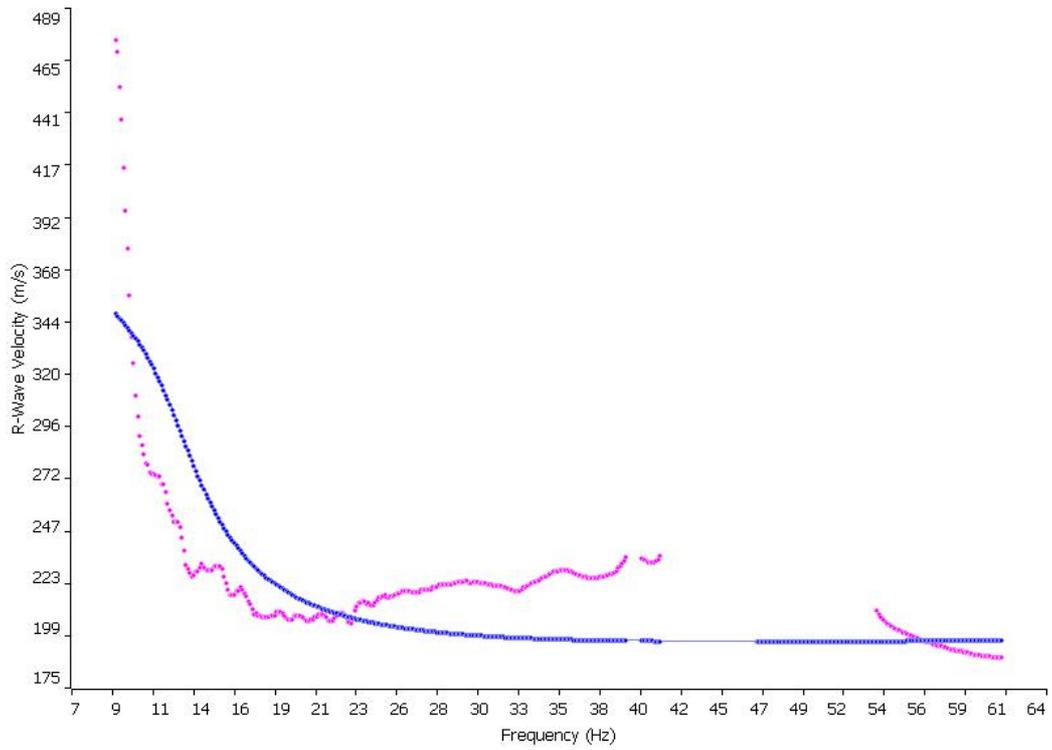


Fig. 19: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

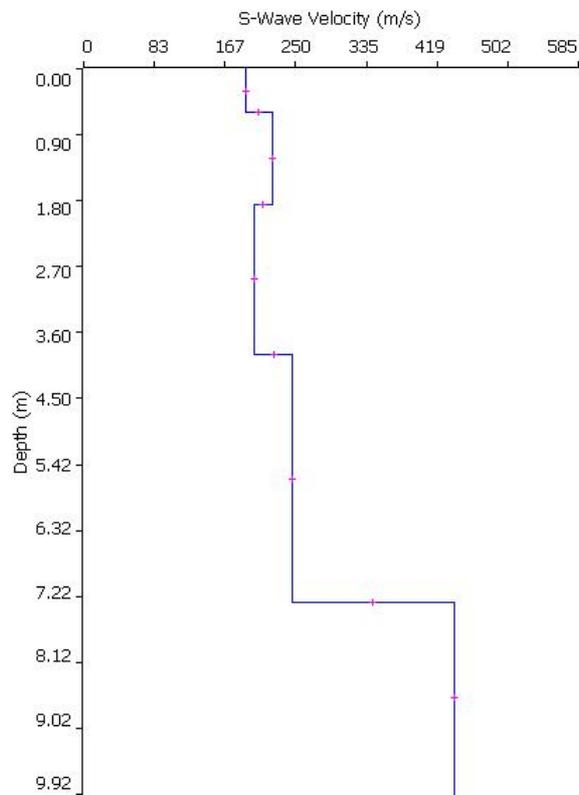


Fig. 20: Distribuzione Vs

SITO 3 (energizzazione 10m)

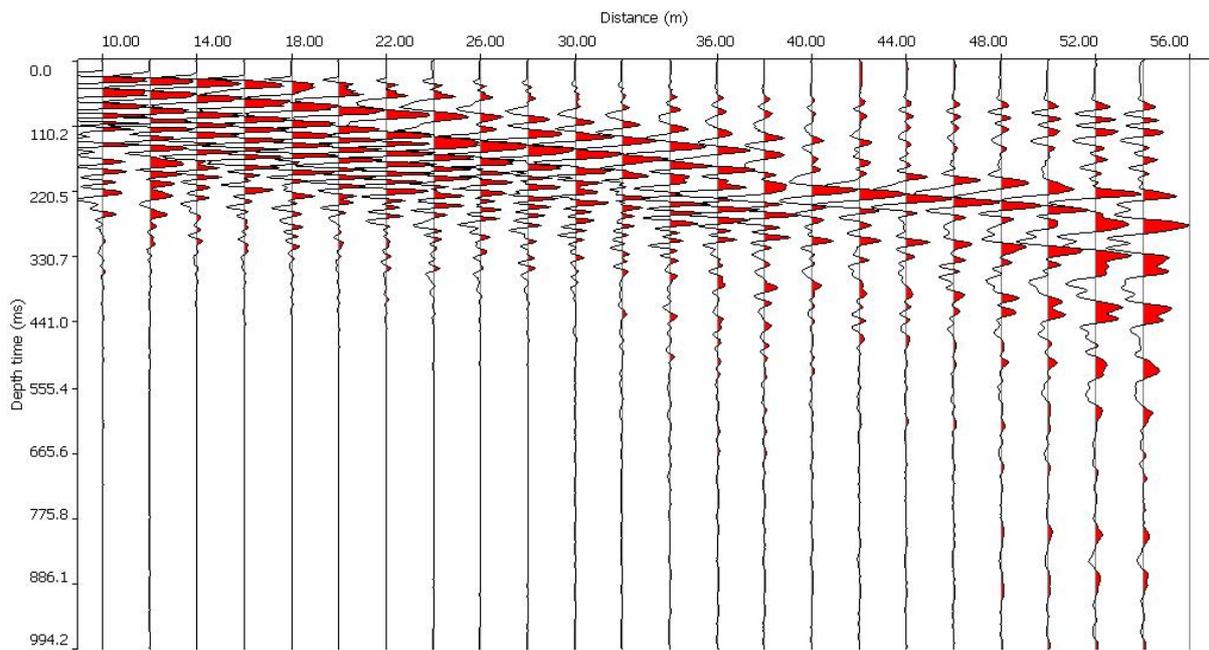


Fig. 21: Sismogramma medio

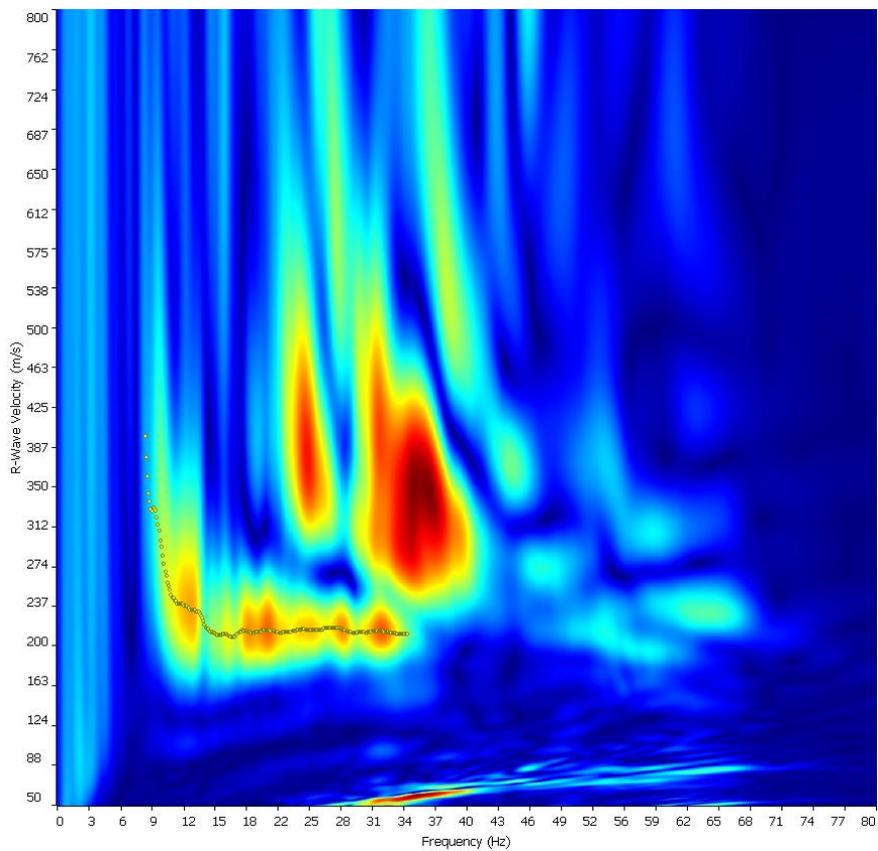


Fig. 22: Spettro Frequenza-velocità

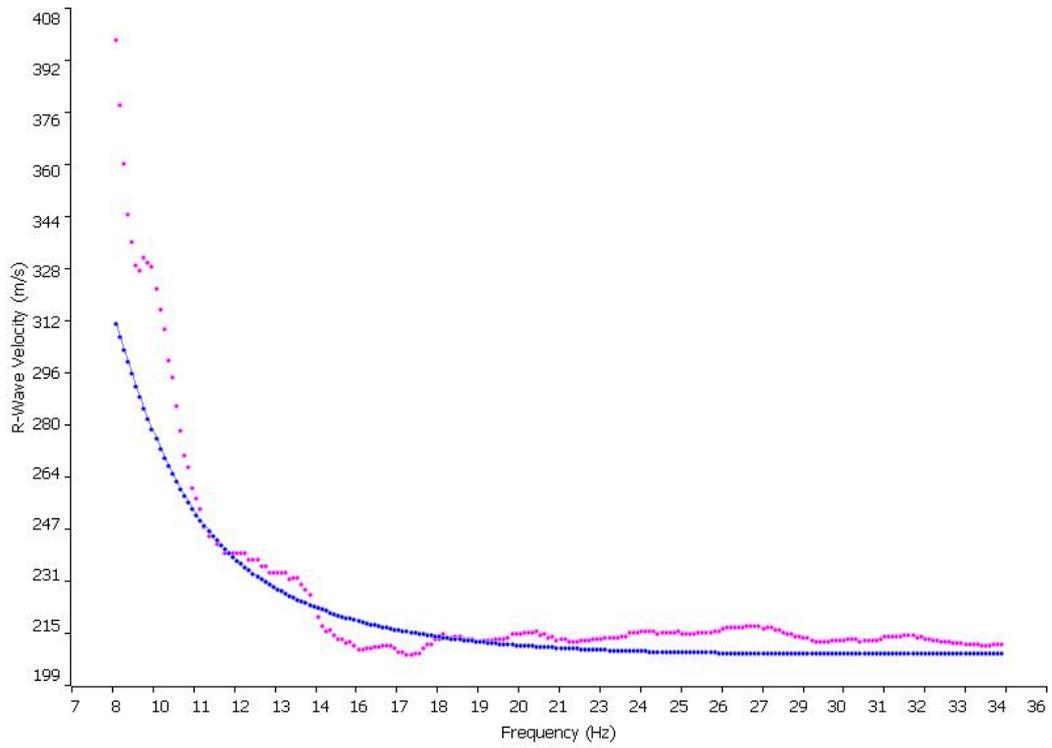


Fig. 23: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

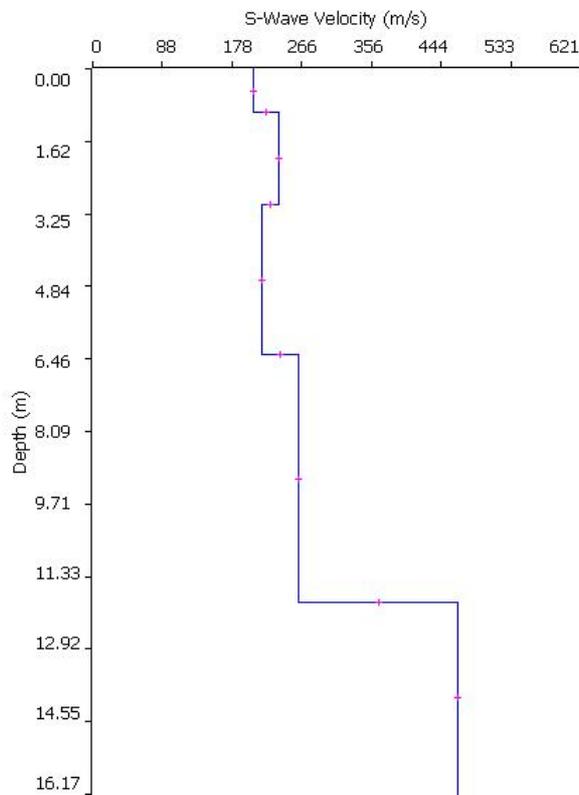


Fig. 24: Distribuzione Vs

SITO 4 (energizzazione 5m)

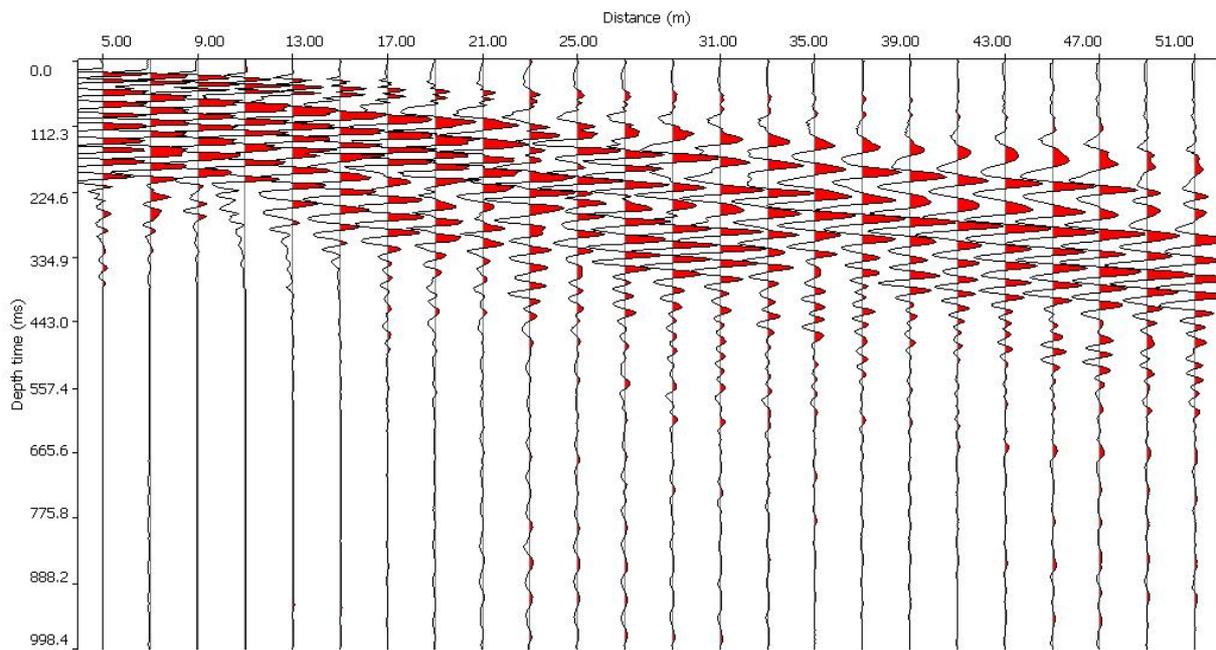


Fig. 25: Sismogramma medio

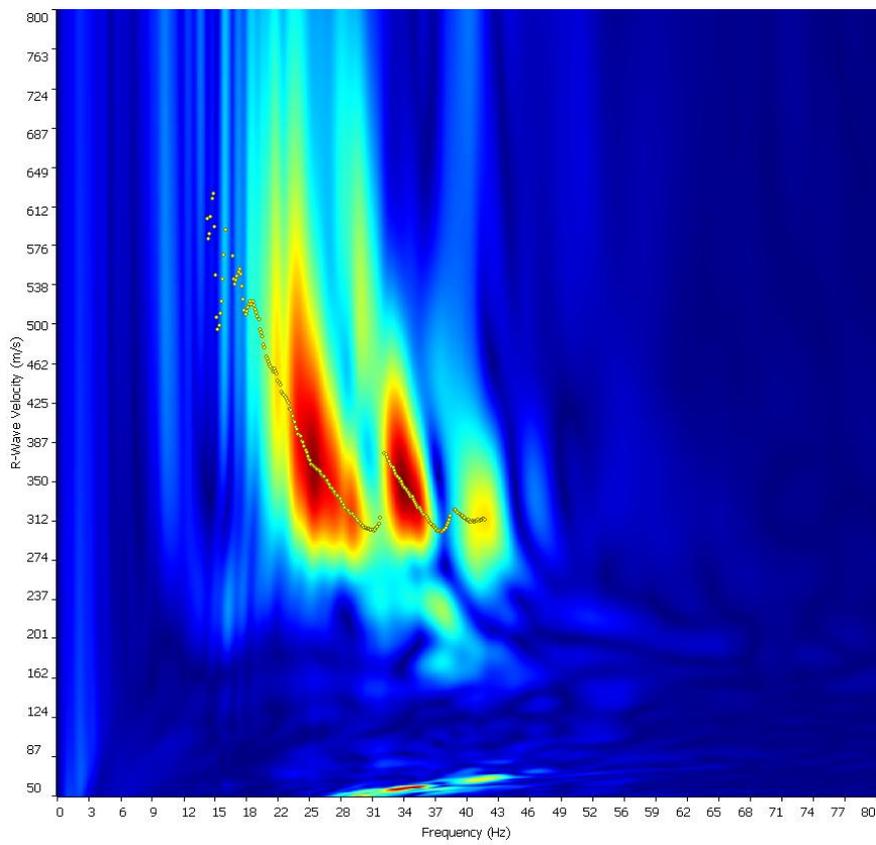


Fig. 26: Spettro Frequenza-velocità

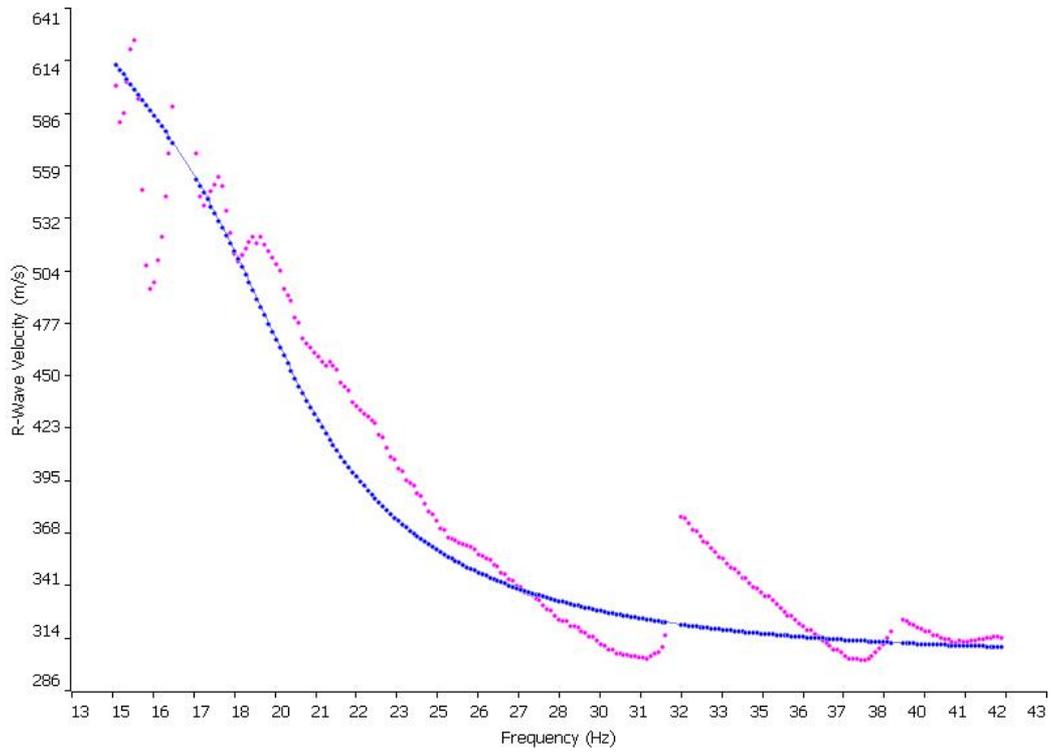


Fig. 27: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

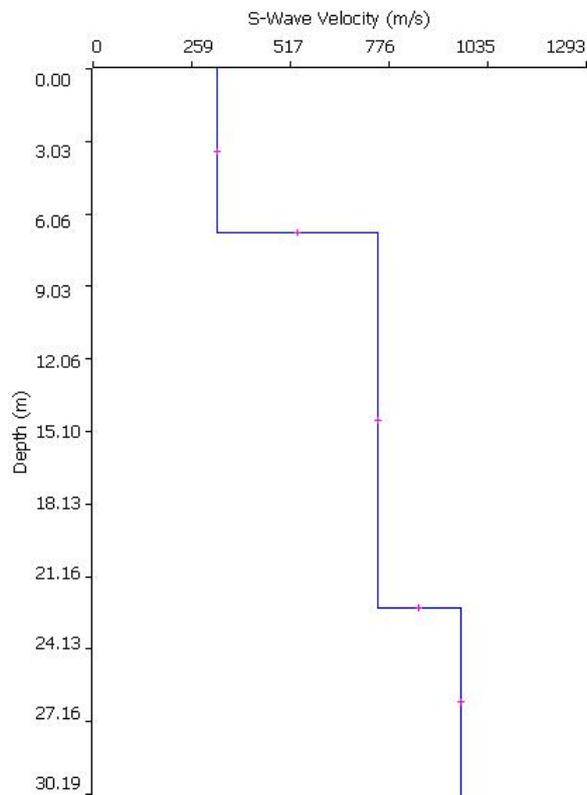


Fig. 28: Distribuzione Vs

SITO 4 (energizzazione 10m)

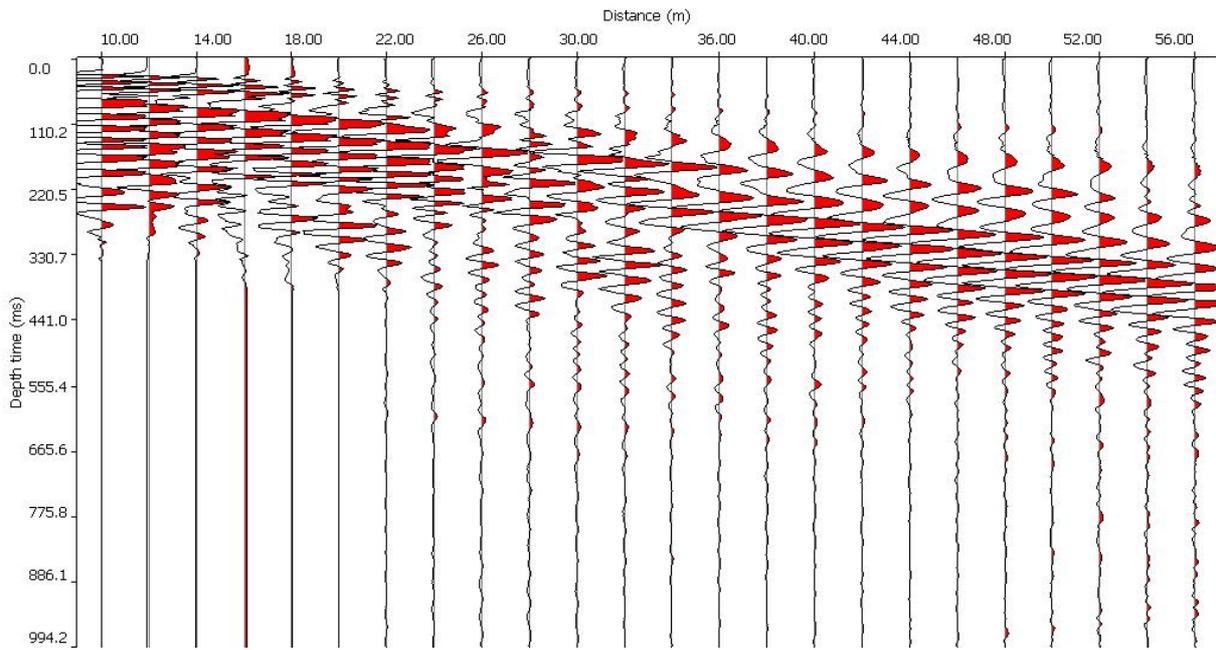


Fig. 29: Sismogramma medio

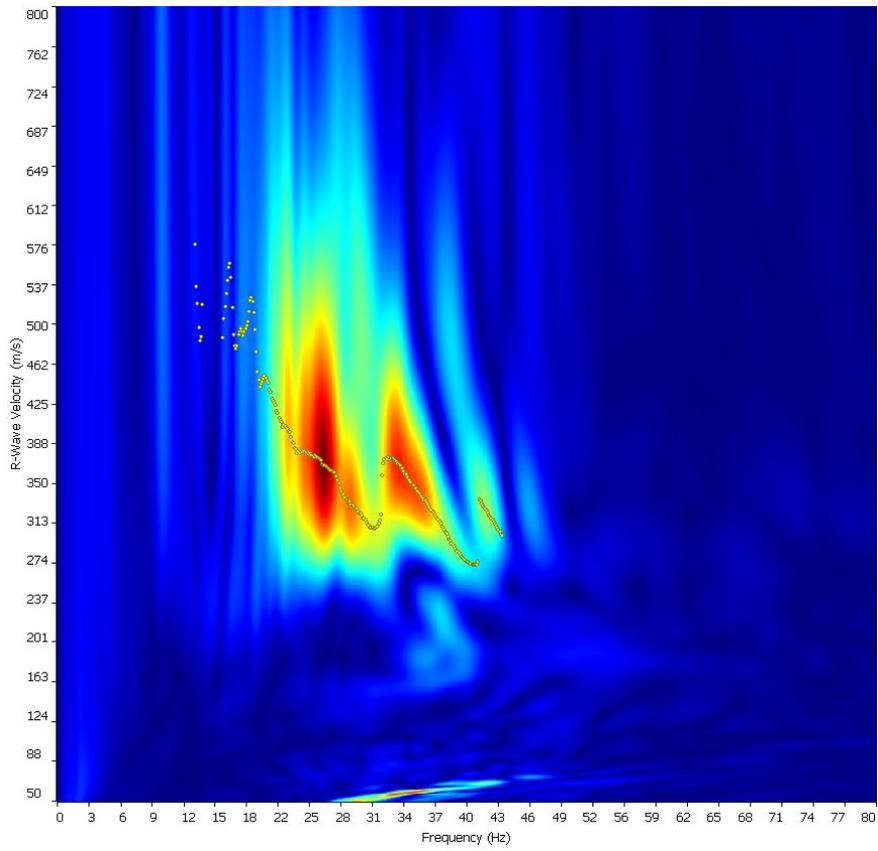


Fig. 30: Spettro Frequenza-velocità

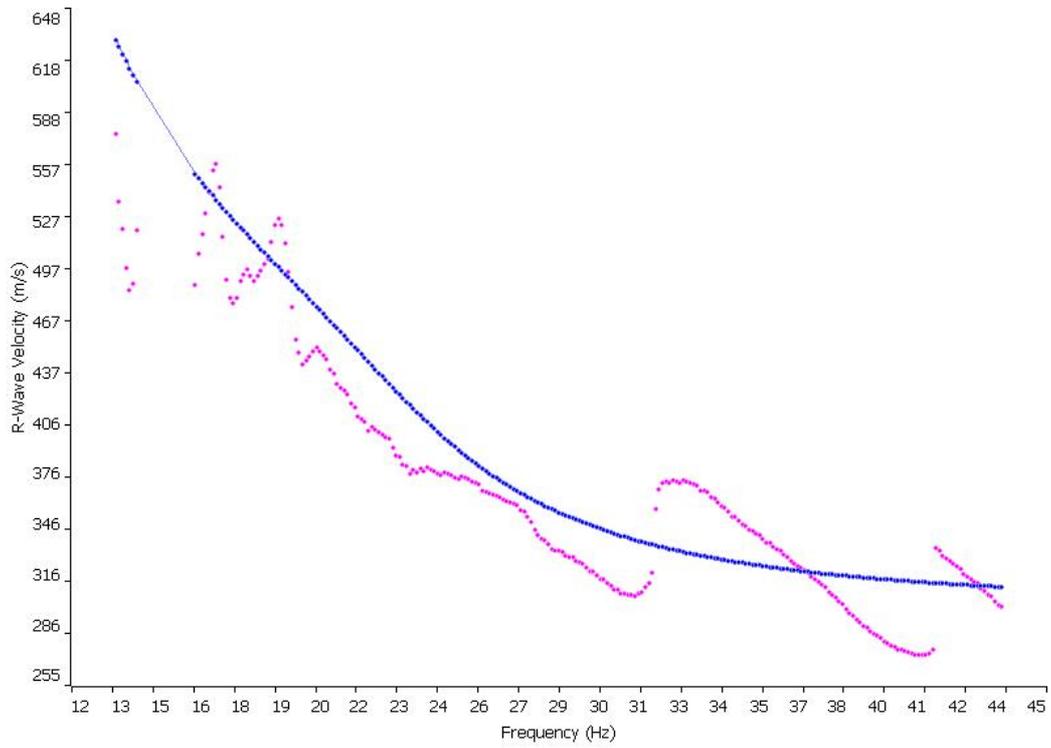


Fig. 31: Curva di dispersione sperimentale (viola) e teorica (blu)

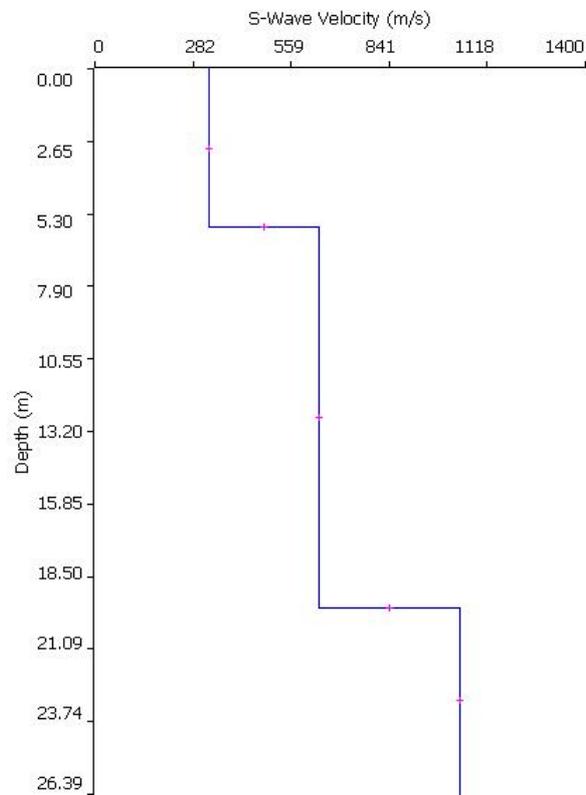
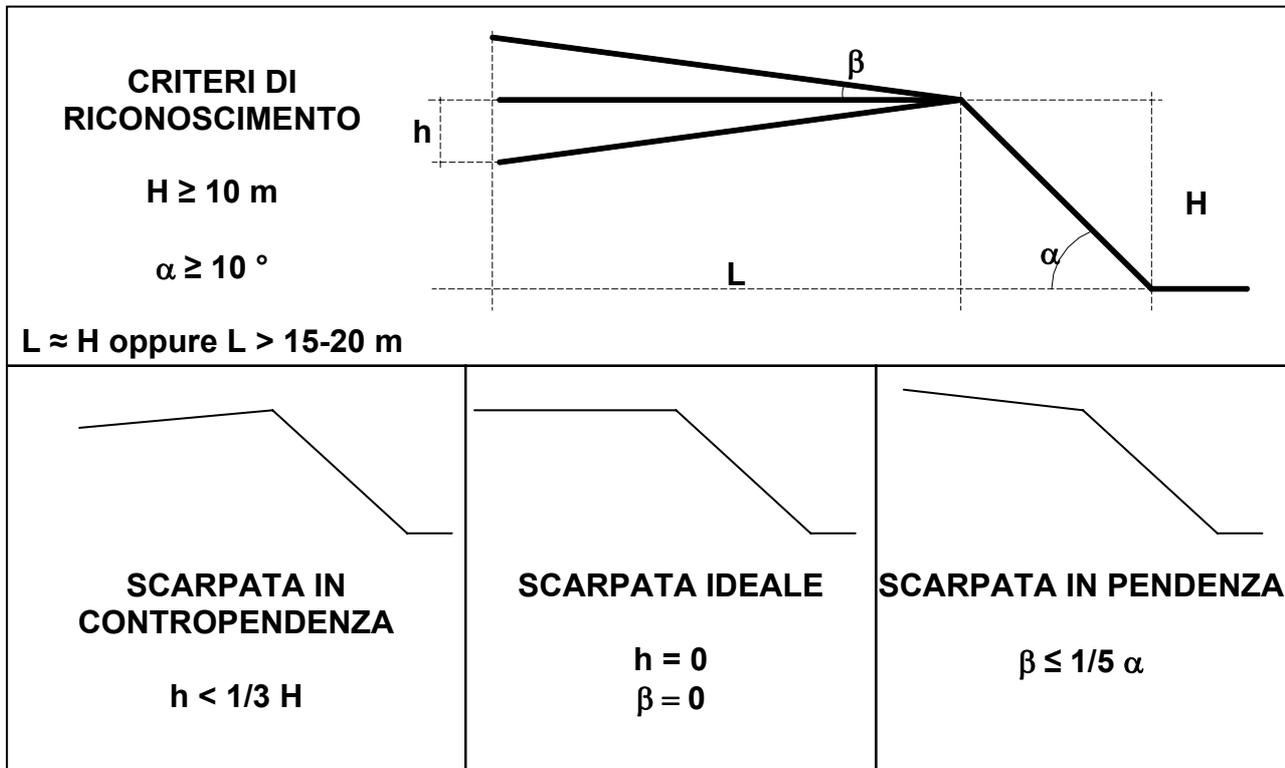


Fig. 32: Distribuzione Vs

**SCHEDE REGIONALI PER LA
VALUTAZIONE DEL FATTORE DI
AMPLIFICAZIONE**

EFFETTI MORFOLOGICI – SCARPATA - SCENARIO Z3a



| Classe altimetrica | Classe di inclinazione | Valore di F_a | 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 | |

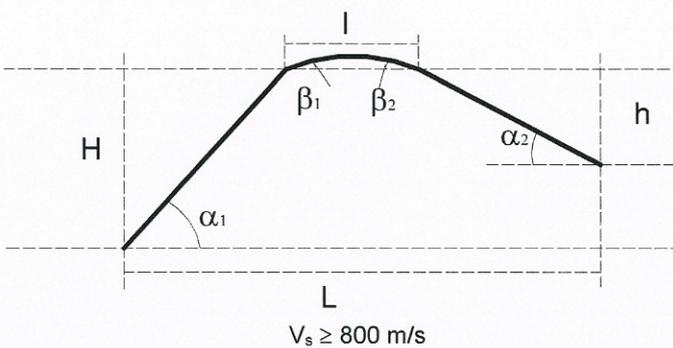
EFFETTI MORFOLOGICI - CRESTE - SCENARIO Z3b

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

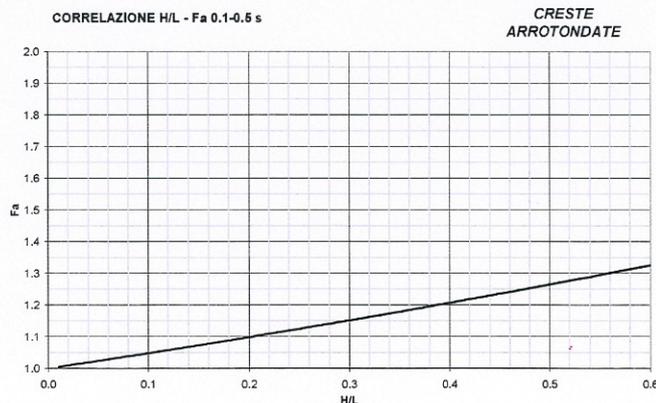
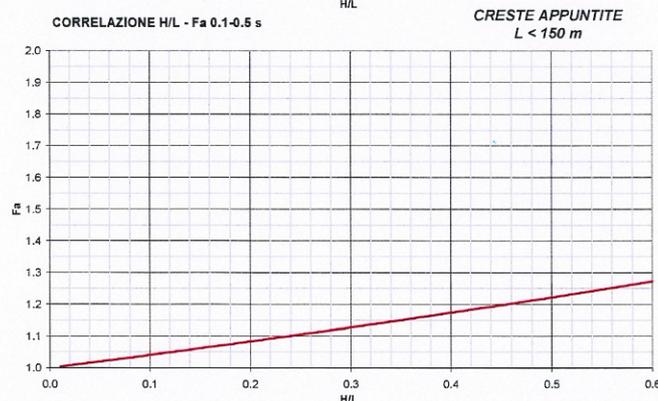
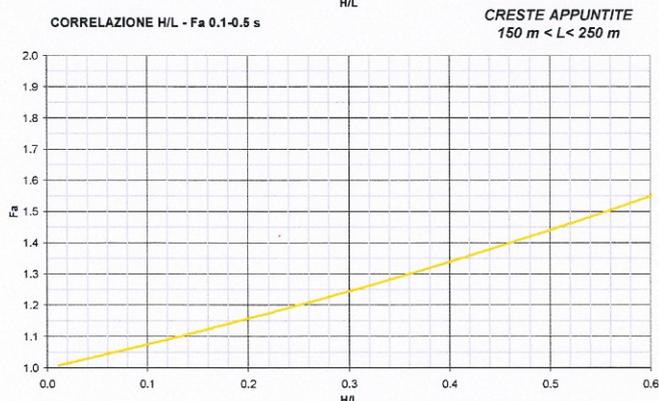
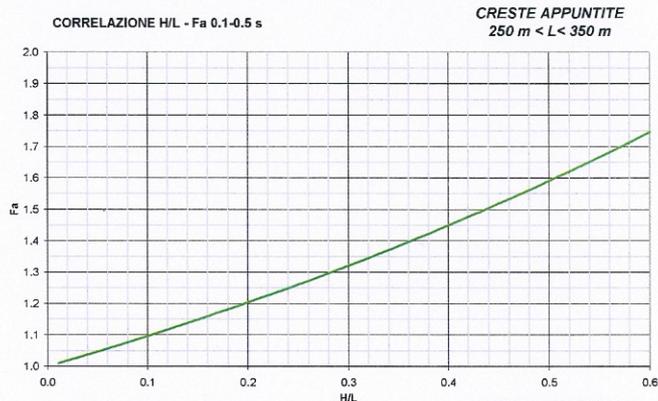
CRESTA
 $\alpha_1 \geq 10^\circ$ e $\alpha_2 \geq 10^\circ$
 $h \geq 1/3 H$

CRESTA ARROTONDATA
 $\beta_1 < 10^\circ$ e $\beta_2 < 10^\circ$
 $l \geq 1/3 L$

CRESTA APPUNTITA
 $l < 1/3 L$



| | L > 350 | 250 < L < 350 | 150 < L < 250 | L < 150 |
|---------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Creste Appuntite | $Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$ | $Fa_{0.1-0.5} = e^{0.93H/L}$ | $Fa_{0.1-0.5} = e^{0.73H/L}$ | $Fa_{0.1-0.5} = e^{0.40H/L}$ |
| Creste Arrotondate | $Fa_{0.1-0.5} = e^{0.47H/L}$ | | | |



EFFETTI LITOLOGICI - SCHEDA LITOLOGIA GHIAIOSA

PARAMETRI INDICATIVI

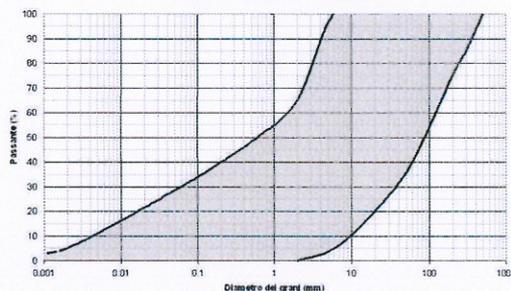
GRANULOMETRIA:

Da ghiaie e ciottoli con blocchi a ghiaie e sabbie limose debolmente argillose passando per ghiaie con sabbie limose, ghiaie sabbiose, ghiaie con limo debolmente sabbiose e sabbie con ghiaie

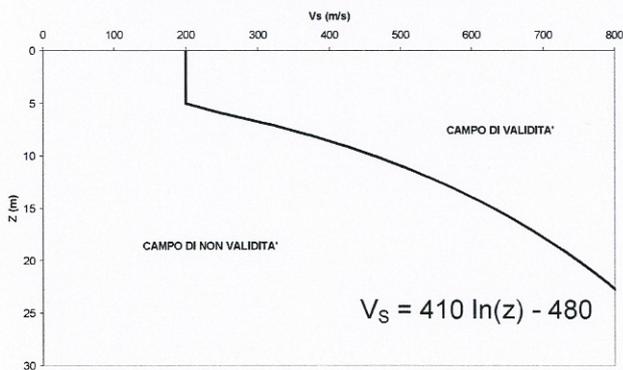
NOTE:

- Comportamento granulare
- Struttura granulo-sostenuta
- Frazione ghiaiosa superiore al 35%
- Frequenti clasti con $D_{max} > 20$ cm
- Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 65%
- Matrice limoso - argillosa fino ad un massimo del 30% con frazione argillosa subordinata (fino al 5%)
- Presenza di eventuali trovanti con $D > 50$ cm
- Presenza di eventuali orizzonti localmente cementati

FUSO GRANULOMETRICO INDICATIVO



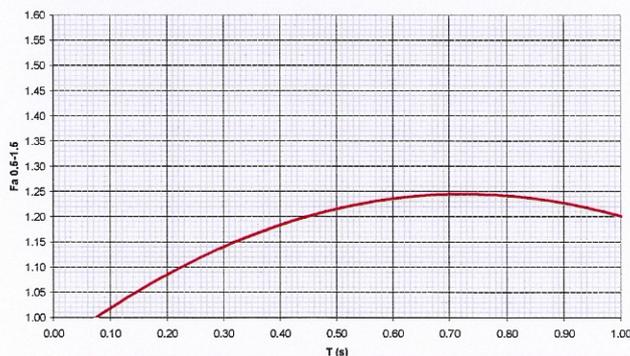
ANDAMENTO DEI VALORI DI V_s CON LA PROFONDITA'



Profondità primo strato (m)

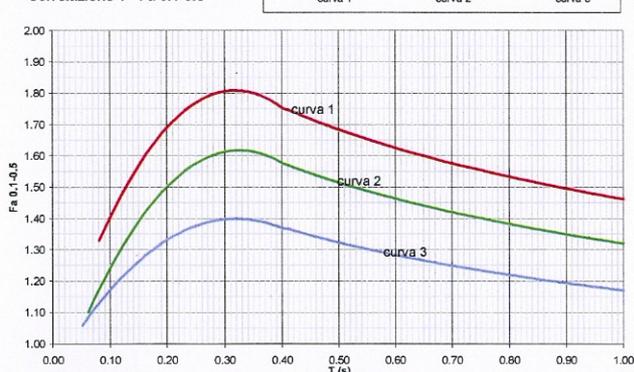
| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | |
| 200 | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| 250 | | | | 2 | 2 | 2 | | | | | | | | | |
| 300 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | | | |
| 350 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | | |
| 400 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | | |
| 450 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | | |
| 500 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | | |
| 600 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | | | |
| 700 | | | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s



$$Fa_{0.5-1.5} = -0.58T^2 + 0.84T + 0.94$$

Correlazione T - Fa 0.1-0.5



| Curva | Tratto polinomiale | Tratto logaritmico |
|-------|--|---------------------------------|
| 1 | $0.08 < T \leq 0.40$ | $0.40 < T \leq 1.00$ |
| | $Fa_{0.1-0.5} = -8.5T^2 + 5.4T + 0.95$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.46 - 0.32LnT$ |
| 2 | $0.06 < T \leq 0.40$ | $0.40 < T \leq 1.00$ |
| | $Fa_{0.1-0.5} = -7.4T^2 + 4.8T + 0.84$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.32 - 0.28LnT$ |
| 3 | $0.05 < T \leq 0.40$ | $0.40 < T \leq 1.00$ |
| | $Fa_{0.1-0.5} = -4.7T^2 + 3.0T + 0.92$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.17 - 0.22LnT$ |

EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – ARGILLOSA TIPO 1

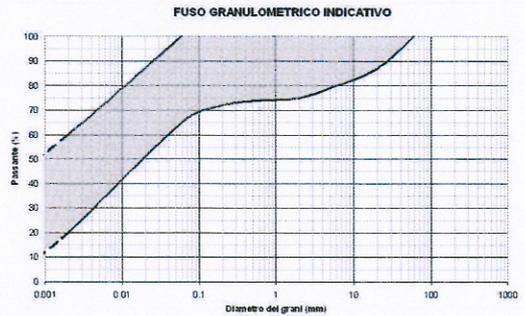
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

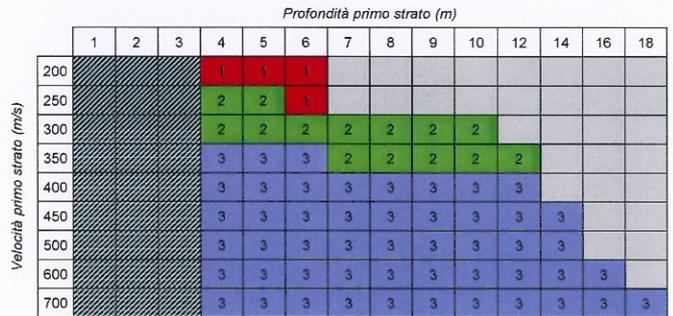
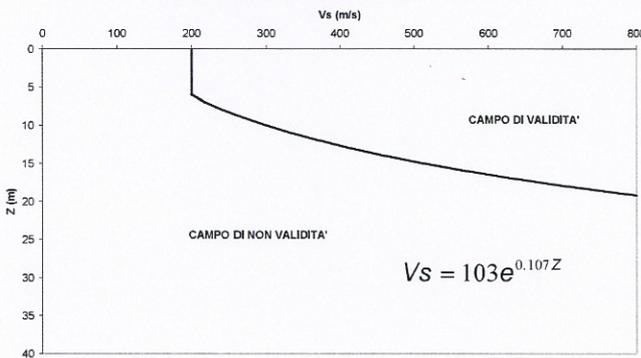
Da limi ghiaioso – argillosi debolmente sabbiosi ad argille con limi passando per limi argillosi, limi con sabbie argillose, limi e sabbie con argille, argille ghiaiose, argille ghiaiose debolmente limose ed argille con sabbie debolmente limose

NOTE:

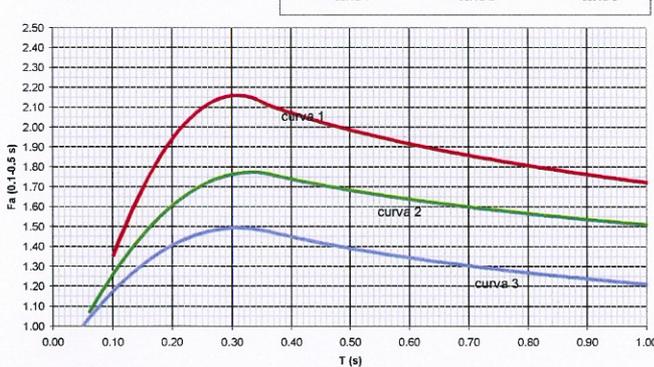
- Comportamento coesivo
- Struttura matrice-sostenuta
- Frazione limosa superiore al 40%
- Presenza di clasti immersi con $D_{max} < 2-3$ cm
- Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 25%
- Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 35%
- Frazione argillosa compresa tra 20% e 60%
- Presenza di eventuali sottili orizzonti ghiaioso fini e sabbioso medio-grossolani



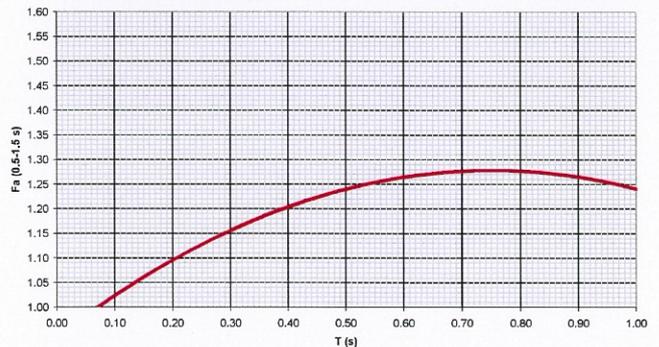
ANDAMENTO DEI VALORI DI Vs CON LA PROFONDITA'



Correlazione T - Fa 0.1-0.5 s



Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s



$$Fa_{0.5-1.5} = -0.6T^2 + 0.9T + 0.94$$

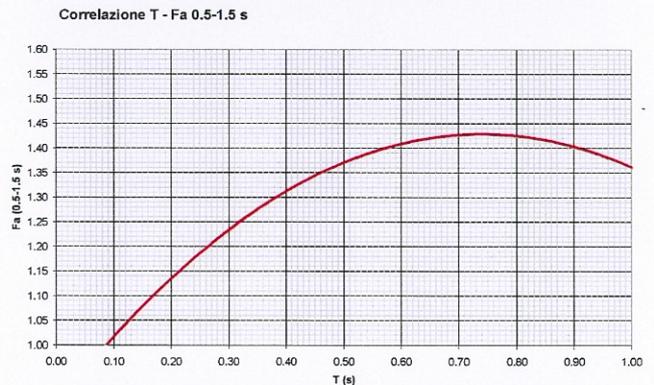
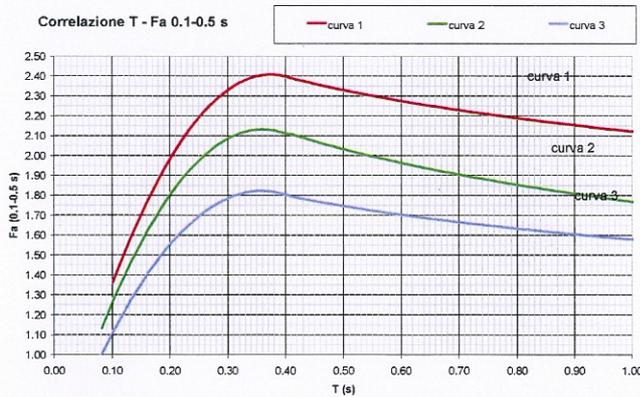
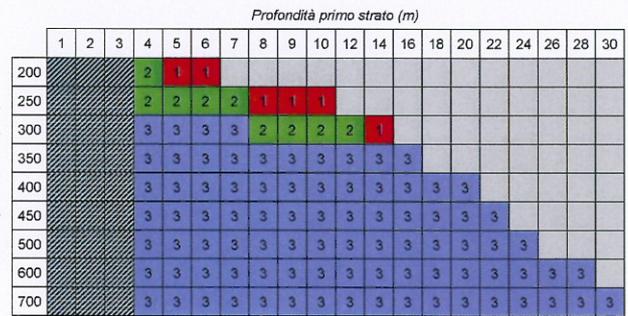
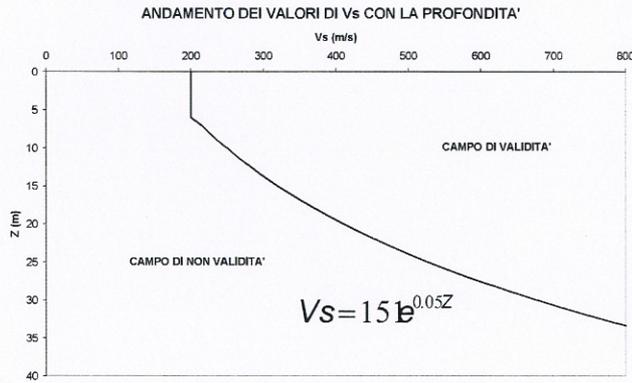
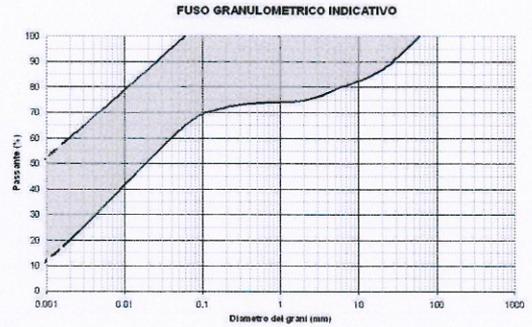
| Curva | Tratto polinomiale | Tratto logaritmico |
|-------|--|---------------------------------|
| 1 | $0.08 < T \leq 0.35$ | $0.35 < T \leq 1.00$ |
| | $Fa_{0.1-0.5} = -18.7T^2 + 11.5T + 0.39$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.72 - 0.38LnT$ |
| 2 | $0.06 < T \leq 0.35$ | $0.35 < T \leq 1.00$ |
| | $Fa_{0.1-0.5} = -9.5T^2 + 6.3T + 0.73$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.51 - 0.25LnT$ |
| 3 | $0.05 < T \leq 0.35$ | $0.35 < T \leq 1.00$ |
| | $Fa_{0.1-0.5} = -7.3T^2 + 4.5T + 0.80$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.21 - 0.26LnT$ |

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 |



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

| 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 |
| | $Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$ |

EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – SABBIOSA TIPO 1

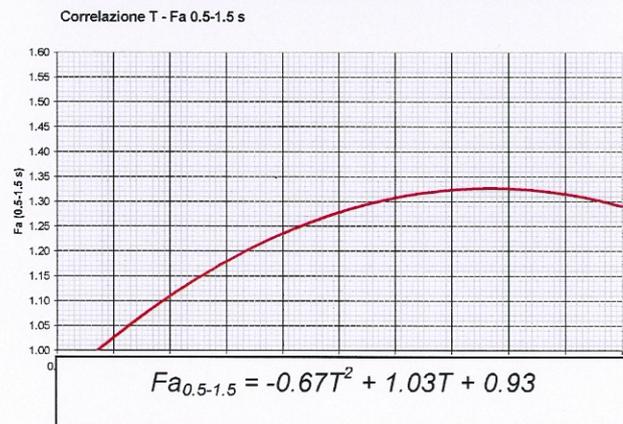
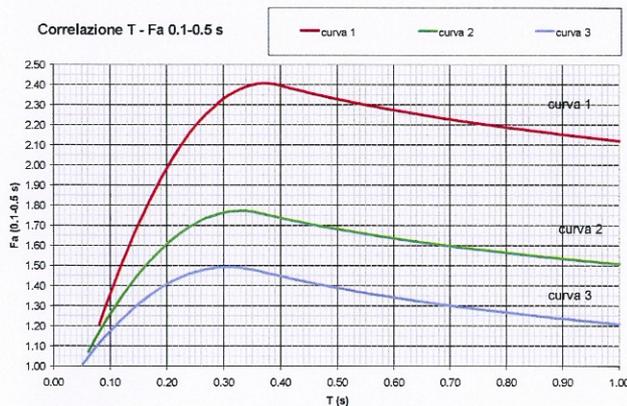
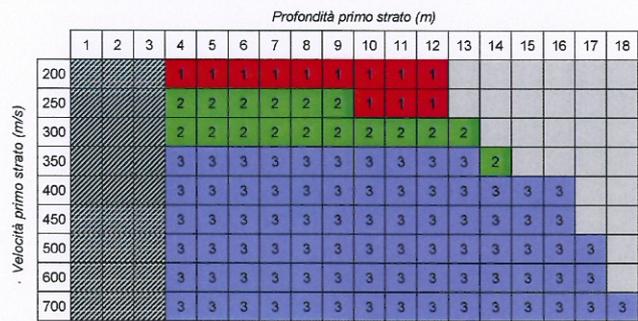
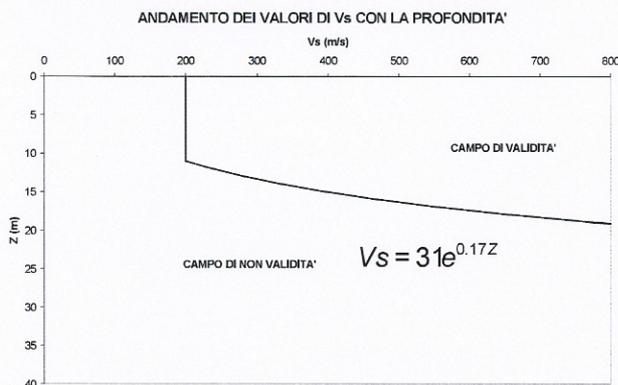
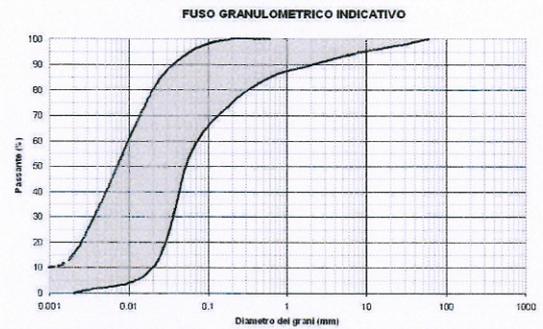
PARAMETRI INDICATIVI

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



| Curva | Tratto polinomiale | Tratto logaritmico |
|-------|--|---------------------------------|
| 1 | $0.08 < T \leq 0.40$ | $0.40 < T \leq 1.00$ |
| | $Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$ | $Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$ |
| 2 | $0.06 < T \leq 0.35$ | $0.35 < T \leq 1.00$ |
| | $Fa_{0.1-0.5} = -9.5T^2 + 6.3T + 0.73$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.51 - 0.25LnT$ |
| 3 | $0.05 < T \leq 0.35$ | $0.35 < T \leq 1.00$ |
| | $Fa_{0.1-0.5} = -7.3T^2 + 4.5T + 0.80$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.21 - 0.26LnT$ |

EFFETTI LITOLGICI - SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO - SABBIOSA TIPO 2

PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

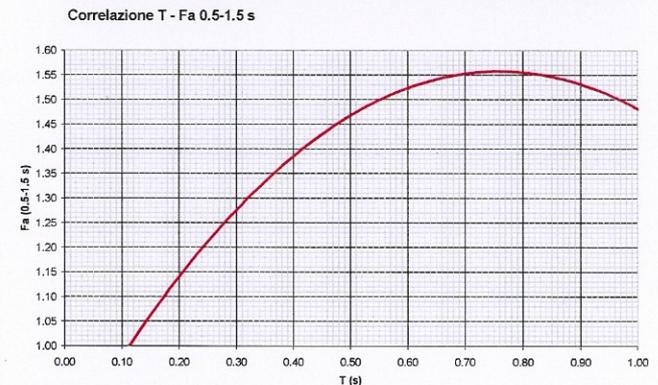
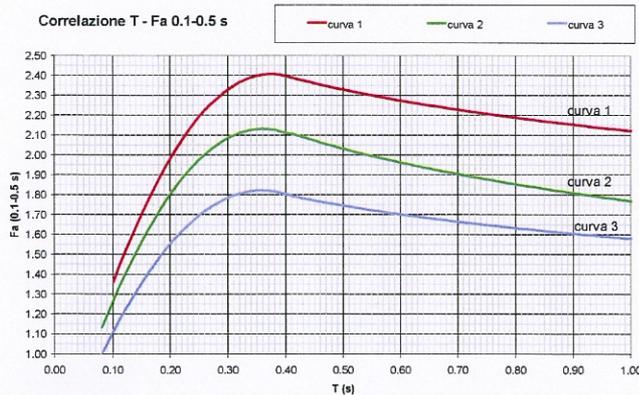
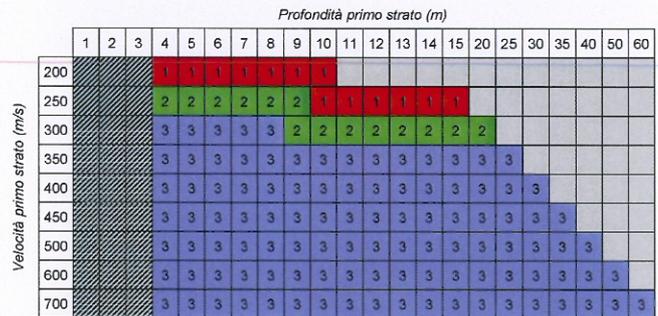
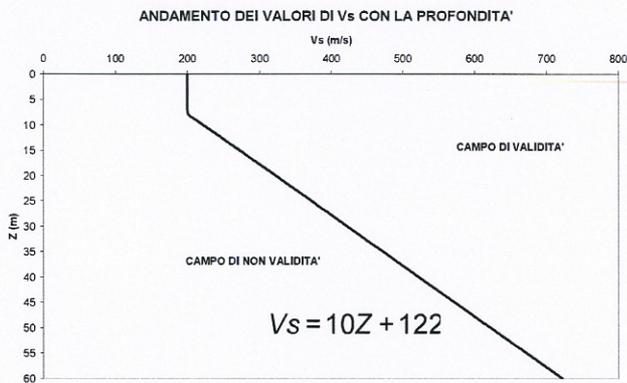
Da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbioso-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi e sabbie con limi debolmente argillosi

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 (kNm ³) 18.5-19.5 |
| Peso specifico particelle solide | γ_s (kNm 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 _s 0.03-0.05 |
| Coefficiente di consolidazione secondaria | C _α 0.002-0.006 |
| Numero colpi prova SPT (nei primi 10 m) | N _{spt} 0-20 |



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

| 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 SABBIOSA

PARAMETRI INDICATIVI

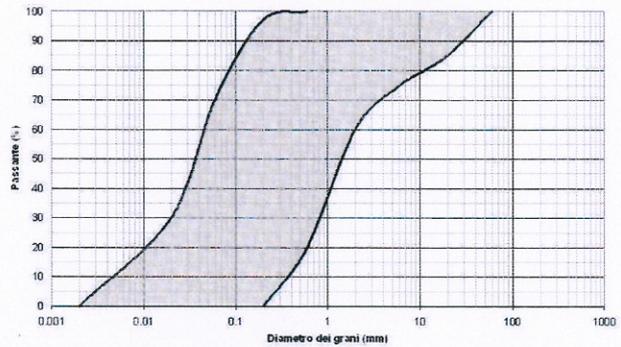
GRANULOMETRIA:

Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie

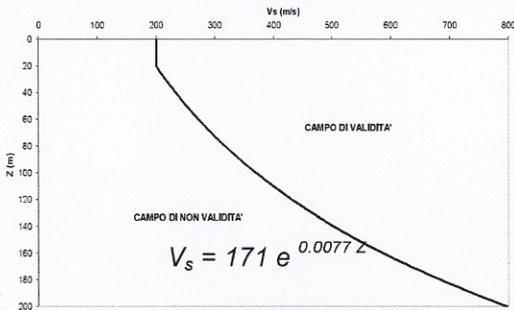
NOTE:

- Comportamento granulare
- Struttura granulo-sostenuta
- Clasti con $D_{max} > 20$ cm inferiori al 15%
- Frazione ghiaiosa inferiore al 25%
- Frazione limosa fino ad un massimo del 70%

FUSO GRANULOMETRICO INDICATIVO



ANDAMENTO DELLE Vs CON LA PROFONDITA' LITOLOGIA SABBIOSA



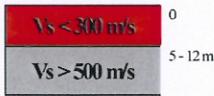
Profondità primo strato (m)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| | 1-3 | 4 | 5-12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 90 | 110 | 130 | 140 | 160 | 180 | |
| 200 | 2 | 1-2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | NA | NA | NA | | | | | | | | |
| 250 | 2 | 1-2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | NA | NA | NA | | | | | | | | |
| 300 | 2 | 1-2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | NA | NA | NA | | | | | | | | |
| 350 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | NA | NA | | | | | |
| 400 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | NA | NA | NA | | | |
| 450 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | NA | NA | NA | NA | | |
| 500 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | NA | NA | NA | NA | NA | |
| 600 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| 700 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | NA | NA | NA | NA | NA | NA |

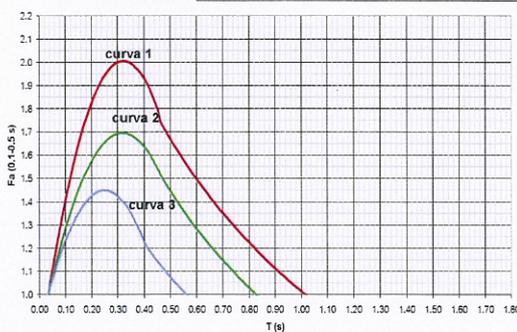
ove la sigla NA indica $Fa = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1

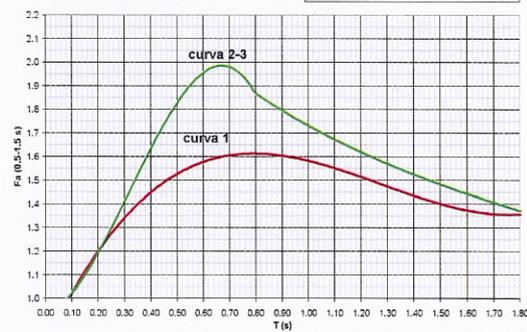
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media Vs minore o uguale a 300 m/s poggiante su strato con velocità maggiore di 500 m/s



Correlazione T - Fa 0.1-0.5 s



Correlazione T - Fa (0.5-1.5 s)



| Curva | Tratto polinomiale | Tratto logaritmico | Tratto rettilineo |
|-------|--|--|-------------------------------------|
| 1 | $0.03 \leq T \leq 0.50$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$ | $0.50 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$ | $T > 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |
| 2 | $0.03 \leq T \leq 0.45$ $Fa_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$ | $0.45 < T \leq 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$ | $T > 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |
| 3 | $0.03 \leq T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$ | $0.50 < T \leq 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$ | $T > 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |

| Curva | |
|-------|---|
| 1 | $0.08 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^2 - 2.18 T + 2.38 T + 0.81$ |
| 2 | $0.08 \leq T < 0.80$ |
| 3 | $0.80 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$ $Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$ |

**ESTRATTO DELLA RELAZIONE E
DELLE TAVOLE DELLO STUDIO
“ZONAZIONE DELLA
PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO DI
CADUTA MASSI”
(EUROGEO 2005)**



studio associato

Via Giorgio e Guido Paglia, n° 21 – 24122 **BERGAMO** – e-mail: bergamo@eurogeo.net
Tel. +39 035 248689 – +39 035 271216 – Fax +39 035 271216

REL. SS-8 20/10/2005

Comune di Casnigo (Bg)



ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO DI CADUTA MASSI



SOMMARIO

| | |
|--|-----------|
| 1. PREMESSA | 4 |
| 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO | 4 |
| 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO | 5 |
| 3.1 Casnigo Nord | 7 |
| <u>IL SUBSTRATO ROCCIOSO</u> | 7 |
| <u>I DEPOSITI QUATERNARI</u> | 7 |
| <u>GEOMORFOLOGIA</u> | 9 |
| 3.2 Casnigo Sud | 9 |
| <u>IL SUBSTRATO ROCCIOSO</u> | 9 |
| <u>I DEPOSITI QUATERNARI</u> | 10 |
| <u>GEOMORFOLOGIA</u> | 10 |
| 4. OSSERVAZIONI LITOLOGICHE E GEOMECCANICHE | 11 |
| 4.1 Casnigo Nord | 11 |
| <u>RILIEVI GEOMECCANICI</u> | 13 |
| <u>DIMENSIONI DEI MASSI LUNGO IL VERSANTE</u> | 16 |
| 4.2 Casnigo Sud | 17 |
| <u>RILIEVI GEOMECCANICI</u> | 18 |
| <u>DIMENSIONI DEI MASSI</u> | 21 |
| 5. OSSERVAZIONI SULLA COPERTURA VEGETALE | 21 |
| 5.1 Casnigo Nord | 22 |
| 5.2 Casnigo Sud | 22 |
| 6. PERICOLOSITÀ DELLE AREE | 23 |
| <u>DEFINIZIONE DELLE AREE OMOGENEE</u> | 23 |
| <u>CARATTERISTICHE DEL SOFTWARE DI SIMULAZIONE</u> | 24 |
| 6.1 Casnigo Nord | 26 |
| <u>ATTIVITÀ DELLE AREE OMOGENEE</u> | 26 |
| <u>PERICOLOSITÀ PRELIMINARE</u> | 27 |
| <u>PERICOLOSITÀ</u> | 28 |
| 6.2 Casnigo Sud | 29 |
| <u>ATTIVITÀ DELLE AREE OMOGENEE</u> | 29 |
| <u>PERICOLOSITÀ PRELIMINARE</u> | 29 |
| <u>PERICOLOSITÀ</u> | 31 |
| 7. ZONAZIONE DEL RISCHIO | 32 |
| 8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE | 34 |
| 8.1 Casnigo Nord | 34 |
| 8.2 Casnigo Sud | 34 |



ALLEGATI

1. Inquadramento geografico;
2. Inquadramento geologico;
3. Inquadramento geomorfologico;
4. Reticoli di Schmidt;
5. Scheda crolli;
6. Simulazioni matematiche;
7. Documentazione fotografica.

TAVOLE

1. Carta geomorfologica;
2. Zonazione della pericolosità preliminare;
3. Zonazione della pericolosità;
4. Carta d'uso del suolo;
5. Carta del rischio.



1. PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Casnigo è stata realizzata la zonazione del pericolo e del rischio di due aree del territorio comunale dove sono attivi fenomeni di caduta massi.

La prima area è localizzata nella parte settentrionale del comune, compresa tra la località Bot e la località Monte Penna; la seconda nella parte meridionale, nei pressi della località Romnei (Allegato 1).

Nella perimetrazione delle aree sono state rispettate le procedure suggerite dalla Struttura Rischi Idrogeologici della Regione Lombardia (*P.G. 14, Marzo 2002, pp. 39-52 e allegati*).

Per quanto riguarda i crolli di singoli massi la procedura si articola nelle seguenti fasi:

- individuazione della parete rocciosa;
- delimitazione di aree omogenee in funzione delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso, della morfologia del versante e della presenza di opere di difesa;
- simulazione di caduta tramite modelli numerici;
- zonazione longitudinale preliminare delle traiettorie di caduta evidenziando 3 zone:
 - di transito e di arresto del 70% dei blocchi;
 - di arresto del 95% dei blocchi;
 - di arresto del 100% dei blocchi;
- valutazione della probabilità di accadimento;
- zonazione finale.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Le zone in esame si trovano nel Comune di Casnigo e sono inquadrare nei fogli C4d5 e C4d4 della Carta Tecnica Regionale (CTR; scala 1:10.000) della Regione Lombardia.

Le due aree studiate sono state denominate *Casnigo Nord* e *Casnigo Sud*.



3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

In questo capitolo sono descritti gli aspetti generali inerenti la geologia del territorio di Casnigo tratti dalla Carta Geologica della Provincia di Bergamo e dallo studio geologico redatto a supporto della Variante al Piano Regolatore Generale (Allegato 2).

Il Comune di Casnigo si colloca nella parte centrale della Valle Seriana sviluppandosi prevalentemente sulla sponda orografica sinistra del fiume Serio. Le montagne che ne costituiscono i rilievi appartengono ad un ampio dominio conosciuto con il nome di Alpi Meridionali, distinto dal corpo principale della catena Alpina dalla linea Insubrica.

All'interno di questo dominio sono riconosciuti cinque settori che presentano similitudini di associazioni tettoniche:

1. La zona del basamento orobico, compresa tra la linea Insubrica e la linea Orobica (un'altra importante superficie di sovrascorrimento che attraversa in senso est-ovest la Valle Brembana);
2. La zona delle anticlinali orobiche; delimitata tra la linea Orobica a nord e la faglia Valtorta-Valcanale e costituita da un sistema di pieghe e sovrascorrimenti nella copertura Permiana;
3. La zona delle scaglie Valtorta-Valcanale e dell'autoctono Camuno, costituita da sovrascorrimenti prevalentemente nella copertura del Triassico medio;
4. La zona del Parautoctono e delle Unità Alloctone superiori; questo settore è collocato sia a sud delle scaglie di Valtorta-Valcanale che a diretto contatto con l'Anticlinale Orobica ed è costituito dalla duplice o triplice ripetizione delle successioni carbonatiche Triassiche;
5. La zona a pieghe e faglie delle Alpi; costituisce il settore più meridionale delle Prealpi, formato da unità prevalentemente Giurassiche e Cretacee e da uno stile a pieghe con asse est-ovest.

L'assetto strutturale della catena Sudalpina è il risultato di diversi episodi tettonici:

- Due fasi tettono-metamorfiche principali prealpine, presenti nel basamento metamorfico;



- Tettonica distensiva che ha caratterizzato l'intervallo di tempo tra il Permiano e il Giurassico medio; in questa fase si aprì l'oceano ligure-piemontese e il Sudalpino ricoprì il ruolo di margine continentale passivo nel cui ambito si individuò il "Bacino Lombardo";
- Tettonica compressiva iniziata nel Cretacico superiore, che causò la chiusura del Bacino Lombardo, e perdurata sino al Neogene.

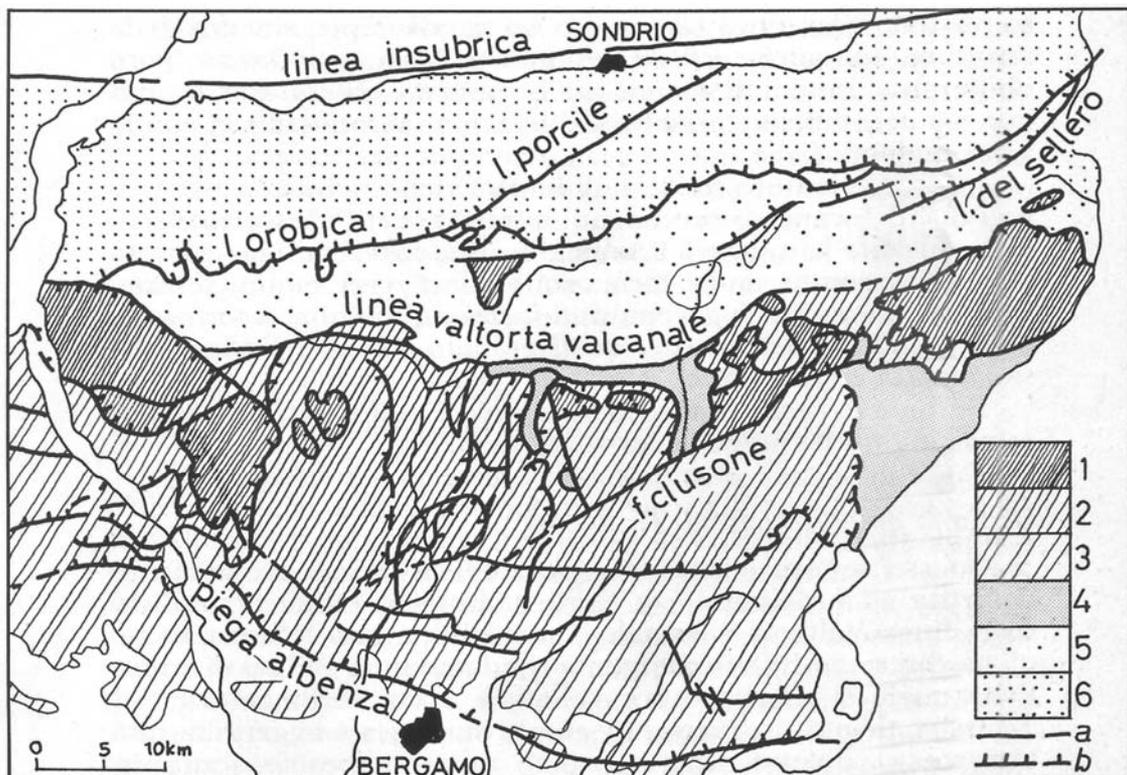


Fig. 1: Carta strutturale delle Alpi e Prealpi Bergamasche. 1 Zona delle unità alloctone superiori e delle unità Grigna e Pegherolo, 2 Zona del Parautoctono e delle unità alloctone inferiori, 3 zona a pieghe-faglie delle Prealpi, 4 Zona dell'Autoctono e delle scaglie Valtorta-Valcanale, 5 Zona delle Anticlinali Orobiche, 6 Zona del basamento Orobico a faglie, sovrascorrimenti, e pieghe faglie (Semplificato e modificato da Jadoul e Gaetani, 1979).

In particolare gli eventi che hanno maggiormente influenzato le geometrie sono quelli relativi alle fasi compressive alpine, che hanno prodotto una catena a pieghe e thrust pellicolari. Un ruolo fondamentale nella determinazione delle attuali geometrie è stato svolto dalle discontinuità generate durante la fase distensiva.

L'area di Casnigo appartiene alla zona a pieghe e faglie delle Prealpi; il substrato roccioso è formato da una successione Triassica che comprende la Dolomia principale (Norico inferiore-medio), le Dolomie Zonate (Norico medio), il Calcare di



Zorzino (Norico medio) e le Argilliti di Riva di Solto (Norico superiore). Le unità quaternarie presenti sono la Formazione di Leffe (Pliocene superiore- Pleistocene inferiore), il Complesso di Casnigo (Pleistocene inferiore) ed il Complesso del Serio (Pleistocene superiore). Il fondovalle è caratterizzato dai depositi di conoidi e alluvionali-postglaciali (Pleistocene superiore-Olocene).

3.1 Casnigo Nord

IL SUBSTRATO ROCCIOSO

In quest'area affiora la *Dolomia Principale (Norico inferiore-medio)*. La D.P. è composta in prevalenza da dolomie grigio chiare, stratificate in grossi banchi con orizzonti bioclastici; inoltre è caratterizzata dolomie grigie, grigio scure massicce con facies di piattaforma marginale e intercalazioni di breccie intraformazionali e strati di dolomie micritiche scure (facies di transizione al gruppo dell'Aralalta).

Il "*Membro basale della Dolomia Principale*" (*Carnico superiore–Norico inferiore*) è costituito da dolomie grigio scure, laminate, localmente con brecciole e orizzonti con laminazioni stromatolitiche. Nella parte sommitale del pendio in esame affiorano in un'area molto ristretta le *Argilliti di Riva di Solto (Norico superiore)*: alternanze cicliche di spessore fino a decametrico di argilliti nere, marne e calcari marnosi grigio scuri con sottili intercalazioni bioclastiche. Alla base di questa unità sono prevalenti le argilliti e le marne argillose con subordinate intercalazioni di calcari micritici, con paraconglomerati e slumping.

Gli strati in quest'area immergono grossomodo verso SE e, rispetto al pendio hanno una geometria a reggipoggio. L'instabilità dei blocchi in parete è data dalla presenza di famiglie di discontinuità con orientazione a franapoggio.

I DEPOSITI QUATERNARI

L'intero versante è coperto da una coltre di sedimenti eluvio-colluviali dello spessore di alcuni decimetri, si tratti di fini massivi con clasti sparsi. I clasti, di origine carbonatica, sono di forma prismatica e spigolosi; la matrice argilloso-limosa.

Nel fondovalle si trova l'*Unità di Gazzaniga*, facente parte dei *Depositi fluvioglaciali del Complesso del Serio*, (*Pleistocene superiore*). Si tratta di ghiaie stratificate a supporto clastico, matrice da assente ad abbondante, sabbiosa grossolana; ciottoli



arrotondati, selezionati, embricati; sabbie fini con laminazioni parallele corrispondenti a depositi alluvionali. I clasti sono prevalentemente carbonatici, con subordinati (40%) silicoclasti provenienti dall'alta valle. L'alterazione dei depositi è pressoché nulla; nel tratto a monte si osserva decarbonatazione solo entro i primi dieci centimetri dalla superficie, scendendo verso la pianura la profondità del fronte di decarbonatazione aumenta lievemente, non superando però mai il metro. L'unità costituisce terrazzi discontinui sia sulla riva sinistra sia su quella destra del Fiume Serio; il dislivello massimo fra il tetto dell'unità e il corso attuale del fiume non supera i 10 m. Il limite inferiore dell'unità di Gazzaniga non è mai esposto, il limite superiore è sempre la superficie topografica.

Nella fascia di raccordo tra il fondovalle ed il pendio si trova l'*Unità dei Depositi postglaciali di conoide ed alluvionali, (Pleistocene inferiore)* (Allegato 2).

I *Depositi di conoide* sono localizzati allo sbocco di corsi d'acqua, anche di carattere temporaneo, nei solchi vallivi. Sono costituiti da ghiaie anche ben selezionate con matrice sabbiosa abbondante, a supporto sia clastico che di matrice, grossolanamente stratificate; più raramente si osservano sabbie e ghiaie ben lavate. Frequentemente i clasti sono arrotondati, specie se provenienti dalla demolizione di depositi precedenti, ma l'arrotondamento può essere da scarso a nullo, in funzione del trasporto subito. Questi sedimenti sono solitamente organizzati in corpi lenticolari clinostratificati, spesso massivi, o con ciottoli isoorientati o a gradazione inversa (fenomeni di deposizione in massa), o con strutture minori quali laminazioni oblique a caratteristiche tipiche dei reticolati idrografici di tipo *braided*. I clasti sono litologicamente riferibili ai litotipi dei bacini di alimentazione locali.

I *Depositi alluvionali* si concentrano lungo le aste dei corsi d'acqua, a carattere sia effimero che perenne e sono costituiti da ghiaie a ciottoli e blocchi con matrice sabbiosa, sabbie anche con ciottoli, ghiaie ben selezionate. Le ghiaie sono in prevalenza a supporto clastico e ciottoli ben arrotondati; ovviamente nei corsi d'acqua minori e nelle aree di alimentazione la maturità tessiturale del sedimento è minore. In questi depositi, organizzati in corpi sia lenticolari che stratoidi, si osservano strutture sedimentarie dovute all'azione di corrente, quali ciottoli embricati, laminazioni oblique a basso angolo, laminazione incrociata. I clasti rispecchiano i litotipi affioranti nel bacino a monte.



GEOMORFOLOGIA

A livello geomorfologico la parte sommitale del pendio presenta forme tipiche del paesaggio carsico con pinnacoli e doline (Allegato 3); la roccia affiorante mostra evidenti i segni dell'azione carsica (karren,...). I Pinnacoli hanno dimensioni metriche e rendono la superficie topografica irregolare, possono costituire sia ostacolo naturale al rotolamento di blocchi di piccole dimensioni sia alimentare il distacco in caso di crollo.

La parte inferiore del pendio è ha una morfologia più regolare, con minori evidenze di carsismo; il substrato roccioso è coperto da una coltre decimetrica di depositi eluvio-colluviali.

Alla base del pendio sono riconoscibili per la particolare morfologia della superficie topografica accumuli di frana dovuti a rilasci del versante per gravità.

Il tratto di raccordo tra il pendio e l'alveo del Fiume Serio, sede degli insediamenti industriali e delle infrastrutture viabilistiche è subpianeggiante e formato da depositi alluvionali attuali (ghiaie, ciottoli e blocchi in matrice sabbiosa).

3.2 Casnigo Sud

IL SUBSTRATO ROCCIOSO

Il substrato roccioso è il *Calcarea di Zorzino (Norico medio)* formato da calcari micritici scuri ben stratificati, localmente con intercalazioni calcarenitiche torbiditiche, slumping e giunti marnosi, appartiene con le Dolomie zonate e la Dolomia Principale al Gruppo dell'Aralta.

Gli strati rocciosi immergono grossomodo verso SE ed assumono una geometria a traverpoggio rispetto alla giacitura del pendio.

Localmente affiorano stock porfiritici metrici, superficialmente arenizzati (Allegato 7: Foto 32).



I DEPOSITI QUATERNARI

Nella parte inferiore del pendio si trovano i depositi *dell'Unità di Gazzaniga* (appartenenti ai *Depositi fluvioglaciali del Complesso del Serio*) e i *Depositi postglaciali di conoide ed alluvionali*, la cui composizione tessiturale è la stessa descritta nel paragrafo precedente.

GEOMORFOLOGIA

La parte sommitale del pendio e il pianoro soprastante (località Romnei) presentano una morfologia articolata dovuta all'attività carsica che in questa zona ha formato un esteso campo di doline.

Il substrato roccioso ha subito in quest'area un'alterazione ad organi geologici: l'alterazione si è sviluppata in profondità con un fronte ondulato dando luogo a forti differenze di pervasività verticale. Nelle aree di maggiore alterazione si sono sviluppati suoli di terre rosse che hanno raggiunto spessori decimetrici (Allegato 7: Foto 23).

La roccia in posto è generalmente subaffiorante, coperta da una coltre di spessore decimetrico di depositi eluvio-colluviali.

Affioramenti di roccia si trovano negli impluvi ed in corrispondenza di rotture di pendio, ove la coltre di terreno superficiale non può accumularsi.



4. OSSERVAZIONI LITOLOGICHE E GEOMECCANICHE

4.1 Casnigo Nord

L'area di Casnigo Nord (località Bot) è formata da un versante molto acclive, con pendenze medie attorno ai 35° e massime superiori ai 50°

I rilievi in sito hanno permesso di distinguere tre aree omogenee denominate, da nord a sud, 1N, 2N e 3N.

L'Area Omogenea N1 è formata da pareti rocciose alte una ventina di metri (Foto 1 e 2) con base a circa 530 m slm di quota. Costituiscono le zone di potenziale distacco dei massi.

In alcuni settori sono attraversate da discontinuità con apertura centimetrica che isolano blocchi di dimensioni metriche. Il pendio sottostante le pareti è formato da depositi eluvio-colluviali di natura argilloso-limosa con rari clasti sparsi, spigolosi e subangolosi. Localmente la roccia è subaffiorante.

I massi distaccatisi dalla parete e fermatisi al piede appaiono, in taluni casi, in condizioni di equilibrio limite. Si tratta di blocchi di dimensioni il mezzo metro cubo potenzialmente riattivabili.

L'Area Omogenea N2 è suddivisibile in due zone: una a monte, sopra i 450 m slm, e una a valle. Nella zona a monte si trova roccia affiorante che ha subito l'azione carsica; mancano pareti subverticale di dimensioni ragguardevoli ma sono presenti pinnacoli alti tra i tre ed i quattro metri.

La zona a valle si presenta come un pendio piuttosto regolare di depositi eluvio-colluviali, di spessore decimetrico, e raramente di roccia affiorante. Numerosi blocchi di dimensioni da decimetriche a metriche sono sparsi sul versante ed in taluni casi in condizioni di equilibrio limite.

Nell'Area Omogenea N3 si trovano pareti con sviluppo verticale attorno a cinque metri; sono costituite da ammassi rocciosi (simili a quelli della zona a monte dell'area omogenea 2N) con blocchi, isolati da discontinuità con aperture centimetriche, di dimensioni fino ad una decina di metri cubi. Anche in questa zona sono presenti massi sparsi sul pendio di dimensioni fino al metro cubo.



In ogni area omogenea così definita sono stati eseguiti i rilievi strutturali allo scopo di stabilire le dimensioni dei massi che potrebbero distaccarsi dalla parete. Tali dati sono stati integrati con l'osservazione e la quantificazione del volume dei singoli blocchi già rotolati e arrestatisi lungo il versante.



RILIEVI GEOMECCANICI

Rilievo N. 1N

Descrizione geologica: Dolomia Principale, massiva (stratificazione non evidente), colore grigio

Giacitura affioramento: 315/90

Dimensioni: 10 m x 5 m

Classe: R2

Alterazione ammasso: W1-W2

TABELLA 1: caratteristiche dei set di discontinuità

| Set | Giac. | Spaz. (cm) | Pers. (%) | Alt. Disc. | Apertura (mm) | Ondulaz. | Riemp. | Acqua |
|------|--------|---------------|-----------|------------|----------------|----------|-------------------------|---------|
| S-k1 | 227/18 | 35, >100 | <50% | WD1 | Serrate; 2,5÷5 | Planare | Assente | Assente |
| k2 | 310/80 | 30, 40, (2,4) | 50÷90 | WD1 | <1; 2,5÷5 | Ondulata | Assente; (rara calcite) | Assente |
| K3 | 37/77 | 20, 20, 25 | 50÷>90 | WD1 | Serrate; 1÷2,5 | Ondulata | Assente | Assente |

Intercetta verticale (disc/m): 8 - 10

Intercetta orizzontale (disc/m): 6 - 8

Volume Roccioso unitario: minimo 0,5 cm³
massimo 0,25 m³

Forma dei clasti: angolosa, subarrotondata

Rilievo N. 2N

Località Bot

Descrizione geologica: Dolomia Principale, da massiva a molto fratturata; colore grigio.

Giacitura affioramento: 315/85

Dimensioni: 15 m x 3 m

Classe: R2

Alterazione ammasso: W2-W3



TABELLA 2: caratteristiche dei set di discontinuità

| Set | Giac. | Spaz. (cm) | Pers. (%) | Alt. Disc. | Apertura (mm) | Ondulaz. | Riemp. | Acqua |
|------|--------|---------------|-----------|------------|---------------|----------|--------------------|---------|
| S-k1 | 117/73 | 100, 60 | >90 | WD1 | >5 | Planare | Assente, granulare | Assente |
| k2 | 114/20 | 90, 100, >150 | 50÷90 | WD1 | >5 | Planare | Assente, granulare | Assente |
| K3 | 273/65 | 100, 200 | 50÷90 | WD1 | >5 | Planare | Assente, granulare | Assente |

Intercetta verticale (disc/m): 2 – 3

Intercetta orizzontale (disc/m): 2 - 3

Volume Roccioso unitario: minimo 0,5 cm³
massimo 3 m³

Forma dei clasti: angolosa, subarrotondata

Rilievo N. 3N

Località Bot

Descrizione geologica: Dolomia Principale, colore grigio.

Giacitura affioramento: 290/85

Dimensioni: 10 m x 3 m

Classe: R2

Alterazione ammasso: W2-W3

TABELLA 3: caratteristiche dei set di discontinuità

| Set | Giac. | Spaz. (cm) | Pers. (%) | Alt. Disc. | Apertura (mm) | Ondulaz. | Riemp. | Acqua |
|------|--------|--------------|-----------|------------|---------------|----------|--------------------|---------|
| S-k1 | 150/66 | 15, 90, >150 | >90 | WD1, WD2 | >5 | Planare | Assente, granulare | Assente |
| k2 | 39/65 | 10, 100 | 50÷90 | WD1, WD2 | >5 | Planare | Assente, granulare | Assente |
| k3 | 174/85 | NV | 50÷90 | WD1, WD2 | 1÷2,5 | Planare | Assente, granulare | Assente |
| k4 | 127/20 | 70, >200 | <50 | WD1, WD2 | >5 | Planare | Assente, granulare | Assente |

Intercetta verticale (disc/m): 2 – 3

Intercetta orizzontale (disc/m): 2 - 3

Volume Roccioso unitario: minimo 0,5 cm³



massimo 3 m³

Forma dei clasti: angolosa, subarrotondata

La discontinuità k3 non appartiene agli altri set e quindi non è valutabile la spaziatura.

Rilievo N. 4N

Questo affioramento è uno scavo in sezione eseguito per la costruzione della mulattiera che dalla località Colle Petta porta verso la località Bot. Sono visibili due set di discontinuità le cui giaciture sono riportate in tabella 4.

La roccia (Dolomia principale) è massiva e non presenta segni di alterazione.

TABELLA 4: giaciture dei set di discontinuità

| Set | Giac. |
|-----|--------|
| k1 | 132/22 |
| k2 | 18/77 |

Rilievo N. 5N

Località Colle Petta

Descrizione geologica: Dolomia Principale, massiva, colore grigio.

Giacitura affioramento: 280/85

Dimensioni: 15 m x 3 m

Classe: R2

Alterazione ammasso: W1-W2

TABELLA 5: caratteristiche dei set di discontinuità

| Set | Giac. | Spaz. (cm) | Pers. (%) | Acqua |
|------|---------|--------------|-----------|---------|
| S-k1 | 320/30 | 1,50, 70, 40 | >90 | Assente |
| k2 | 172/286 | NV | NV | Assente |
| k3 | 82/81 | NV | NV | Assente |



L'ammasso roccioso è composto dalla Dolomia Principale massiva, attraversata da discontinuità con aperture centimetriche che isolano blocchi di grandi dimensioni con volumi fino a $5-10 \text{ m}^3$ (Allegato 7: Foto 9, 10 e 11). Le aperture sono beanti e presentano i segni dell'azione carsica. Sebbene al momento del rilievo non sono state evidenziate venute d'acqua si intuisce che le discontinuità sono la sede della circolazione carsica (Allegato 7: Foto 7 e 8).

Blocchi di tali dimensioni non sono stati considerati nelle simulazioni matematiche poiché, vista la conformazione del pendio (formato da pinnacoli e roccia subaffiorante), un eventuale ribaltamento comporterebbe una disgregazione in blocchi di dimensioni inferiori.

In allegato 4.1 sono riportati i Reticoli di Schmidt delle famiglie di discontinuità rilevate. In giallo sono evidenziate le ciclografiche ed i poli della stratificazione; in rosso quelle relative alle fratture; in verde quelle relative ai versanti.

DIMENSIONI DEI MASSI LUNGO IL VERSANTE

Oltre ai rilievi effettuati sugli affioramenti è stato eseguito un censimento dei blocchi sparsi sul pendio in quanto rappresentativi delle volumetrie in gioco (Tab. 6).

TABELLA 6: Dimensione di alcuni blocchi sparsi sul versante

| N. masso | Dimensioni(cm) | | | Volume(m³) |
|-----------------|-----------------------|----|-----|------------------------------|
| 1 | 100 | 40 | 35 | 0,14 |
| 2 | 40 | 60 | 45 | 0,11 |
| 3 | 80 | 70 | 100 | 0,56 |
| 4 | 50 | 30 | 60 | 0,09 |
| 5 | 40 | 95 | 100 | 0,38 |
| 6 | 70 | 80 | 80 | 0,45 |

Considerando con maggiore attenzione i blocchi trovati alla base del pendio (più pericolosi in quanto dotati di maggiore energia durante il rotolamento), si è stabilito un volume medio (V_m) di $0,25 \text{ m}^3$, e un volume massimo (V_{max}) di 1 m^3 .

Utilizzando queste volumetrie e considerando un peso di volume compreso tra 2300 kg/m^3 e 2850 kg/m^3 si ottengono masse di circa $m_1 = 712,5 \text{ kg}$ ed $m_2 = 2850 \text{ m}^3$.



Cautelativamente nelle simulazioni sono stati inseriti valori leggermente arrotondati in eccesso.

Infine per tenere conto della possibilità di frantumazione dei blocchi all’impatto con la superficie del pendio e ipotizzando in tali casi una velocità di “distacco” maggiore della usuale, nei parametri iniziali del modello matematico, è stata inserita una deviazione standard maggiore relativamente ai parametri della velocità orizzontale, verticale ed angolare di partenza.

4.2 Casnigo Sud

L’area di Casnigo Sud è formata da un versante a tratti acclive che raccorda l’alveo del torrente Romna con l’altopiano di località Romnei. Le pareti rocciose sono localizzate nella parte meridionale di questo settore.

I rilievi in sito hanno permesso di distinguere tre aree omogenee denominate 1S, 2S e 3S.

L’Area Omogenea 1S individua una zona acclive formata da pareti rocciose di dimensioni significative.

Gli affioramenti si estendono in modo discontinuo per circa 250 m ed hanno sviluppo verticale superiore a 5 m. Il resto del pendio è costellato di massi di dimensioni eterogenee (da decimetriche a mezzo metro cubo), che si concentrano in piccoli avvallamenti del versante.

L’Area Omogenea 2S è anch’essa acclive ma formata da roccia subaffiorante solo a tratti affiorante. Il distacco dei blocchi si ha in corrispondenza di:

- rotture di pendio ove la roccia passa da subaffiorante ad affiorante;
- massi isolati sparsi lungo il versante.

In passato l’area è stata oggetto di distacchi di un certo rilievo come il masso di un metro cubo circa che ha raggiunto gli insediamenti industriali della ditta FAB S.p.a. nel gennaio 2004. Percorrendo a ritroso la probabile traiettoria del masso è stata riconosciuto il punto di distacco e il meccanismo di innesco in corrispondenza di una rottura del pendio che ha favorito il distacco di un blocco isolato dal sistema di discontinuità dell’ammasso roccioso.



Situazioni simili sono difficilmente riconoscibili prima che il fenomeno si palesi, poiché la copertura superficiale non permette l'osservazione dell'apertura delle discontinuità che isolano i blocchi.

L'Area Omogenea 3S ha un'estensione molto limitata. E' presente una parete di roccia di limitata estensione e alta circa 3 metri.

Non sono state osservate situazioni di particolare gravità sia per lo scarso sviluppo della possibile zona di distacco, sia per la topografia della versante che non consente ai blocchi di percorrere lunghe distanza e quindi di accumulare energia.

RILIEVI GEOMECCANICI

Rilievo N. 1S

Descrizione geologica: Calcare di Zorzino, stratificato; strati da centimetreci a decimetrici. L'ammasso roccioso è alterato.

Giacitura affioramento: 30/56

Dimensioni: 10 m x 4 m

Classe: R2

Alterazione ammasso: W3

TABELLA 7: caratteristiche dei set di discontinuità

| Set | Giac. | Spaz. (cm) | Pers. (%) | Alt. Disc. | Apertura (mm) | Ondulaz. | Riemp. | Acqua |
|------|--------|----------------|-----------|-------------|---------------|----------|---------|---------|
| S-k1 | 80/70 | 20 (max 30) | >90 | WD3- WD4 | <1 ÷ 2,5 | Ondulato | Argilla | Assente |
| k2 | 340/60 | 15 (max 30) | 50÷90 | WD3- WD4 | 1÷2,5; >5 | Ondulato | Argilla | Assente |
| k3 | 203/75 | 10 (max 27) | >90 | WD3- WD4 | <1; 2,5÷5 | Planare | Argilla | Assente |

Intercetta verticale (disc/m): 8 - 25

Intercetta orizzontale (disc/m): 13 - 26

Volume Roccioso unitario: medio $1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$

minimo $8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

massimo $0,1 \text{ m}^3$

Forma dei clasti: prismatica, tabulare; angolosa, spigolosa



Questo affioramento presenta un'elevata alterazione. Blocchi apparentemente sani si rompono facilmente; le superfici delle discontinuità hanno una patina di colore rosso. In frattura il colore del materiale roccia è grigio chiaro. La parte superiore dell'affioramento è ricoperta da un suolo di colore rosso, argilloso-limoso, con poca sabbia media. La parte inferiore dell'affioramento sembra essere meno alterata.

Rilievo N. 2S

Località Romnei

Descrizione geologica: Calcare di Zorzino, stratificato e fratturato

Giacitura affioramento: 15/62

Dimensioni: 10 m x >3 m

Classe: R2

Alterazione ammasso: W2

TABELLA 8: caratteristiche dei set di discontinuità

| Set | Giac. | Spaz. (cm) | Pers. (%) | Alt. Disc. | Apertura (mm) | Ondulaz. | Riemp. | Acqua |
|------|--------|----------------|-----------|------------|---------------|----------|----------------|---------|
| S-k1 | 215/18 | 25 (max 50) | > 90 | WD1 | 1÷2,5 | Planare | Coesivo (raro) | Assente |
| k2 | 31/66 | 22 (max 40) | < 50 | WD1 | <1÷2,5 | Planare | Assente | Assente |
| k3 | 29/60 | 19 (max 30) | < 50 | WD1 | <1÷2,5 | Planare | Assente | Assente |

Intercetta verticale (disc/m): 14 - 13

Intercetta orizzontale (disc/m): 7 - 6

Volume Roccioso unitario: medio $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

minimo $1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$

massimo $0,12 \text{ m}^3$

Forma dei clasti: prismatica, tabulare; angolosa, spigolosa



Rilievo N. 3S

Località Romnei

Descrizione geologica: Calcare di Zorzino, stratificato e fratturato.

Giacitura affioramento: 45/85

Dimensioni: 5 m x 3 m

Classe: R2

Alterazione ammasso: W1-W2

TABELLA 9: caratteristiche dei set di discontinuità

| Set | Giac. | Spaz. (cm) | Pers. (%) | Alt. Disc. | Apertura (mm) | Ondulaz. | Riemp. | Acqua |
|------|--------|------------|-----------|------------|---------------|----------|--------------|---------|
| S-k1 | 160/13 | 30, 60 | >90 | WD1 | <1 ÷ 2,5 | Planare | Poca argilla | Assente |
| k2 | 290/80 | 20, 40 | 50 ÷ >90 | WD1 | 1 ÷ 2,5 | Planare | Poca argilla | Assente |
| k3 | 359/85 | 7 | 50 ÷ >90 | WD1 | 1 ÷ 2,5 | Planare | Poca argilla | Assente |

Intercetta verticale (disc/m): 7 - 8

Intercetta orizzontale (disc/m): 6 - 14

Volume Roccioso unitario: medio $6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

minimo $1 \cdot 10^{-6} \text{ dm}^3$

massimo $0,25 \text{ m}^3$

Forma dei clasti: prismatica, tabulare; angolosa, spigolosa

Questo affioramento si può suddividere in due parti, una superiore ed una inferiore; la prima è massiva, la seconda intensamente fratturata. Le discontinuità dei set k2 e k3 hanno una persistenza inferiore rispetto a quelle del set k1; esse interessano comunque tutto lo spessore degli strati, isolando blocchi di roccia di dimensioni decimetriche.

In allegato 4.2 sono riportati i Reticoli di Schmidt relativi alle giaciture rilevate. In giallo sono evidenziate le ciclografiche ed i poli della stratificazione; in rosso quelle relative alle fratture; in verde quelle relative ai versanti.



DIMENSIONI DEI MASSI

Oltre ai rilievi effettuati sugli affioramenti è stato eseguito un censimento dei blocchi sparsi sul pendio in quanto rappresentativi delle volumetrie in gioco (Tab. 10).

TABELLA 10: dimensione di alcuni blocchi sparsi sul versante (* masso presso ditta FAB S.p.a.)

| N. Masso | Dimensioni (cm) | | | Volume (m³) |
|-----------------|------------------------|-----|-----|-------------------------------|
| 1 | 60 | 30 | 40 | 0,07 |
| 2 | 45 | 60 | 35 | 0,1 |
| 3 | 60 | 80 | 85 | 0,41 |
| 4 | 50 | 80 | 60 | 0,24 |
| 5 | 45 | 25 | 20 | 0,02 |
| 6* | 120 | 100 | 100 | 1,20 |

Considerando con attenzione i blocchi trovati alla base del pendio (più pericolosi in quanto dotati di maggiore energia durante il rotolamento), si è stabilito un volume medio (V_m) di $0,30 \text{ m}^3$, mentre il volume massimo (V_{max}) è $1,2 \text{ m}^3$.

Il peso di volume dei calcari utilizzato per la definizione dei valori di massa inserito nel modello matematico è di 2500 kg/m^3 . Si ottengono masse di circa $m_1 = 750 \text{ kg}$ e $m_2 = 3000 \text{ kg}$.



5. OSSERVAZIONI SULLA COPERTURA VEGETALE

5.1 *Casnigo Nord*

La copertura vegetale è formata da boschi cedui, altofusti di diametro decimetrico e scarso sottobosco arbustivo. Questa tipologia di vegetazione contribuisce a rallentare e in alcuni casi bloccare massi di piccole dimensioni (nell'ordine di 25/30 cm³) ma non ha effetti significativi su massi di dimensioni maggiori.

5.2 *Casnigo Sud*

La copertura vegetale del pendio è formata principalmente da altofusti e risulta nel complesso libera da arbusti e rovi. Le dimensioni degli alberi presenti sono tali da poter rallentare ed in alcuni casi fermare massi di piccole dimensioni. Tuttavia una vegetazione di questo tipo non svolge una funzione protettiva sufficiente a rallentare massi di dimensioni metriche, come già verificato nel caso del blocco rotolato sino al limite dell'edificio dell'azienda FAB S.p.a..



6. PERICOLOSITÀ DELLE AREE

DEFINIZIONE DELLE AREE OMOGENEE

Le indicazioni della Struttura Rischi Idrogeologici della Regione Lombardia suggeriscono di suddividere le pareti rocciose (potenziale origine dei crolli) in aree omogenee, a seconda delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso (definite tramite i rilievi effettuati), della morfologia del versante e della presenza di opere di difesa.

Nel caso in esame il fenomeno di rotolamento massi non è strettamente legato alla presenza di pareti rocciose. La presenza di massi appoggiati sui versanti e di roccia subaffiorante costituiscono degli elementi di pericolosità oggettivi (come testimoniato da recenti accadimenti) non trascurabili. La normativa regionale non prevede un contesto di tale tipo lasciando una lacuna nella metodologia di zonazione.

Per ovviare a questo problema si è deciso di effettuare una suddivisione preliminare delle aree omogenee, a seconda che esse siano caratterizzate da:

- presenza di pareti rocciose;
- assenza di pareti rocciose e presenza di massi isolati e roccia subaffiorante.

A seconda della tipologia di area omogenea identificato sono state utilizzate due differenti metodologie di zonazione, qui di seguito esposte.

Aree formate da pareti rocciose

Per ogni area omogenea è stata valutata la propensione al distacco, suddividendo le pareti in maglie di 20 m x 20 m e verificando la presenza dei seguenti elementi di instabilità:

- fratture aperte con evidenze di attività associate a cinematismi possibili;
- blocchi ruotati;
- zone intensamente fratturate;
- superfici non alterate che testimoniano recenti distacchi;



- emergenze di acqua alla base dei blocchi.

In ogni maglia il punteggio di attività massima è 5; sommando i valori ottenuti per tutta la griglia rapportati al valore massimo possibile sono state calcolate le percentuali di attività delle aree omogenee e conseguentemente sono stati assegnati i valori di attività (ALTA, MEDIA, BASSA).

Aree non formate da pareti rocciose

In queste aree è impossibile valutare la propensione al distacco con il metodo di cui sopra. A queste aree omogenee è stata assegnata una propensione al distacco BASSA.

CARATTERISTICHE DEL SOFTWARE DI SIMULAZIONE

Il programma utilizzato per la modellizzazione è ROCKFALL Ver. 4.042 delle RocScience Inc. di Toronto (CANADA).

L'algoritmo di calcolo è suddiviso in tre sezioni distinte: l'algoritmo di particella, l'algoritmo del moto dei proiettili e l'algoritmo dello scivolamento. L'algoritmo di particella verifica che tutti i parametri della simulazione siano validi, regola le condizioni iniziali in preparazione all'esecuzione dei successivi algoritmi e avvia l'algoritmo del moto dei proiettili. L'algoritmo del moto dei proiettili è utilizzato per calcolare il movimento dei massi durante la fase di volo, compresa tra due rimbalzi successivi sul pendio. L'algoritmo di scivolamento è utilizzato per calcolare il movimento dei massi mentre sono in contatto con il pendio. La maggior parte dell'elaborazione dati nella simulazione riguarda l'algoritmo del moto dei proiettili.

Ogni masso è modellizzato come un cerchio di dimensioni infinitesimali; in questo modo le dimensioni e la forma dei massi non influenzano gli algoritmi. Le equazioni utilizzate nell'algoritmo di scivolamento implicano una forma circolare. Poiché non ci sono interazioni tra particelle, ogni roccia si comporta come se fosse l'unica presente nella simulazione.

Sebbene i massi siano considerati puntiformi, posseggono una massa. La massa non è utilizzata nelle equazioni per il calcolo delle traiettorie che non ne risultano dunque influenzate. La massa dei massi è utilizzata solo per il calcolo delle energie cinetiche quando vengono creati i grafici e presentati i risultati. La massa rimane



costante durante tutta la simulazione. I blocchi non si frazionano in alcun modo durante la simulazione. La massa può essere specificata come un valore costante oppure come una distribuzione casuale di valori.

L'attrito dell'aria non è considerato in alcuna equazione. Si suppone che i blocchi abbiano una massa e una velocità sufficientemente bassa da rendere trascurabile l'effetto dell'attrito dell'aria.

Il pendio è modellato come un gruppo continuo di segmenti lineari, connessi tra loro agli estremi. I segmenti non possono intersecarsi tra loro e i vertici non possono coincidere. A parte queste restrizioni la costruzione del pendio è libera.

L'algoritmo del moto dei proiettili

Questo algoritmo assume che i massi abbiano una velocità che li conduce da un punto del pendio ad un altro. La traiettoria percorsa dai massi è descritta dalle equazioni del moto parabolico dei proiettili e risulterà dunque una parabola.

L'algoritmo di scivolamento

Questo algoritmo è utilizzato per calcolare il movimento dei massi dopo che sono usciti dall'algoritmo del moto dei proiettili. I massi possono scivolare su ognuno dei segmenti che costituiscono il pendio e su ogni barriera. Ognuno dei tratti di pendio su cui i massi possono scivolare consiste in un segmento lineare caratterizzato da un angolo di inclinazione (θ) e un angolo di attrito (Φ). L'angolo di attrito del pendio può essere specificato come un valore costante oppure come una distribuzione casuale di valori. Il Masso può cominciare a scivolare in ogni punto lungo il segmento e avere una velocità iniziale diretta verso il basso o l'alto del pendio. Solo la componente tangenziale al pendio è considerata nelle equazioni di questo algoritmo. Una volta cominciato lo scivolamento, l'algoritmo utilizzato dipende dal verso iniziale della velocità.

Parametri da inserire

Al fine di dare un'interpretazione statistica alle simulazioni, i parametri che entrano in gioco nel modello di calcolo sono tutti forniti di una deviazione standard introdotta



dall'utente. Inoltre il programma utilizza, nel calcolo degli algoritmi, una variabile casuale che, a parità di condizioni iniziali, fornisce una distribuzione normale dei punti di arresto dei blocchi dopo il primo rimbalzo; tutti i rimbalzi successivi subiscono poi la stessa dispersione. In questo modo due masse con stesso punto d'origine possono avere due traiettorie molto differenti.

La geometria del pendio è definita bidimensionalmente e ogni vertice ha una deviazione standard; in questo modo si può ovviare a delle piccole incertezze geometriche o simulare un modello pseudo-3D. L'inclinazione dei tratti del pendio influenza notevolmente le accelerazioni e le decelerazioni dei massi variando di conseguenza le traiettorie che assumono.

Il materiale che costituisce il pendio è caratterizzato dai coefficienti di restituzione normale R_n e tangenziale R_t , dall'angolo di attrito dinamico Φ e dalla rugosità del pendio, definita da una deviazione standard rispetto all'inclinazione del pendio. Per i primi tre parametri è possibile inserire una deviazione standard.

Le condizioni iniziali dei blocchi sono definite dalla zona di distacco (che può essere puntuale o lineare), dalla velocità orizzontale, dalla velocità verticale e dalla velocità angolare dei massi. L'altro parametro iniziale da inserire è la massa dei blocchi.

Una volta inserite le condizioni al contorno si esegue la simulazione su di un numero a scelta di massi.

Il modello restituisce le seguenti informazioni:

- profilo del pendio con le traiettorie calcolate;
- istogramma dei punti di arresto dei massi e relative statistiche;
- grafici riguardanti la velocità dei massi, l'energia cinetica, l'altezza di volo,

6.1 Casnigo Nord

ATTIVITÀ DELLE AREE OMOGENEE

Ad ognuna delle tre aree omogenee in cui è stata suddivisa questa porzione di territorio sono state assegnate le rispettive classi di attività, riportate in tabella 11.



L'area omogenea N2 è stata classificata con attività bassa in quanto non sono presenti pareti rocciose suddivisibili in maglie.

TABELLA 11: propensione al distacco di blocchi nelle rispettive aree omogenee

| Area omogenea | Percentuale di attività | Classe di attività |
|---------------|-------------------------|--------------------|
| N1 | 43 % | MEDIA |
| N2 | N.v. | BASSA |
| N3 | 45 % | MEDIA |

PERICOLOSITÀ PRELIMINARE

La carta della Pericolosità Preliminare (TAV. 2N) è stata realizzata analizzando le traiettorie di caduta lungo sette profili di caduta.

Parametri inseriti nel modello matematico

TABELLA 12: parametri che definiscono le caratteristiche dei materiali lungo i profili modellizzati

| Materiale pendio | R_n | St. dev. | R_t | St. dev. | ϕ | St. dev. | Rugosità (St. dev.) |
|---------------------------------|-------|----------|-------|----------|--------|----------|---------------------|
| Detrito vegetato terreno | 0,30 | 0,05 | 0,83 | 0,05 | 24,00 | 0,05 | 0,20 |
| Roccia | 0,42 | 0,05 | 0,92 | 0,05 | 30,00 | 0,05 | 0,20 |
| Roccia subaffiorante | 0,35 | 0,04 | 0,85 | 0,04 | 30,00 | 2,00 | 0 |
| Suolo | 0,25 | 0,05 | 0,55 | 0,05 | 21,00 | 0,05 | 0,20 |
| Asfalto | 0,40 | 0,04 | 0,90 | 0,04 | 30,00 | 2,00 | 0,20 |

Ai vertici dei segmenti che costituiscono i profili è stata assegnata una deviazione standard pari a $St.Dev = 0,1$. I parametri che definiscono i materiali nei profili sono elencati nella tabella 12.

I parametri utilizzati per modellizzare le condizioni iniziali della simulazione sono elencati nella successiva tabella 13.



TABELLA 13: valori dei parametri iniziali della simulazione per i blocchi che si staccano dalle pareti

| | Valore | St. dev. |
|--------------------------------|------------------|-----------------|
| V_{verticale} | 0,2 m/s | 0,4 |
| V_{orizzontale} | 0,2 m/s | 0,4 |
| Massa | 750 kg – 3000 kg | 0,2 |
| Velocità angolare | 0,2 m/s | 0,4 |

Per la simulazione del rotolamento dei massi appoggiati sul pendio sono stati utilizzati, in alcuni profili, i parametri elencati nella seguente tabella 14.

TABELLA 14: valori dei parametri iniziali della simulazione per i blocchi sparsi sul pendio

| | Valore | St. dev. |
|--------------------------------|---------------|-----------------|
| V_{verticale} | 0,001 m/s | 0,2 |
| V_{orizzontale} | 0,001 m/s | 0,2 |
| Massa | 750 kg | 0,2 |
| Velocità angolare | 0,001 m/s | 0,2 |

I profili utilizzati per le simulazioni, le traiettorie ottenute e i grafici relativi a energia, velocità e altezza di volo, sono riportati in allegato 6.

Grazie ai risultati delle simulazioni matematiche sono state costituite, per ogni zona omogenea, le fasce di pericolosità preliminare H4, H3 ed H2 a seconda delle percentuali di arresto dei massi ottenute. E' stata aggiunta, la fascia di pericolosità preliminare H1 (bassa pericolosità).

PERICOLOSITÀ

La zonazione della Pericolosità (TAV. 3N) è ottenuta dalla sovrapposizione della zonazione preliminare con le percentuali di attività di ogni zona omogenea. A seconda che l'attività sia stata definita ALTA, MEDIA o BASSA, i valori delle classi di pericolosità relativa sono stati aumentati di 1, mantenuti uguali o diminuiti di 1. Si sono ottenute 5 fasce di pericolosità, appartenenti alle classi H4, H3, H2, H1 e H0. La classe H0 (Pericolosità potenziale) è il risultato dell'abbassamento della classe di pericolosità preliminare H1 ad H0 nelle aree omogenee con BASSA propensione al distacco.



6.2 Casnigo Sud

ATTIVITÀ DELLE AREE OMOGENEE

Ad ognuna delle tre aree omogenee in cui è stata suddivisa questa porzione di territorio sono state assegnate le rispettive classi di attività, riportate in tabella 15.

- L'area omogenea S1 è stata classificata con attività bassa;
- l'area omogenea S2 è stata classificata con attività bassa per la presenza di roccia subaffiorante e massi sparsi lungo il pendio;
- l'area omogenea S3 è stata classificata con attività media a causa della presenza di pareti rocciose che hanno uno sviluppo verticale limitato (attorno al decametro).

TABELLA 15: propensione al distacco di blocchi nelle rispettive aree omogenee

| N. Area omogenea | Percentuale di attività | Classe di attività |
|-------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| S1 | N.v. | MEDIA |
| S2 | N.v. | BASSA |
| S3 | 42 % | MEDIA |

PERICOLOSITÀ PRELIMINARE

La carta della Pericolosità Preliminare (TAV. 2S) è stata realizzata analizzando le traiettorie di caduta lungo 10 profili di caduta.

Parametri inseriti nel modello matematico

Ai vertici dei segmenti che costituiscono i profili è stata assegnata una deviazione standard pari a $St.Dev = 0,1$. I parametri che definiscono i materiali nei profili sono elencati nella successiva tabella 16;



TABELLA 16: parametri che definiscono le caratteristiche dei materiali lungo i profili modellizzati

| Materiale pendio | R_n | St. dev. | R_t | St. dev. | Φ | St. dev. | Rugosità (st. dev.) |
|---------------------------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------|-----------------|----------------------------|
| Detrito vegetato Terreno | 0,30 | 0,05 | 0,83 | 0,05 | 24,00 | 0,05 | 0,20 |
| Roccia | 0,42 | 0,05 | 0,92 | 0,05 | 30,00 | 0,05 | 0,20 |
| Roccia subaffiorante | 0,35 | 0,04 | 0,85 | 0,04 | 30,00 | 2,00 | 0 |
| Detrito | 0,33 | 0,05 | 0,85 | 0,05 | 41,00 | 0,05 | 0,2 |
| Suolo | 0,25 | 0,05 | 0,55 | 0,05 | 21,00 | 0,05 | 0,20 |
| Asfalto | 0,40 | 0,04 | 0,90 | 0,04 | 30,00 | 2,00 | 0,20 |

I parametri utilizzati per modellizzare le condizioni iniziali della simulazione sono elencati nella successiva tabella 17. Per la simulazione del rotolamento dei massi appoggiati sul pendio sono stati utilizzati i parametri elencati nella seguente tabella 18.

TABELLA 17: valori dei parametri iniziali della simulazione per i blocchi che si staccano dalle pareti

| | Valore | St. dev. |
|--------------------------------|------------------|-----------------|
| V_{verticale} | 0,2 m/s | 0,2 |
| V_{orizzontale} | 0,2 m/s | 0,2 |
| Massa | 800 kg - 3250 kg | 0,2 |
| Velocità angolare | 0,2 m/s | 0,2 |

TABELLA 18: valori dei parametri iniziali della simulazione per i blocchi sparsi sul pendio

| | Valore | St. dev. |
|--------------------------------|---------------|-----------------|
| V_{verticale} | 0,001 m/s | 0,2 |
| V_{orizzontale} | 0,001 m/s | 0,2 |
| Massa | 800 kg | 0,2 |
| Velocità angolare | 0,001 m/s 1 | 0,2 |

I profili utilizzati per le simulazioni, le traiettorie ottenute e i grafici relativi a energia, velocità e altezza di volo, sono riportati in allegato 6.



Grazie ai risultati delle simulazioni matematiche sono state costituite, per ogni zona omogenea, le fasce di pericolosità preliminare H4, H3 ed H2 a seconda delle percentuali di arresto dei massi ottenute.

E' stata aggiunta, la fascia di pericolosità preliminare H1 (bassa pericolosità).

PERICOLOSITÀ

La zonazione della Pericolosità (TAV. 3N) è ottenuta dalla sovrapposizione della zonazione preliminare con le percentuali di attività di ogni zona omogenea.

A seconda che l'attività sia stata definita ALTA, MEDIA o BASSA, i valori delle classi di pericolosità relativa sono stati aumentati di 1, mantenuti uguali o diminuiti di 1. Sono state ottenute 5 fasce di pericolosità, appartenenti alle classi H4, H3, H2, H1 e H0.

La classe H0 (Pericolosità potenziale) è il risultato dell'abbassamento della classe di pericolosità preliminare H1 ad H0 nelle aree omogenee con BASSA propensione al distacco.



7. ZONAZIONE DEL RISCHIO

La zonazione del rischio è ottenuta sovrapponendo la carta delle *Categorie d'uso del Suolo* (TAV. 4N e 4S) con quella della pericolosità (TAV 3N e 3S). Le classi di rischio sono: R4, rischio elevato; R3, rischio alto; R2, rischio medio; R1, rischio basso. Le categorie d'uso del suolo sono riportate in tabella 19.

Al fine di individuare le aree appartenenti alle classi sopraindicate è stato fatto riferimento alla variante n. 1 del *Piano Regolatore Generale* del Comune di Casnigo, approvata dal Consiglio Comunale con delibera n. 2 del 21 gennaio 2005.

Le molteplici classi presenti nel PRG sono state accorpate nelle 4 classi di elementi a rischio necessarie. La suddivisione ottenuta è riportata nelle TAV. 4N e 4S. Di seguito è riportata la matrice che consente la definizione delle classi di rischio (R) in base alle classi di pericolosità (H) e alle classi degli elementi a rischio (E).

E' stata in questo modo redatta la **Carta del rischio** (TAV. 5N e 5S) relativa al fenomeno di caduta massi.

Tabella 19: Metodo di classificazione degli elementi a rischio in base alle categorie di uso del suolo

| Classi di elementi a rischio | CATEGORIE D'USO DEL SUOLO |
|------------------------------|--|
| E1 | Zona boschiva Zona agricola non edificabile Demanio pubblico non edificato o edificabile |
| E2 | Zona agricola generica (con possibilità di edificazione) Infrastrutture pubbliche (strade comunali o consortili non strategiche) Zona di protezione ambientale, rispetto, verde privato Parchi, verde pubblico non edificato |
| E3 | Infrastrutture pubbliche (strade statali, provinciali e comunali strategiche, ferrovie; lifelines: oleodotti, elettrodotti, acquedotti) Zona per impianti tecnologici e discariche RSU o inerti; zona di cava |
| E4 | Centri urbani Nuclei rurali minori di particolare pregio Zona di espansione Zona artigianale, industriale, commerciale Servizi pubblici prevalentemente con fabbricati Infrastrutture pubbliche (infrastrutture varie principali strategiche) Zona discarica speciali o tossico-nocivi Zona alberghiere Zona per campeggi e villaggi turistici |



TABELLA 20: Matrice per la classificazione del rischio (R) in relazione alla pericolosità (H) e alle categorie d'uso del suolo (E)

| | H1 | H2 | H3 | H4 | H5 |
|----|----|----|----|----|----|
| E1 | R1 | R1 | R1 | R1 | R2 |
| E2 | R1 | R1 | R2 | R2 | R3 |
| E3 | R1 | R2 | R2 | R3 | R4 |
| E4 | R1 | R2 | R3 | R4 | R4 |



8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

8.1 Casnigo Nord

La maggior parte del territorio preso in esame è stato classificato con un rischio basso, R1. Ciò è dovuto al fatto che la presenza di obiettivi sensibili (edifici, infrastrutture,...) è concentrata nel fondovalle mentre il versante è quasi totalmente occupato da boschi e prati.

Ciò detto, si comprende come le aree a maggior rischio si concentrino a ridosso della S.S. 671. In questa fascia di territorio troviamo aree a rischio molto alto, R4, nelle aree omogenee N1 e N3. Una lunga fascia a pericolosità alta R3 e media R2 si estende parallelamente la strada statale della Valle Seriana, comprendendo l'asse viario per un lungo tratto.

La presenza, a monte della S.S. 671, di un canale di derivazione delle acque del Serio costituisce nelle simulazioni un ostacolo lungo la possibile traiettoria di caduta dei blocchi e abbassa il rischio di una fascia di terreno a valle del canale per una lunghezza di circa 600 m. Nel complesso, tuttavia, il fondovalle risulta caratterizzato da un elevato livello di rischio per le infrastrutture che vi si concentrano ed è pertanto consigliabile la predisposizione di un progetto preliminare di messa in sicurezza.

Si vuole sottolineare come alcuni privati abbiano già operato in tal senso al fine di proteggere i propri beni, installando delle reti paramassi sostenute da putrelle e funi d'acciaio.

8.2 Casnigo Sud

Anche in questa zona la categoria di rischio più rappresentata è la R1 (rischio basso). Le aree classificate come R2 (rischio medio) sono concentrate nella parte nord ed in alcune fasce che si sviluppano parallelamente al fondovalle, dove si concentrano i potenziali obiettivi sensibili.

Le aree a rischio alto (R2) sono concentrate nell'area omogenea S2. Le aree a rischio molto elevato (R1) hanno scarsa estensione e sono localizzate nel settore dell'area omogenea S1.



Indipendentemente dalla classe di rischio gli insediamenti produttivi e la S.P. 42 (Via lungo Romna), sviluppati nel fondovalle, risultano a rischio per ciò che concerne la caduta massi e pertanto, come per l'area Nord, è consigliabile la predisposizione di un progetto preliminare organico di messa in sicurezza che riguardi l'intero tratto a rischio e non limitato alle singole proprietà private.

Dott. Geol Renato Caldarelli

Dott. Geol. Massimo Elitropi

Dott. Simone Scola

LEGENDA

PERICOLOSITA'



Suddivisione delle aree omogenee

AO-N1 Denominazione dell'area omogenea

Griglia per la definizione dell'attività relativa delle aree di origine dei crolli

61 % Percentuale di attività delle pareti

6 Profili di caduta utilizzati nel modello per il calcolo delle distanze di rotolamento



Via Giorgio e Guido Paglia, n. 31 - 24122 BERGAMO - e-mail: bergamo@bergamo.net
Tel. +39 035 248689 - +39 035 271216

Provincia di Bergamo
COMUNE DI CASNIGO



ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO
DI CADUTA MASSI

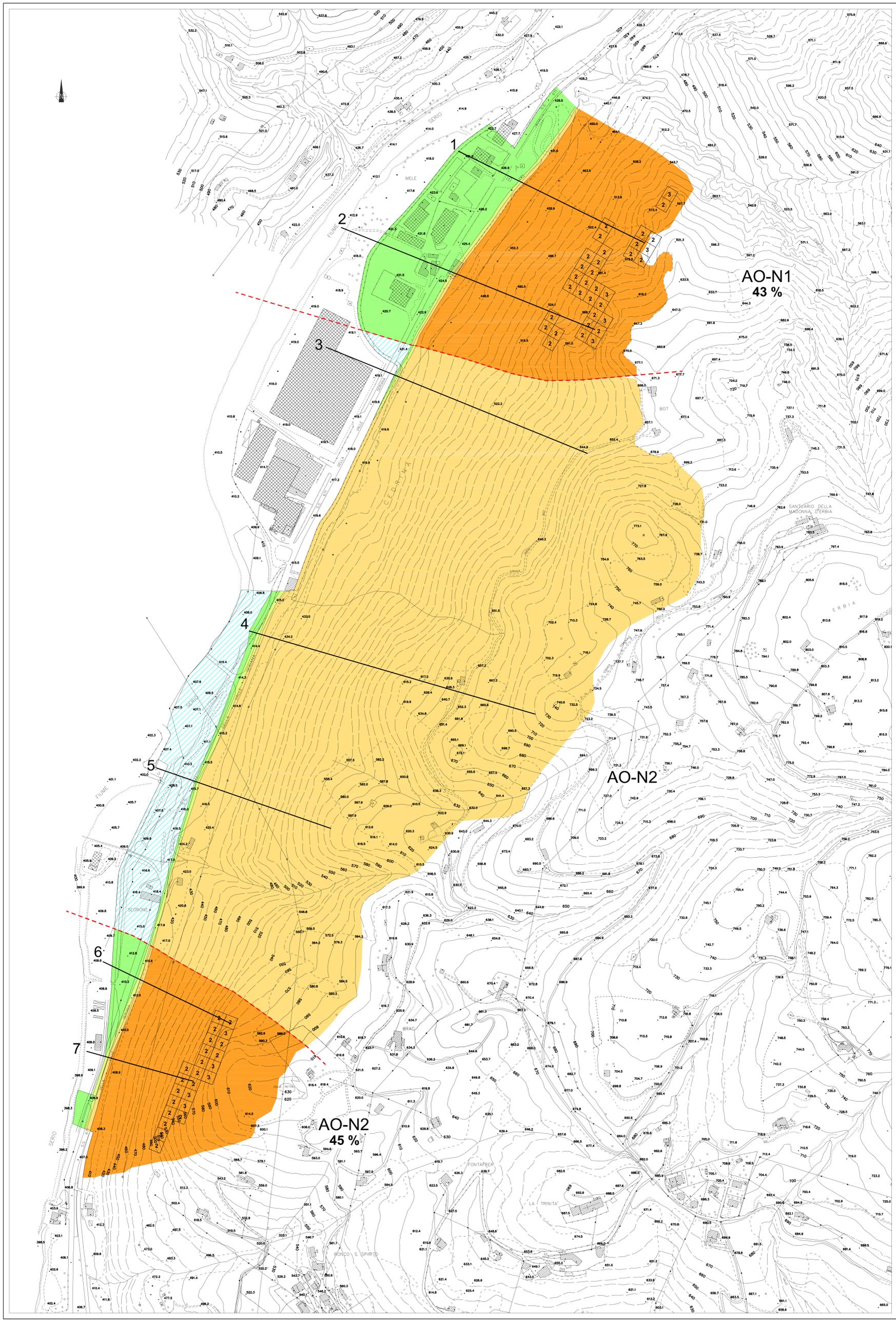
Area compresa tra le località BOT e COLLE PETTA

CARTA DELLA PERICOLOSITA'

scala 1:2.000

TAV. 3N

Bergamo, ottobre 2005



LEGENDA

PERICOLOSITA'

-  H5 - Pericolosità molto alta
-  H4 - Pericolosità alta
-  H3 - Pericolosità media
-  H2 - Pericolosità bassa
-  H1 - Pericolosità molto bassa
-  Pericolosità potenziale

 Suddivisione delle aree omogenee

AO-N1 Denominazione dell'area omogenea

 Griglia per la definizione dell'attività relativa delle aree di origine dei crolli

61 % Percentuale di attività delle pareti

6 Profili di caduta utilizzati nel modello per il calcolo delle distanze di rotolamento



Via Giorgio e Guido Paglia, n. 21 - 24122 BERGAMO - e-mail: bergamo@eurogeo.net
Tel. +39 035 248689 - +39 035271216 - Telefax +39 035 271216

Provincia di Bergamo
COMUNE DI CASNIGO



ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO
DI CADUTA MASSI
Area di via Lungo Romna

CARTA DELLA PERICOLOSITA'

scala 1:2.000

TAV. 3S

Bergamo, ottobre 2005

