

**PROJECT
FINANCING**



Comune di Casnigo (BG)

C.F. 81001030162
T: +39 035 740001

bergamelli
ECOLOGIA E STRADE

Bergamelli S.r.l.

P.I. 00487540163
T: +39 035 0950920

ING MAURO MAGLI
management

Ordine Ingegneri di
Bergamo n. B217

C.F. MGLMRA90A19A246M
P.I. 04194880169

Via XI Febbraio, 4
24029 Vertova (BG)

T: +39 334 3793185

M: mauromagli@gmail.com
PEC: mauro.magli@ingpec.eu

Progetto

Descrizione Progetto
MESSA IN SICUREZZA DELLA STRADA DI ARROCAMENTO ALLA LOCALITA' ROMNEI
MEDIANTE RIPRISTINO AMBIENTALE DELLA EX CAVA POZZUOLI

Indirizzo

Via Lungo Romna, SN - 24020 Casnigo BG
EX CAVA POZZUOLI Località Romnei

Inquadramento



Progettisti

Committente
Comune di Casnigo
protocollo@comune.casnigo.bg.it



Indirizzo
Via R. Ruggeri, 38
24020 Casnigo (BG)

Ente promotore
Bergamelli S.r.l.
mauromagli@gmail.com

bergamelli
ECOLOGIA E STRADE

Indirizzo
Via S. Pertini, 13
24021 Albino (BG)

Progetto e coordinamento
Ing. Iunior Mauro Magli
mauromagli@gmail.com

ING MAURO MAGLI
management

Indirizzo
Via XI Febbraio, 4
24029 Vertova (BG)

Progetto
Dott. Ing. Giovanni Battista Scolari
info@studioscolari.com

STUDIO
SCOLARI
engineering

Indirizzo
Via R. Ruffilli, 2
24035 Curno (BG)

Progetto e D.L. impianti

Indirizzo

C.S.E. e C.S.P.

Indirizzo

Dettagli elaborato

Nome elaborato
RELAZIONE GEOLOGICA DISSESTO

Scala

Disegnatore
/

Codifica elaborato

06_GeoDis

Revisione
00 - Progetto definitivo ed esecutivo

Date
01/11/2018

01
02
03
04
05
06
07



Dott. Geol. Enrico Mosconi, via Reich, 16 – Torre Boldone (Bg)
Cell. 347.1328195 e_mail: enricomosconi@yahoo.it

Comune: **Casnigo (Bg)**

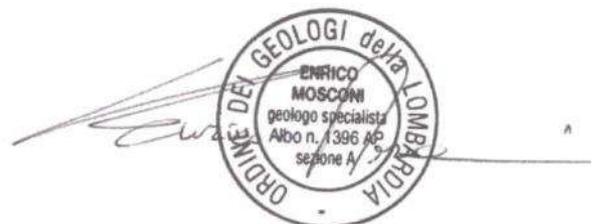
Committente: **Amministrazione Comunale di Casnigo**



Oggetto: **INDAGINE GEOLOGICA**
Dissesto in loc. Baia del Re – Casnigo

Torre Boldone, novembre 2018

Dott. Geol. Enrico Mosconi



Committente: Amministrazione Comunale di Casnigo
Oggetto: INDAGINE GEOLOGICA
Ubicazione: dissesto in loc. Baia del Re - Casnigo (Bg)

1. <i>PREMESSA</i>	3
2. <i>INQUADRAMENTI</i>	4
3. <i>VINCOLI E DISPOSIZIONI DEGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE</i>	8
4. <i>DESCRIZIONE DEGLI EVENTI OCCORSI</i>	10
5. <i>INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO</i>	13
6. <i>MODELLO GEOTECNICO</i>	47
7. <i>CONCLUSIONI</i>	48

1. PREMESSA

La presente indagine è stata commissionata dall'Amministrazione Comunale di Casnigo per verificare lo stato dei luoghi a seguito del dissesto occorso nella serata di lunedì 29 ottobre 2018 ed il relativo assetto geologico. A seguito delle piogge intense che hanno riversato alla fine di ottobre in alta valle quantitativi di 400 mm in 72 ore e di 200 mm circa negli ambiti pedemontani, si è verificato un dissesto lungo il versante settentrionale sovrastante la Baia del Re a Casnigo che ha lambito un tratto della strada comunale ad uso privato verso loc. Romnei, lesionandola lungo il margine di valle. Il dissesto si è generato intorno alle 19 per scorrimenti idrici superficiali e per la saturazione del subsuolo; le erosioni localizzate insorte e le sovrappressioni idrauliche sviluppatasi per gli ingenti quantitativi di acqua infiltratasi nei depositi hanno determinato la mobilitazione delle coltri superficiali verso valle e lo spostamento della legna accatastata alla base del versante verso l'imbocco della strada comunale per Romnei. Si è trattato di uno scivolamento traslativo di detriti che si è esplicitato lungo un dislivello di circa 60 m proprio per l'azione delle acque di infiltrazione e di ruscellamento in una zona caratterizzata da un sistema carsico molto sviluppato. Proprio l'attivazione dei condotti carsici presenti nella zona (ad es. il cosiddetto Pozzòl) ha contribuito alla rilevanza degli apporti idrici anche verso valle nel piazzale dell'ex cava. L'occlusione del pozzetto di drenaggio posto a valle del piazzale ha determinato locali ruscellamenti ed allagamenti, che hanno in parte interessato la vicina strada provinciale della Valgandino. Tempestivamente l'Amministrazione Comunale si è attivata (secondo le procedure di emergenza previste), monitorando il dissesto con il supporto dei volontari del Gruppo di Protezione Civile e con la consulenza dello scrivente, presidiando la strada interessata verso loc. Romnei, segnalando gli allagamenti lungo la strada provinciale ai Carabinieri ed alla Provincia di Bergamo (gestore del tratto viario), infine predisponendo apposita cartellonistica di avvertimento per i mezzi in transito. Nel giro di un paio di ore l'intervento di un'impresa specializzata contattata dall'Amministrazione Comunale ha consentito il tempestivo ripristino della funzionalità del drenaggio.

Il giorno seguente, a seguito del sopralluogo effettuato e delle evidenze emerse, è stato predisposto un telo impermeabile a copertura della porzione sommitale del dissesto (testata) soggetta all'azione degli agenti esogeni per mitigare il rischio di ulteriori arretramenti del fenomeno e di ulteriori lesionamenti alla strada comunale, come da indicazione dello scrivente.

È stata quindi emanata dall'Amministrazione Comunale ordinanza di chiusura del transito verso loc. Romnei ed è stata fatta segnalazione del dissesto alla Regione Lombardia tramite apposita scheda RasDa, come previsto dalla normativa. Si fa presente che la strada comunale esistente è l'unica via carrabile di accesso alla loc. Romnei, ove vi è un fabbricato di residenza, oltre a seconde case, baite ed attività agro-silvo-pastorali di alcuni fondi.

Il Comune di Casnigo ha affidato allo scrivente l'incarico di effettuare le prime indagini non invasive, in modo da disporre di ulteriori elementi di valutazione per le fasi transitorie e di supporto al futuro progetto di consolidamento e mitigazione del rischio.

2. INQUADRAMENTI

2.1 Geografia

I terreni interessati dal dissesto sono posti lungo il margine meridionale del territorio comunale, a quote comprese tra 470 m e 410 m slm circa, lungo il versante settentrionale sovrastante l'ex ambito di cava della Baia del Re. L'esatta ubicazione del luogo d'indagine è visibile nello stralcio della Carta Tecnica Regionale proposto di seguito.

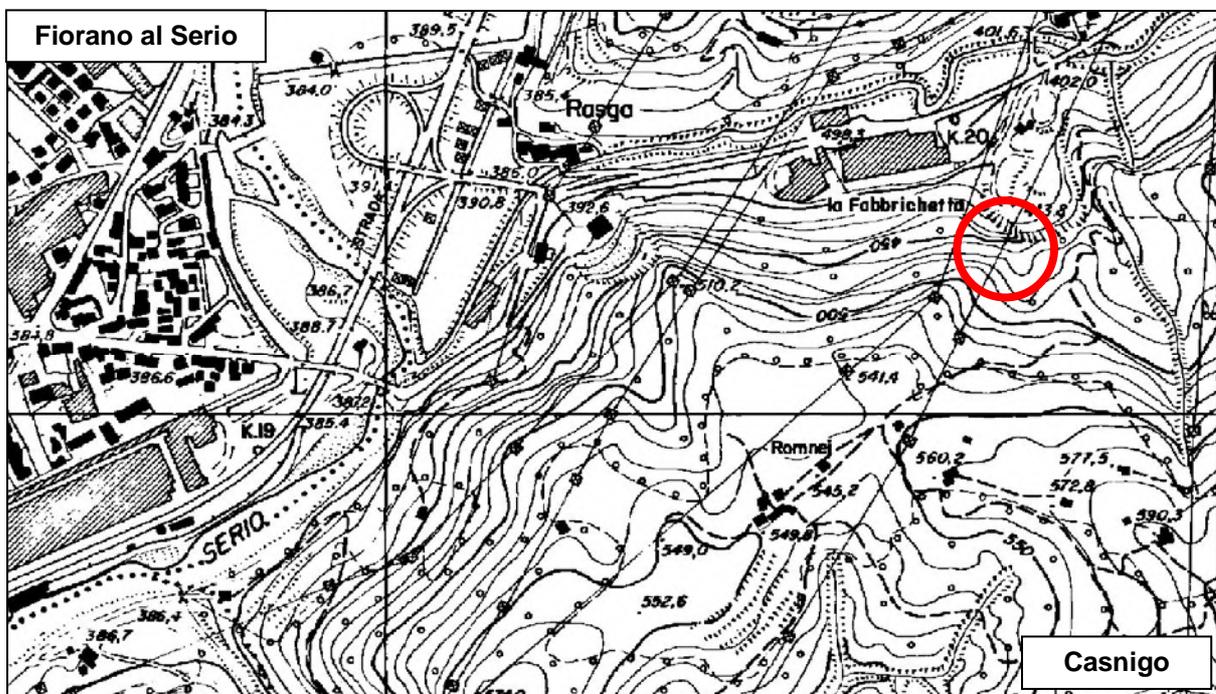


fig. 1 - corografia con base C.T.R. con indicazione dell'area in esame

Committente: Amministrazione Comunale di Casnigo
Oggetto: INDAGINE GEOLOGICA
Ubicazione: dissesto in loc. Baia del Re - Casnigo (Bg)



fig. 2 – otofoto google con indicazione dell'area in esame

2.2 Geologia

Dal punto di vista geologico-strutturale ci troviamo nelle Prealpi Orobie centro - orientali, all'interno del dominio del Parautoctono Sudalpino Orobico che si estende dal margine della pianura fino alla faglia di Clusone in un contesto tettonico distensivo-transtensivo. Più specificatamente l'ambito di Casnigo si contraddistingue lungo i versanti montani per l'affioramento di corpi rocciosi di età triassica (ZOR in fig. 3) che, procedendo verso il fondovalle, vengono progressivamente ricoperti da potenti coltri continentali pleistoceniche (2-0.1 Ma).



fig. 3 – stralcio del Foglio 98 – Bergamo della Carta Geologica d'Italia, scala 1:50.00

Superficialmente si rilevano coltri fini (colluviali) e detritiche che ricoprono roccia subaffiorante calcarea (Calcarea di Zorzino) in strati solitamente decimetrici, solo localmente marnosi centimetrici, con composti organici dovuti all'origine lagunare anossica del litotipo; talvolta il substrato calcareo è pervaso da intrusioni porfiritiche strato concordanti, localmente persistenti come nell'area in esame, non indicate in letteratura, e chiamate in dialetto bergamasco "sabiù vena" proprio per la vulnerabilità di questi ammassi plutonici all'azione degli agenti atmosferici, talvolta con conseguente progressivo peggioramento delle caratteristiche meccaniche.

2.3 Geomorfologia, Idrografia ed Idrogeologia

La porzione del territorio comunale compresa tra Romnei e la Baia del Re è prevalentemente calcarea al punto che sono sviluppati negli ambiti sommitali evidenti morfologie carsiche (campi di doline), mentre nelle zone di versante inghiottitoi e cavità carsiche profonde (ad esempio il Pozzòl).



fig. 4 – campo di doline principale di loc. Romnei, un centinaio di metri a nord del sito in esame

Dalla consultazione della relazione tecnica a supporto dello studio geologico comunale (Eurogeo, 2011) si apprende della presenza in loc. Romnei di una rilevante cavità sotterranea di origine carsica recentemente esplorata dal Gruppo Speleologico Valseriana 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, quindi a distanza rispetto all'area in esame, senza alcuna interferenza. *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. Tale fenomeno è correlabile alle evidenze superficiali del pianoro di loc. Romnei contraddistinto da evidenze superficiali quali i campi di doline, analogamente ad altri contesti mitologicamente affini (presenza di rocce calcaree) diffusi nella Media Val Seriana quali il Monte Bue, il Monte Croce, il Campo d'Avène e la Montagnina.

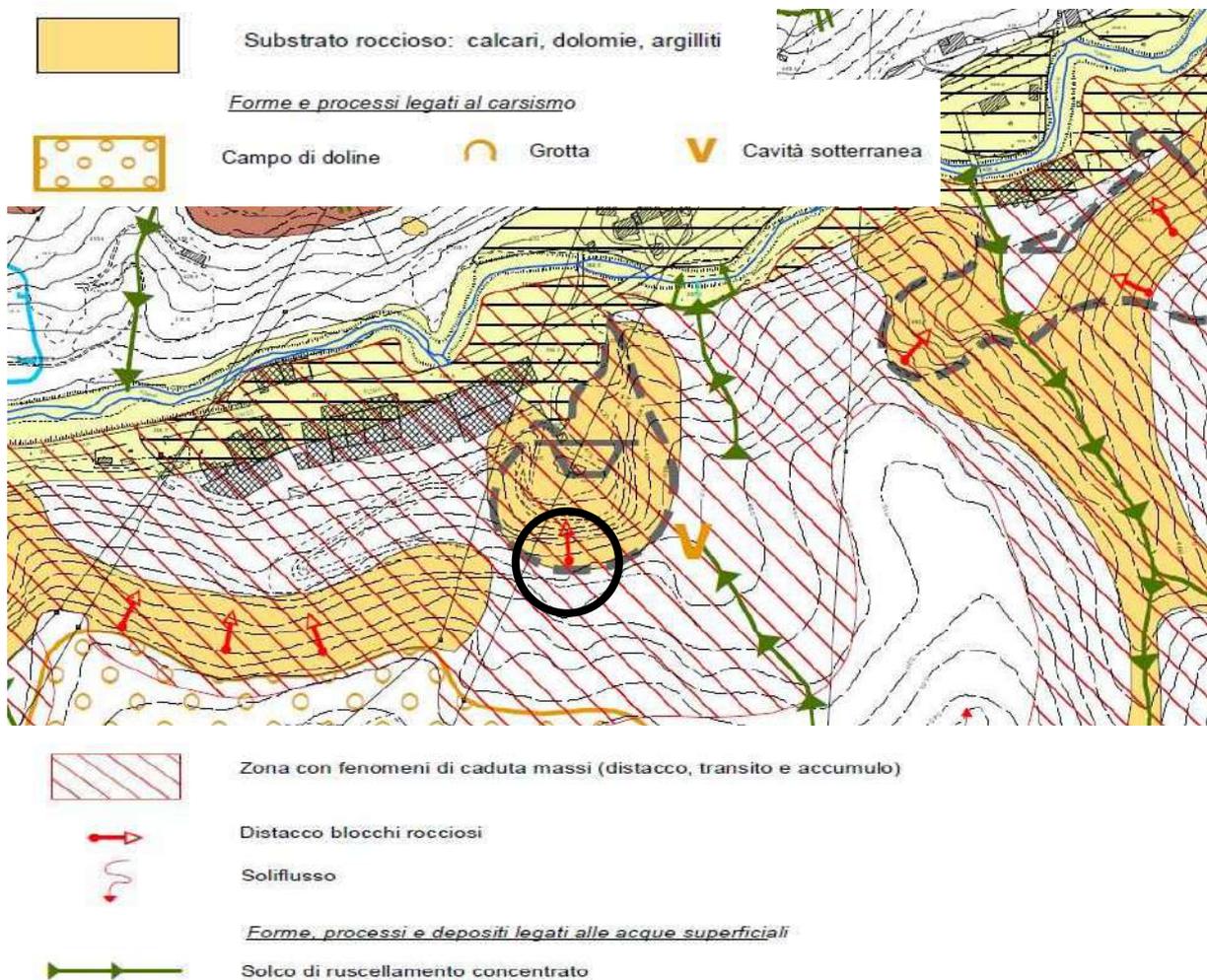


fig. 5 – stralcio carta della dinamica geomorfologica, sezione sud, studio geologico comunale



fig. 6 – cavità carsica

3. VINCOLI E DISPOSIZIONI DEGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE

Classi di fattibilità geologica

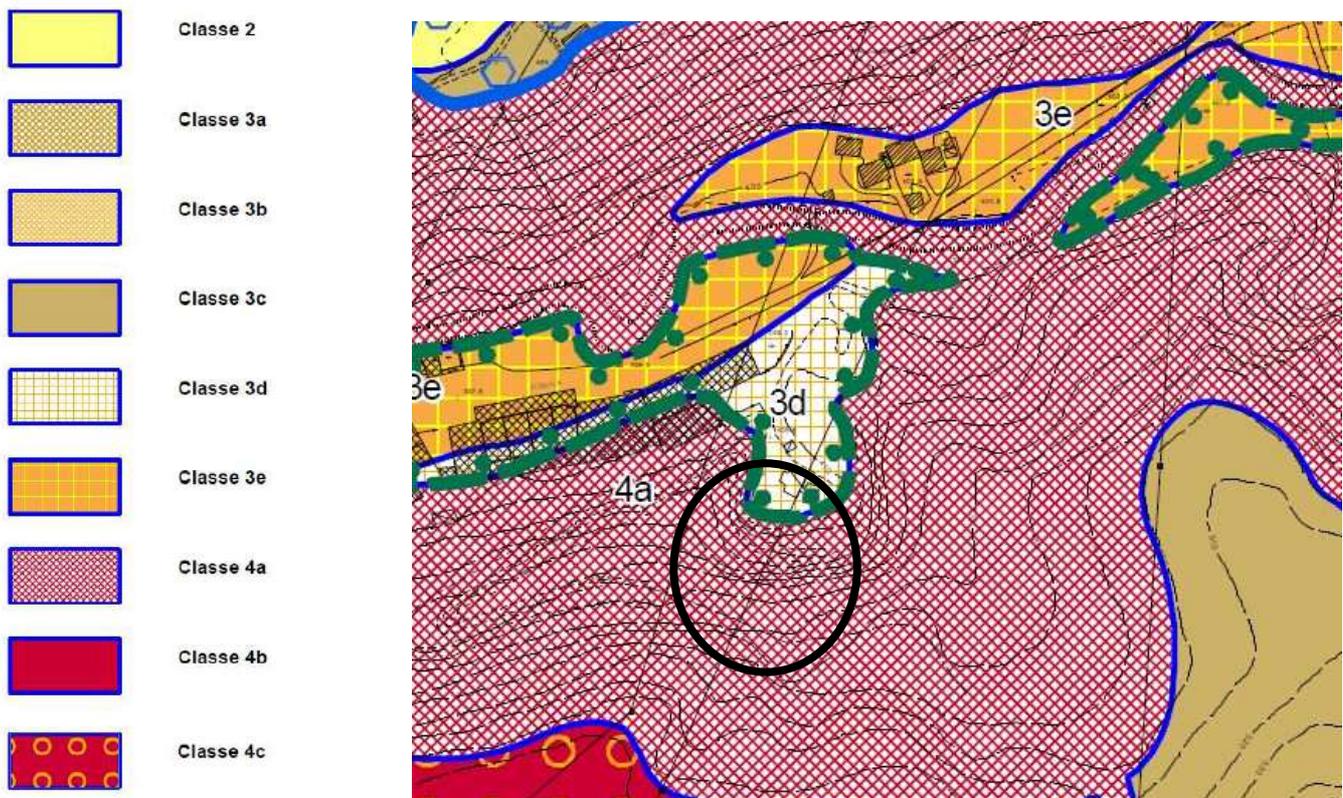


fig. 7 – stralcio della carta di fattibilità geologica delle azioni di piano del PGT, Eurogeo 2011, con indicazione dell'area in esame

Dalla consultazione della carta di fattibilità delle azioni di piano della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano del Governo del Territorio si evince che l'area in esame ricade in classe 4 (fattibilità con gravi limitazioni) sottoclasse a (zone soggette a dissesti). Di seguito si riporta lo stralcio cartografico.

Dalla consultazione della carta dei vincoli dello studio geologico comunale si è potuto accertare l'attribuzione della zona in esame tra gli ampi perimetri interessati da dissesti attivi. Tuttavia è bene specificare che tale attribuzione è stata fatta dall'estensore del piano su base cautelativa ricomprendendo in perimetri estesi zone interessate da fenomeni corticali e/o diffusi.

Prima dell'evento occorso nell'ottobre 2018 lungo il versante in oggetto non si ha testimonianza di processi gravitativi in atto di particolare rilevanza.

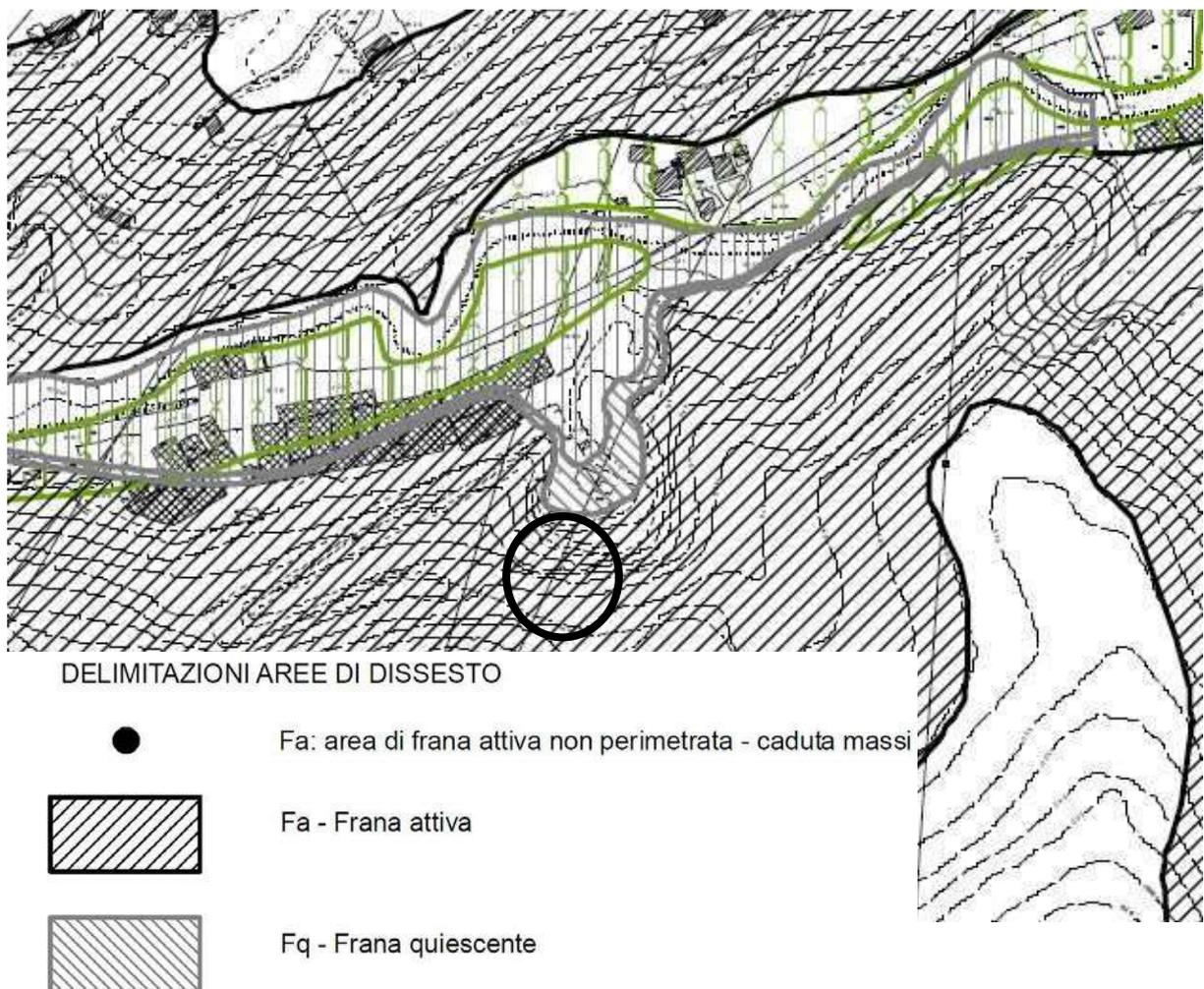


fig. 8 – stralcio della carta dei vincoli dello studio geologico comunale, Eurogeo 2011, con indicazione dell'area in esame

4. DESCRIZIONE DEGLI EVENTI OCCORSI

Come già introdotto in premessa, a seguito delle piogge intense che hanno riversato alla fine di ottobre negli ambiti pedemontani quantitativi nell'ordine di circa 200 mm, si è verificato un dissesto lungo il versante settentrionale sovrastante la Baia del Re a Casnigo, che ha lambito anche un tratto della strada comunale ad uso privato che conduce in loc. Romnei, lesionandola lungo il margine di valle (cedimento guard rail con locali scalzamenti) nel settore montano.



fig. 9 – dissesto verificatosi presso la Baia del Re

Si è trattato di uno scivolamento traslazionale che ha coinvolto le coltri detritiche e di alterazione del substrato porfirítico (lembo intrusivo incassato in rocce calcaree) e che si è esplicitato lungo un dislivello di circa 60 m proprio per l'azione delle acque di infiltrazione (sviluppo di sovrappressioni) e degli intensi ruscellamenti (erosioni e scalzamenti) su litotipi vulnerabili (coltri di alterazioni e rocce deboli), in una zona caratterizzata da un sistema carsico molto sviluppato.

La frana ha un fronte di una quindicina di metri ed una superficie di 350 mq circa ed ha movimentato una massa di 500 mc circa che, scivolando verso valle, è stata contenuta da un vallo basale e dal legname accatastato nel piazzale dell'ex cava, che ha subito una traslazione di 5 m circa occupando parzialmente l'imbocco della strada comunale. Fortunatamente nessun veicolo era in transito nella zona e quindi non ci sono stati danni a cose e/o persone.



fig. 10 – accumulo di frana nel piazzale dell'ex cava, nei pressi dell'imbocco della strada per loc. Romnei

Contestualmente al fenomeno gravitativo si sono manifestati intensi fenomeni di ruscellamento a seguito delle intense precipitazioni che hanno attivato i condotti carsici presenti nella zona (ad es. il cosiddetto Pozzòl). L'occlusione dei drenaggi posti alla base del

Committente: Amministrazione Comunale di Casnigo
Oggetto: INDAGINE GEOLOGICA
Ubicazione: dissesto in loc. Baia del Re - Casnigo (Bg)

versante ha determinato flussi di ruscellamento ed allagamenti dei piazzali presenti nelle zone basali, che hanno in parte interessato anche la vicina strada provinciale della Valgandino.

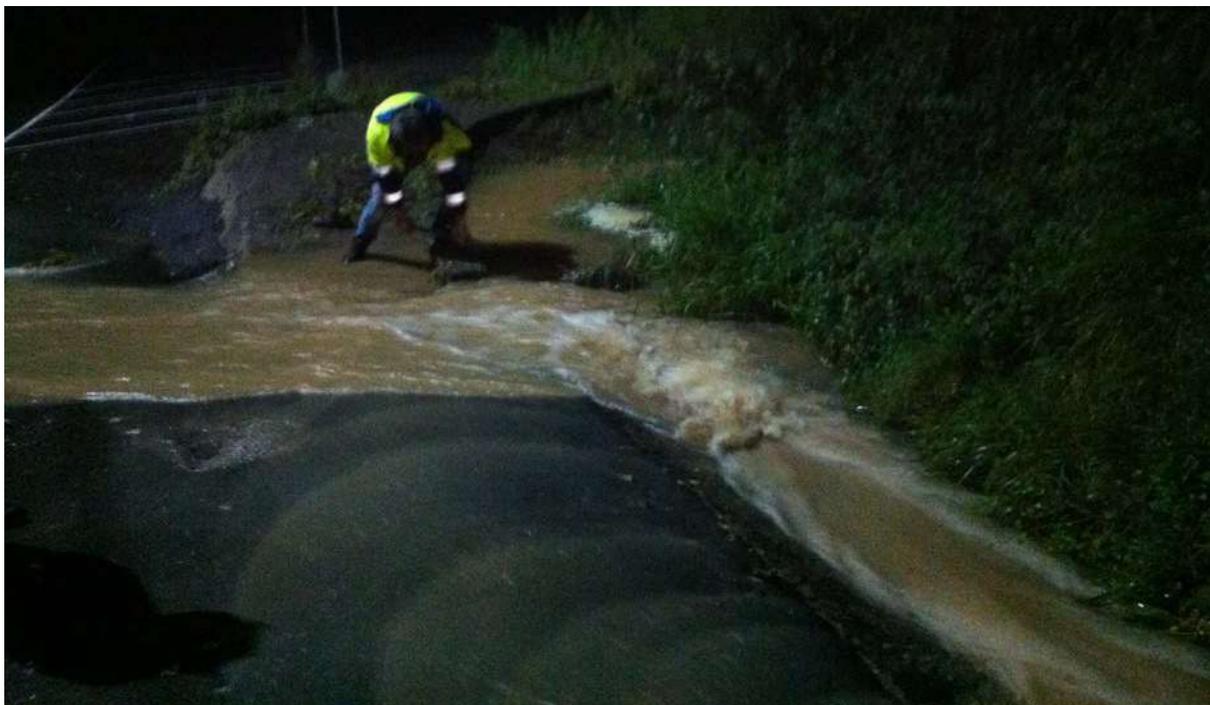


fig. 11 – occlusione del pozzetto di drenaggio presente poco a monte della strada provinciale della Valgandino

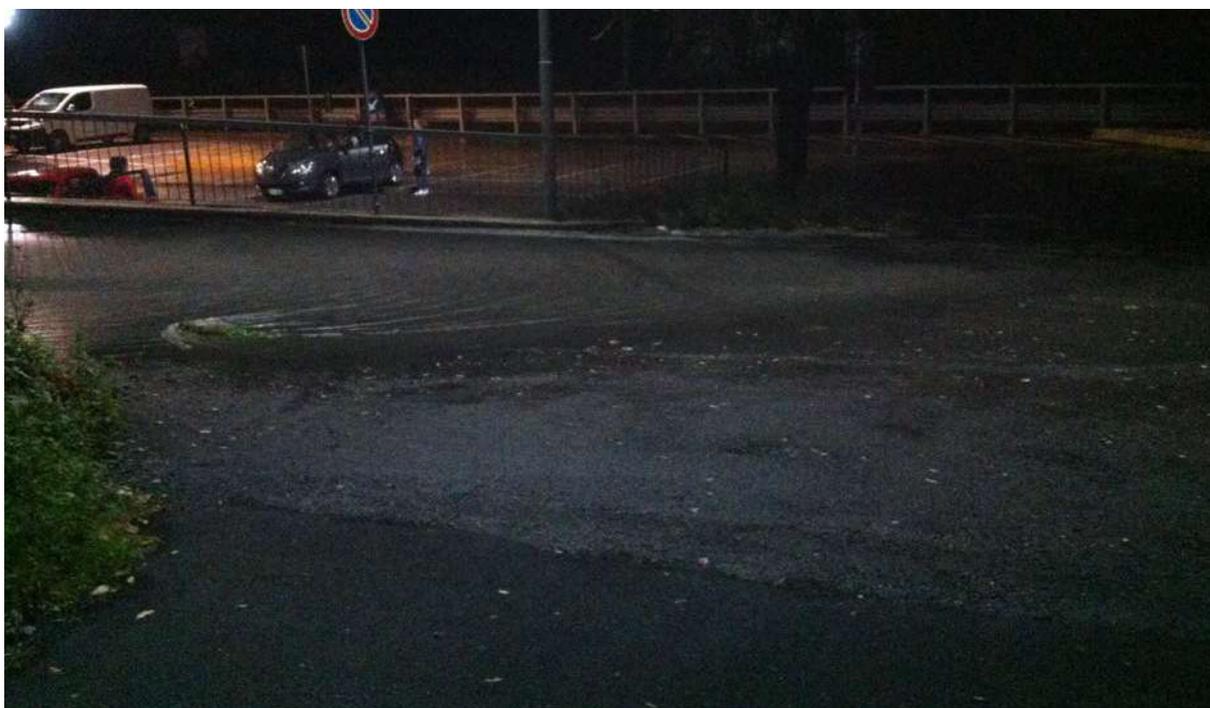


fig. 12 – ruscellamenti in data 29/10/2018 verso la strada provinciale della Valgandino

5. INDAGINI GEOGNOSTICHE

A seguito dell'incarico conferito dall'Amministrazione Comunale di Casnigo sono state preliminarmente effettuate indagini non invasive visto lo stato dei luoghi:

- rilievi geologici – geomeccanici di terreno con prove scissometriche, pocket e sclerometriche
- indagini geofisica di sismica attiva a rifrazione
- indagini geofisica di sismica attiva masw
- indagini geofisica di sismica passiva con prove H/V.

5.1 Rilievo geologico di terreno

Nell'area in esame sono state effettuate osservazioni ed analisi geologiche-geomeccaniche percorrendo la strada comunale che dalla Baia del Re conduce verso la loc. Romnei. In particolare sono state definite n.5 stazioni di rilievo. Generalmente, anche nelle zone limitrofe, il dominio litologico dell'ambito è quello carbonatico della formazione identificata in letteratura con il nome di calcare di Zorzino; si tratta di un litotipo che si manifesta in strati decimetrici orientati verso S-SW con angolo di inclinazione medio (40-60°); rispetto al versante settentrionale in oggetto si pone a traverspoggio o blando reggipoggio. Tuttavia è bene precisare che gli ammassi si presentano fratturati, oltre alla stratificazione pervasiva vi sono due/tre altre famiglie di discontinuità; queste ultime, sebbene meno pervasive (generalmente nell'ordine del metro), posso isolare localmente blocchi di dimensioni comprese tra 0,005 e 0,1 mc (0,01 mc VRu med), fino a valori massimi assoluti prossimi a 1 mc in caso di discontinuità amalgamate. In particolare vi è una discontinuità che si dispone in modo pressochè concordante con il declivio e che ha favorito lo scivolamento delle coltri (K2). La vulnerabilità litologica della zona si esplicita però nella porzione sommitale del dissesto, ove vi è un rilevante corpo intrusivo porfirítico; tale litotipo, non indicato in letteratura nella zona, presenta un grado di competenza variabile, generalmente basso in superficie al punto da sfaldarsi facilmente (anche manualmente) in coltri sabbiose di alterazione, ed è quindi vulnerabile all'azione degli agenti esogeni. Il deterioramento può essere progressivo una volta esposto alle intemperie. L'azione delle acque meteoriche di infiltrazione e di ruscellamento ha quindi determinato il superamento della soglia di resistenza delle coltri ed il conseguente scivolamento traslativo lungo un pendio piuttosto pronunciato 40° o superiore, con tratti basali aggettanti in corrispondenza dell'affioramento dei litotipi

calcarei. In particolare le criticità si sono palesate in modo evidente nella parte mediana del pendio, ove vi è la confluenza di un compluvio laterale proveniente dagli ambiti sommitali; ivi i ruscellamenti e le venute d'acqua hanno scalzato le coltri determinando instabilità.



fig. 13a – coronamento del dissesto che ha lambito la strada verso loc. Romnei, vista verso ovest



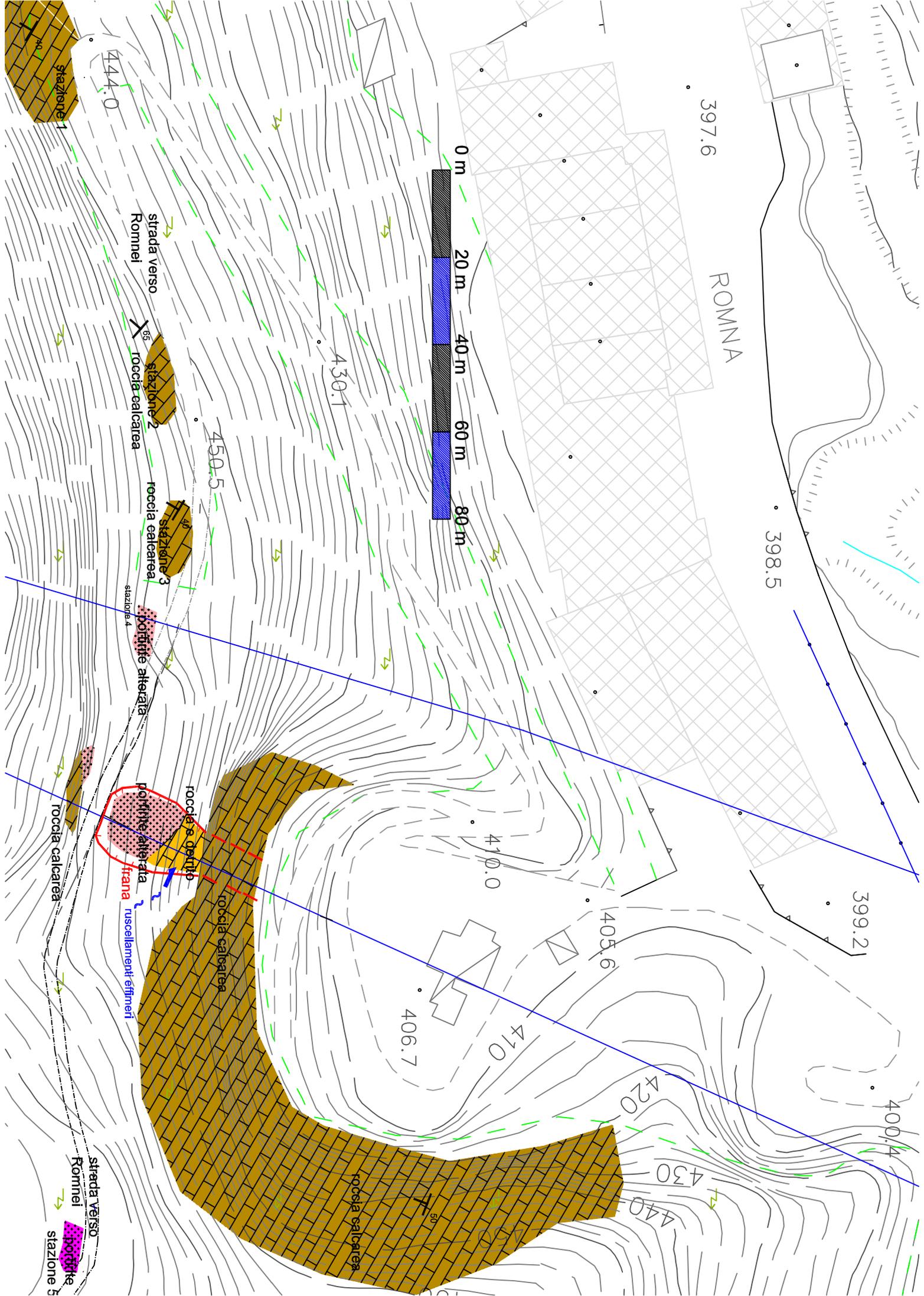
fig. 13b – coronamento del dissesto che ha lambito la strada verso loc. Romnei, vista verso est

Committente: Amministrazione Comunale di Casnigo
Oggetto: INDAGINE GEOLOGICA
Ubicazione: dissesto in loc. Baia del Re - Casnigo (Bg)

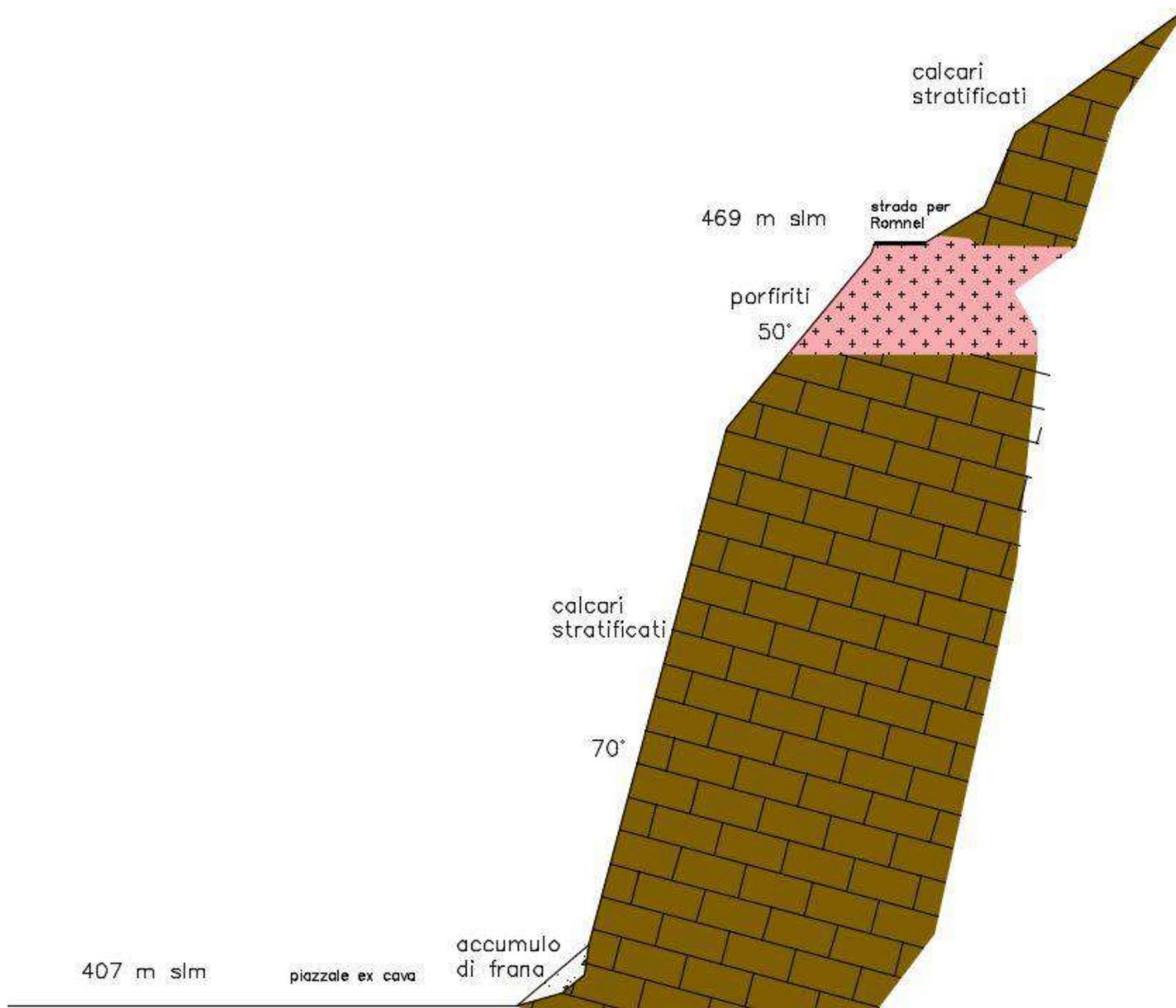


fig. 14 – dettaglio della nicchia di frana

ALLEGATO 1a e 1b
planimetria di rilievo e sezione geologica interpretativa



versante settentrionale della Baia del Re



Committente: Amministrazione Comunale di Casnigo
Oggetto: INDAGINE GEOLOGICA
Ubicazione: dissesto in loc. Baia del Re - Casnigo (Bg)



figg. 15-16 – vista del dissesto dal basso verso l’alto

Committente: Amministrazione Comunale di Casnigo
Oggetto: INDAGINE GEOLOGICA
Ubicazione: dissesto in loc. Baia del Re - Casnigo (Bg)

Stazione 1

Stratificazione: giacitura 210/40, spaziatura 20-40 cm, generalmente serrata, loc. aperta (max 10 cm) con terra e/o detrito all'interno, ottima persistenza (decine di metri)

K1: giacitura 110/70, spaziatura 20-30 cm, generalmente serrata, raramente aperta con terra e/o detrito all'interno, persistenza 20-50 cm fino a metrica

K2: giacitura 350/60, spaziatura 10-20 cm, generalmente serrata, raramente aperta con terra e/o detrito all'interno, persistenza 1-1,5 m

Nessuna traccia di acqua. Le discontinuità sono planari e piuttosto lisce.



fig. 17 – stazione 1 di rilievo

Committente: Amministrazione Comunale di Casnigo
Oggetto: INDAGINE GEOLOGICA
Ubicazione: dissesto in loc. Baia del Re - Casnigo (Bg)



fig. 18 – misure con sclerometro

La resistenza puntiforme degli ammassi rocciosi calcarei è nell'ordine di 30-35 MPa in patina di alterazione e 50-80 MPa in frattura fresca.

Stazione 2



fig. 19 – stazione 2 di rilievo



fig. 20 – rilievo giacitura degli ammassi rocciosi con bussola

Stratificazione: giacitura 220/65, spaziatura 10-30 cm, generalmente serrata, loc. aperta con terra e/o detrito all'interno, ottima persistenza (decine di metri)

K1: giacitura 110/80, spaziatura 20-50 cm, generalmente serrata, loc. aperta con terra e/o detrito all'interno, persistenza 50 cm circa

K2: giacitura 340/65, spaziatura 20-40 cm, generalmente serrata, loc. aperta con terra e/o detrito all'interno, persistenza 1-1,5 m

K3: giacitura 40/40, spaziatura 20-80 cm, generalmente serrata, loc. aperta con terra e/o detrito all'interno, persistenza 50 cm circa.

Nessuna traccia di acqua. Le discontinuità sono planari e piuttosto lisce.

Stazione 3

Stratificazione: giacitura 210/40, spaziatura 5-40 cm, generalmente serrata ottima persistenza (decine di metri)

K1: giacitura 110/70, spaziatura 20-30 cm, generalmente serrata, raramente aperta, persistenza 20-50 cm fino a metrica

K2: giacitura 350/60, spaziatura 10-20 cm, generalmente serrata, persistenza 1-1,5 m

Nessuna traccia di acqua. Le discontinuità sono planari e piuttosto lisce.

Committente: Amministrazione Comunale di Casnigo
Oggetto: INDAGINE GEOLOGICA
Ubicazione: dissesto in loc. Baia del Re - Casnigo (Bg)



fig. 21 – stazione 3 di rilievo

Stazione 4



fig. 22 – coltri porfirite

Committente: Amministrazione Comunale di Casnigo
Oggetto: INDAGINE GEOLOGICA
Ubicazione: dissesto in loc. Baia del Re - Casnigo (Bg)

Poco a valle della frana, lungo la strada comunale, si notano coltri porfiritiche di alterazione costituite da sabbie e limi con una consistenza medio-bassa. In corrispondenza della stazione 4 sono state effettuate delle misure con scissometro in corrispondenza dei depositi stimando una resistenza al taglio di 0,3-0,4 Kg/cmq. Oltre ai depositi si rilevano livelli porfiritici più compatti con una resistenza a penetrazione nell'ordine di 1,5-2,5 Kg/cmq, ma con bassa resistenza al taglio.



fig. 23 – coltri porfiritiche

Stazione 5



fig. 24 – porfiritite litoide

Committente: Amministrazione Comunale di Casnigo
Oggetto: INDAGINE GEOLOGICA
Ubicazione: dissesto in loc. Baia del Re - Casnigo (Bg)

A monte della frana, percorrendo la strada che conduce a Romnei, si nota un altro affioramento porfirico; in questo caso l'ammasso è litoide, competente, ed è stato possibile effettuare delle misure con sclerometro, stimando dei valori di resistenza nell'ordine di 10-15 MPa in patina di alterazione, 25-30 MPa in frattura fresca.

Porzione di versante sovrastante alla frana

La porzione di versante sovrastante alla frana presenta sporadici affioramenti calcarei, a testimonianza di come il lembo intrusivo strato concordante tenda a scomparire verso monte, interessando invece la strada comunale e gli ambiti sottostanti.



fig. 25 – affioramenti rocciosi a monte del tratto in dissesto della strada comunale

Stazione 6

La giacitura degli ammassi è ben visibile verso valle, in fregio a via lungo Romna ove si esercitava anni fa l'estrazione del materiale all'interno di un'area di cava; la disposizione degli strati è generalmente tendono ad avere giacitura meridionale ed un'inclinazione media nell'ordine dei 30°-50°, anche se dall'osservazione delle scarpate della cava si notano anche disturbi strutturali nelle porzioni sommitali (pieghe).



fig. 26 – ex area di cava in fregio a via lungo Romna (punto A)

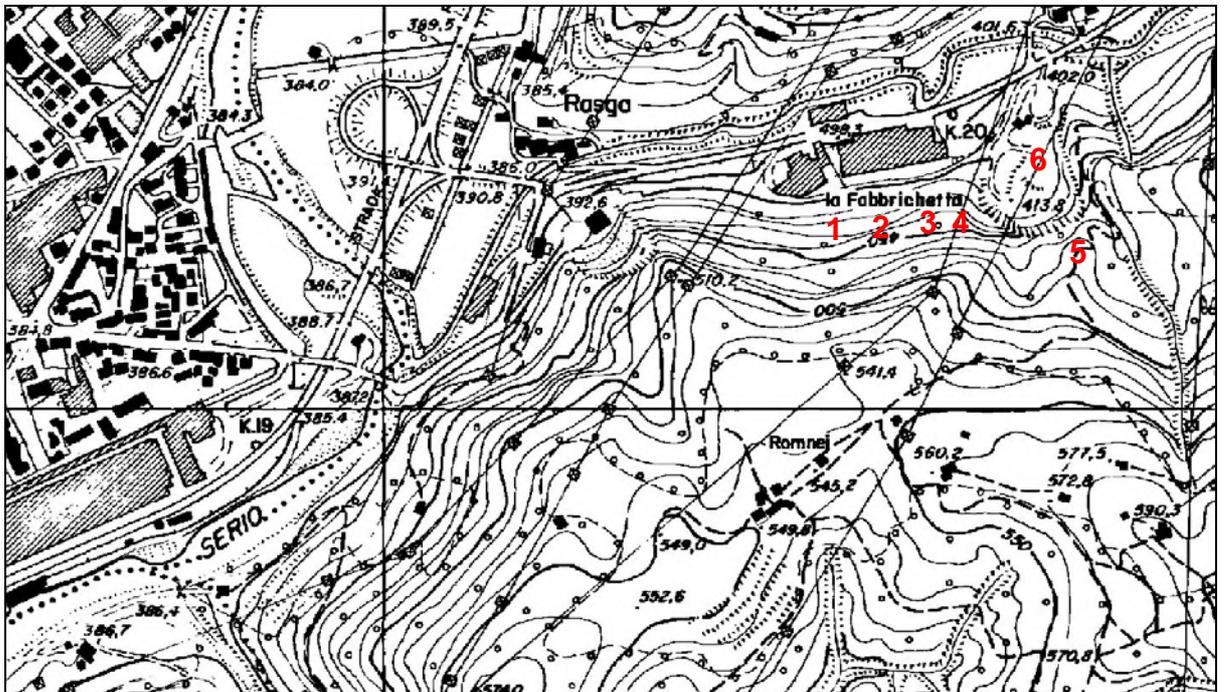


fig. 27 – ubicazione su CTR delle stazioni di rilievo degli ammassi rocciosi

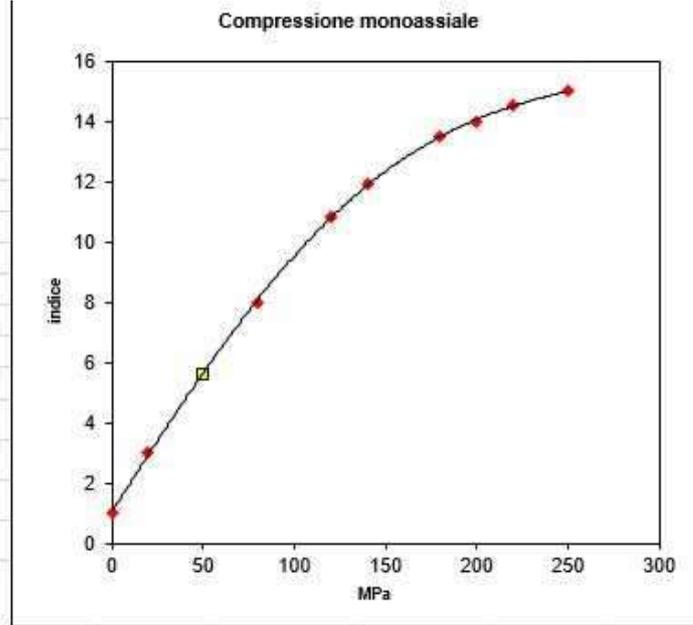
Committente: Amministrazione Comunale di Casnigo
Oggetto: INDAGINE GEOLOGICA
Ubicazione: dissesto in loc. Baia del Re - Casnigo (Bg)



figg. 28/29 – accumulo detritico al piede del versante, coltri limo-sabbiose e blocchi di porfirite

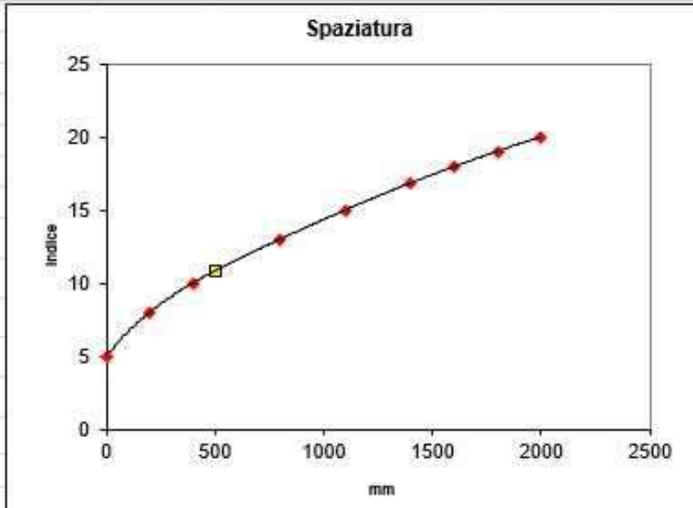
Committente: Amministrazione Comunale di Casnigo
 Oggetto: INDAGINE GEOLOGICA
 Ubicazione: dissesto in loc. Baia del Re - Casnigo (Bg)

Indice A1	Compressione monoassiale JCS _{sana} (Mpa)
1	0
3	20
8	80
11	120
12	140
14	180
14	200
15	220
15	250
	50
Indice A4 _d	
JCS _{alterata} =	30
JCS _{sana} / JCS _{alterata} =	1,67

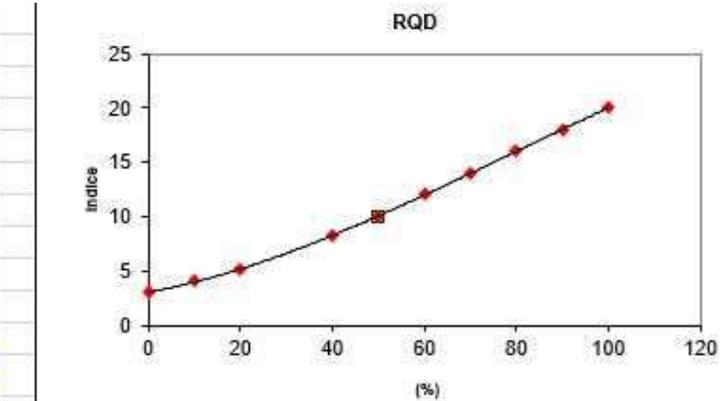


N. famiglie	3
Famiglia	1 2 3 4 5
Spaziatura media (m)	0,4 0,3 0,3

Indice A3	Spaziatura (mm)
5	0
8	200
10	400
13	800
15	1100
18	1600
19	1800
20	2000
17	1400
	500
Jv =	9,2
RQD (%) =	85
RQD (%) =	77



Indice A2	RQD (%)
3	0
4	10
5	20
8	40
10	50
12	60
14	70
16	80
18	90
20	100
	50



Committente: Amministrazione Comunale di Casnigo
 Oggetto: INDAGINE GEOLOGICA
 Ubicazione: dissesto in loc. Baia del Re - Casnigo (Bg)

PARAMETRI		INTERVALLO VALORI							Indice ricavato	
A1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale (Mpa)	>10	4-10	2-4	1-2	Non applicabile			
				Compressione monoassiale JCS (Mpa)	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5
		Indice	15	12	7	4	2	1	0	
A2		RQD (%)	90-100	75-90	50-75	25-50	<25			10
		Indice	20	17	13	8	3			
A3		SPAZIATURA GIUNTI (m)	>2	0,6-2	0,6-0,2	0,06-0,2	<0,06			11
		Indice	20	15	10	8	5			
A4 _a		PERSISTENZA GIUNTI (m)	<1	1-3	3-10	10-20	>20			4
		Indice	6	4	2	1	0			
A4 _b		APERTURA GIUNTI (mm)	Chiuso	<0,1	0,1-1	1-5	>5			1
		Indice	6	5	4	1	0			
A4 _c		RUGOSITA' GIUNTI	molto rug.	rugoso	legg. rug.	liscio	laminato			1
		JRC	20-17	17-10	10-4	4-2	1			
		Indice	6	5	3	1	0			
A4 _d		ALTERAZIONE GIUNTI	non alt.	legg. alt.	med. alt.	molto alt.	decomposti			5
		JCS _{sana} /JCS _{alterata}	1-1,5	1,5-2	2-3	3-4	5			
		Indice	6	5	3	1	0			
A4 _e		RIEMPIMENTO (mm)	nessuno	comp. <5	comp. >5	molle <5	molle >5			4
		Indice	6	4	2	2	0			
A5		CONDIZIONI IDRAULICHE DEI GIUNTI	asciutti	umidi	bagnati	stillicidio	venute d'acqua			15
		Indice	15	10	7	4	0			

Parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso (RMR-Beniawsky)								
RMR =	56	discreto	E [Gpa]=	12,954	Φ(°)=	33	c[Mpa]=	0,282

SMR =	56	Classificazione dell'ammasso roccioso (SMR-Beniawsky e Romana)
CLASSE	III	
DESCRIZIONE	Mediocre	
STABILITA'	Parzialmente stabile	
MODO DI ROTTURA	Lungo piani o per cunei	
STABILIZZAZ.	Sistematica	

Le analisi geomeccaniche effettuate in corrispondenza degli ammassi rocciosi calcarei hanno evidenziato parametri da discreti a buoni, con eventuali distacchi superficiali in presenza di blocchi isolati. Il lembo intrusivo di porfirite, invece, presenta un grado di competenza variabile, generalmente basso in superficie al punto da sfaldarsi localmente in coltri sabbiose di alterazione, ed è quindi vulnerabile all'azione degli agenti esogeni. Il deterioramento può essere progressivo una volta esposto alle intemperie.

Le osservazioni effettuate dall'evento occorso in data 29.10.2018 al 21.11.2018 non hanno evidenziano variazioni significative dello stato dei luoghi o fessurazioni nel piano strada. Lievi distacchi si sono registrati lungo il fianco orientale del dissesto.

5.2 Indagine geofisica di sismica attiva di rifrazione

In base alle caratteristiche dei luoghi si è ritenuto opportuno eseguire delle indagini geofisiche con metodo attivo (sismica a rifrazione e Masw) e passive (H/V).

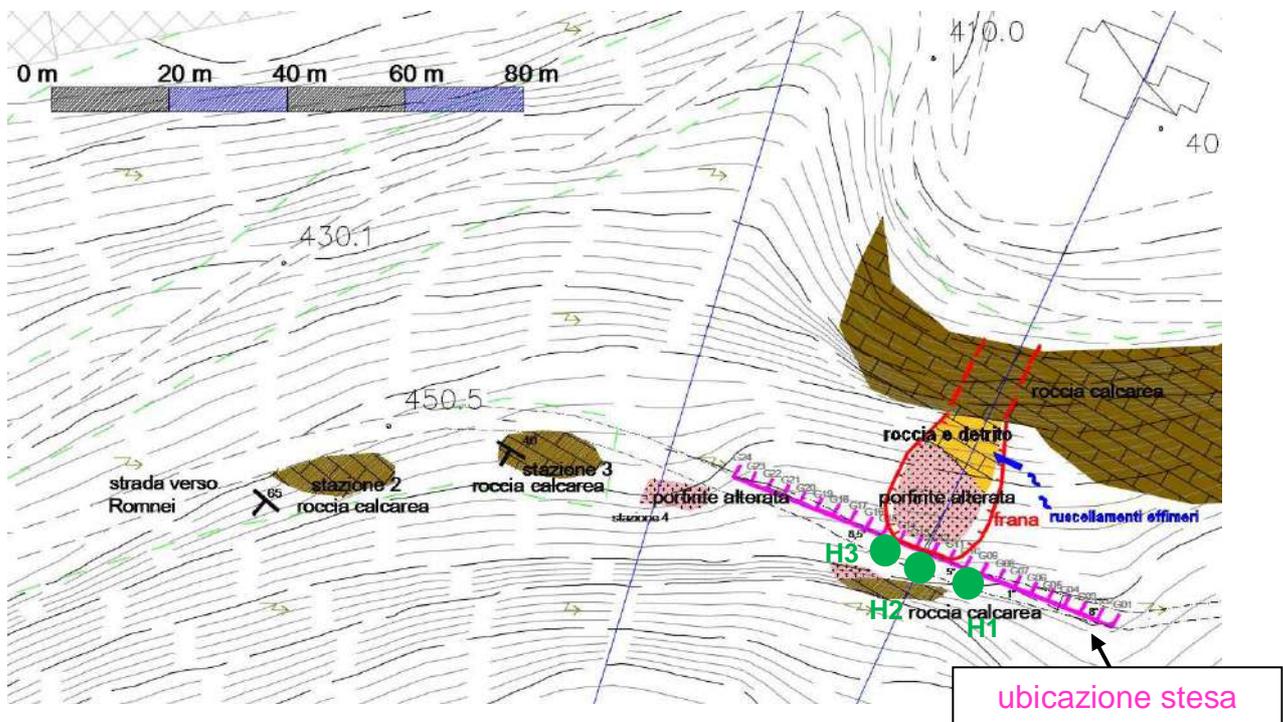


fig. 30 – ubicazione stesa sismica a rifrazione – masw (linea magenta) e prove H/V (punti verdi)

Il rilievo sismico a rifrazione è un metodo di indagine basato sulla misura dei tempi di percorso che le onde elastiche (onde P), generate nel terreno in un punto-sorgente, impiegano per raggiungere dei ricevitori (geofoni) disposti sulla superficie del terreno ed allineati con il punto di energizzazione. La distanza tra i geofoni e quella del punto di energizzazione sono scelte in base allo spessore ed ai tipi di materiale che si vogliono indagare.

Con i tempi di percorso rilevati mediante i geofoni e le distanze degli stessi dai punti di energizzazione si tracciano dei diagrammi tempi-distanze (dromocrone) che permettono di calcolare sia la velocità di propagazione delle onde di compressione (onde P), sia la profondità e lo spessore dei terreni che sono stati attraversati dalle onde sismiche. L'interpretazione delle dromocrone consente di ricavare delle sezioni sismiche che schematizzano la distribuzione della velocità in funzione della profondità.

I principi interpretativi, si basano nell'ipotesi che il sottosuolo sia costituito da un limitato numero di strati piani o poco inclinati rispetto alla superficie topografica, ciascuno caratterizzato da velocità sismica pressoché costante sia in senso verticale che laterale. E'

inoltre necessario che la velocità di ogni strato sia significativamente maggiore di quella dello strato soprastante. Quanto più le condizioni del sottosuolo si discostano dalle assunzioni teoriche, che sono alla base dei principi interpretativi, tanto più il modello geosismico interpretativo presenta delle incertezze sia nella velocità che nelle profondità degli strati sismici.

Nella valutazione dei risultati occorre inoltre considerare che l'interpretazione fornisce una stratificazione sismica definita in base alla velocità di propagazione delle onde elastiche longitudinali, la quale non è necessariamente correlabile ad una differenziazione geologica e/o litologica. Conseguentemente deve essere tenuta presente la possibilità che rocce diverse risultino indifferenziate in termini di "velocità sismica" o che vi possa essere una differenziazione di "velocità sismica" all'interno di uno stesso litotipo.

Modalità esecutive

L'indagine è stata eseguita in fregio all'edificio di progetto, a poca distanza da lato di valle. La sezione è stata opportunamente discretizzata mediante 24 geofoni verticali Mark da 10 Hz distanziati tra loro di 3 m per una lunghezza totale di 69 m circa.

Acquisizione dei dati

L'acquisizione dei dati è stata realizzata utilizzando un sismografo GEOMETRICS GEODE a 24 canali e 24 bit di dinamica.

Per quanto concerne l'energizzazione è stata utilizzata una mazza strumentata su apposita piastra metallica. Sono state effettuate misure adottando il classico schema a 7 punti di battuta, di cui 5 interni e 2 esterni allo stendimento.

I dati sono registrati in formato internazionale SEG-2.

Elaborazione dati

L'elaborazione dei dati è stata eseguita con l'ausilio del software ReflexW della Sandmeier adottando la tecnica classica di elaborazione con metodo "GRM – Generalized Reciprocal Method, Palmer '80".

Committente: Amministrazione Comunale di Casnigo
Oggetto: INDAGINE GEOLOGICA
Ubicazione: dissesto in loc. Baia del Re - Casnigo (Bg)



fig. 31a – stendimento geofisico

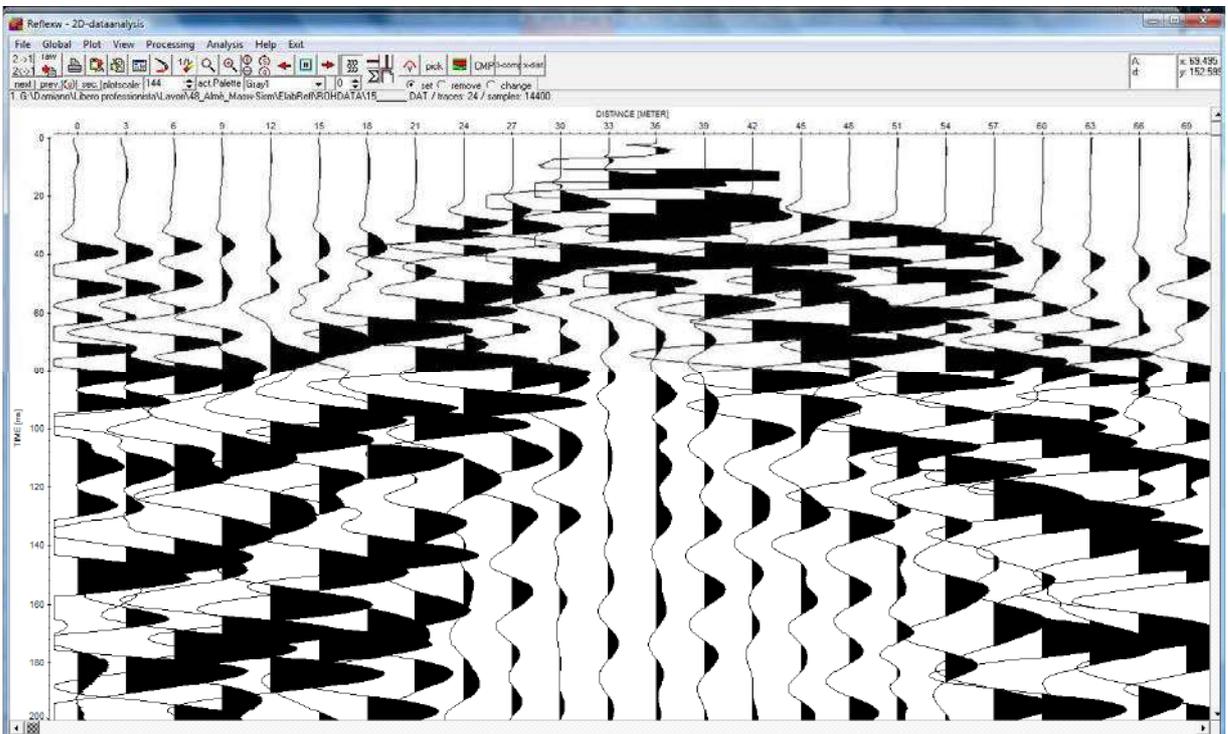


fig. 31b – esempio di segnale registrato (punto di scoppio tra i geofoni 12-13)

Nella prima fase è stata inserita la geometria della linea con i sette punti di battuta. Sono stati analizzati i segnali registrati per ogni singolo punto di energizzazione; in generale i segnali sono risultati attendibili e di ottima qualità. Si è proceduto quindi alla lettura dei tempi di primo arrivo dei segnali ed alla creazione dei grafici tempi – distanze (dromocrone). Per ogni insieme di dromocrone appartenenti ad ogni singolo stendimento si è proceduto all'assegnazione degli strati, alla verifica dei tempi reciproci per strato, a garanzia della corretta assegnazione ed alla determinazione dei tempi di intercetta.

Il software di elaborazione ha poi determinato le velocità e gli spessori nelle diverse zone e per i diversi strati come evidenziato nella sezione interpretativa riportata nell'allegato. Un ulteriore controllo manuale del risultato è stato eseguito in corrispondenza dei punti di energizzazione.

Risultati

Di seguito si rappresenta graficamente il risultato dell'elaborazione tomografica dei dati. In particolare sono stati riconosciuti n.2 rifrattori: il primo intorno ai 3-4 m di profondità, mentre il secondo 8-10 m al di sotto il piano campagna. In superficie la velocità delle onde P è bassa 500 m/s (livello A); ciò può essere associato alla presenza di coltri di alterazioni della porfiriti e depositi detritici. Il primo rifratore determina l'innalzamento delle velocità a circa 1.000 m/s (livello B); tali valori possono essere correlati al substrato porfiritico alterato. Il secondo rifratore lascia intravedere valori che si avvicinano a quelli propri degli ammassi rocciosi competenti (1.500-2.000 o superiori, livello C, moderatamente rigido o rigido). Si sottolinea come la restituzione tomografica tende a sottostimare lievemente i valori delle velocità V_p .

La massima profondità di investigazione è stata ottenuta nella parte centrale della stesa raggiungendo 11-12 m circa di profondità da p.c..

Dai risultati della sismica a rifrazione (V_p) si può stimare la velocità delle onde di taglio (V_s):

- livello A ~ 200-250 m/s
- livello B ~ 300-350 m/s
- livello C ~ > 800 m/s

Committente: Amministrazione Comunale di Casnigo
Oggetto: INDAGINE GEOLOGICA
Ubicazione: dissesto in loc. Baia del Re - Casnigo (Bg)

Tipo di terreno	V_p (m/s)	V_s (m/s)	V_p/V_s	Fattore di sicurezza (F_s)
Roccia dura e massiccia	6000÷4200	4000÷2700	1,45÷1,50	1,50
Suolo molto rigido	4200÷3000	2700÷1500	1,5÷2,0	1,5÷2,0
Suolo rigido	3000÷2000	1500÷700	2÷3	2
Suolo moderatamente rigido o alterato	2000÷1500	700÷400	3÷4	3
Suolo sciolto e soffice	1500÷600	400÷100	4÷6	3÷4
Suolo soffice e saturo	> 1300	> 100	5÷8	4÷5

tab.1- Correlazioni V_p/V_s in letteratura (Keceli, 2012)

ALLEGATO2

sezione sismica

5.3 Indagine geofisica di sismica attiva: Masw

La nuova normativa nazionale (NTC2018) introduce una classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto che distingue 5 categorie principali (dalla A alla E). Tale classificazione si basa principalmente sulla conoscenza del valore del parametro V_{Seq} che rappresenta il valore medio della velocità di propagazione delle onde di taglio (S).

La determinazione del valore delle onde di taglio negli strati superficiali, assieme ad una dettagliata ricostruzione stratigrafica del sottosuolo, è ritenuta fondamentale per valutare sia gli effetti legati allo scuotimento indotto dal sisma sul terreno (fenomeni di liquefazione, fenomeni di dilatanza o di addensamento, instabilità di versanti, collasso di cavità sotterranee) che la conseguente risposta del sottosuolo (fenomeni di amplificazione sismica legati sia ad effetti morfologici che litologici, presenza di faglie attive).

In seguito ai fenomeni di rifrazione/diffrazione che si verificano in corrispondenza di ogni contrasto d'impedenza lungo la direzione di propagazione dei fronti d'onda (a partire dalla sorgente sismica), le onde di taglio che raggiungono la superficie topografica risultano pressochè verticali, determinando così in tale punto spostamenti orizzontali rilevanti ai fini della stabilità delle costruzioni

Nel panorama legislativo si ricorda inoltre la normativa regionale lombarda, la D.G.R. 8/1566 del 22 dicembre 2005 e s.m.i.. In tale normativa, una tra le prime del genere nel panorama nazionale, viene stabilita la metodologia per la definizione della componente sismica a livello comunale da attuare in fase di pianificazione territoriale.

Le tecniche per la determinazione della velocità delle onde sismiche di taglio sono diverse, si distinguono principalmente tra tecniche di tipo diretto/indiretto e tra tecniche di tipo attivo/passivo.

Nessuna tecnica è in grado di garantire la completa affidabilità nella determinazione dei parametri dei terreni presenti nel sottosuolo; occorre pertanto appoggiarsi ad informazioni di tipo stratigrafico per poter interpretare correttamente le informazioni deducibili dall'interpretazione dei dati delle campagne d'indagine.

Introduzione alla teoria dell'analisi delle onde superficiali

I metodi di misura delle onde di superficie (onde di Rayleigh) si basano sull'analisi del fenomeno della dispersione delle stesse nei primi strati di terreno.

Le onde superficiali (Rayleigh e Love) si propagano solamente se c'è una superficie libera e risultano rispettivamente composte da onde di compressione e onde di taglio. Esse possiedono un fronte d'onda che cresce linearmente con la distanza percorsa (r) e si attenuano in minor misura rispetto a quelle di volume (il loro fronte d'onda cresce con r^2); ciò consente di investigare facilmente il sottosuolo. La profondità massima d'indagine è uguale a circa $1/3$ della lunghezza d'onda: per questo motivo vengono usati geofoni con bassa frequenza di funzionamento, ovvero per rilevare lunghezze d'onda lunghe che consentano di approfondire l'indagine; allo stesso tempo vengono effettuate registrazioni di lunga durata per poter migliorare la risoluzione dei risultati.

I diversi metodi si dividono in base al tipo di sorgente utilizzata; nel caso di registrazione di rumore "naturale" si parla di metodo dei Microtremori (o REMI), nel caso di sorgente "attiva" si utilizza il metodo MASW (Multi Channel Analysis Surface Waves). Quest'ultimo rappresenta l'evoluzione del metodo SASW, dal quale differisce per l'uso di un dispositivo di acquisizione multicanale rispetto al singolo canale, aspetto che comporta un netto miglioramento in termini di precisione e affidabilità dei risultati.

Metodi passivi: Microtremori

La tecnica di Refraction Microtremor (ReMi) è una metodologia di tipo indiretto e passivo e consente di determinare la velocità delle onde di taglio attraverso la registrazione degli arrivi delle onde superficiali su stendimenti di tipo lineare e ipotizzando che non vi sia un'orientazione preferenziale di provenienza del rumore. A differenza della classica sismica a rifrazione la tecnica dei microtremori non necessita di andamenti crescenti della velocità delle onde sismiche con la profondità o di forti contrasti di propagazione dei vari strati incontrati per discernerne i diversi limiti, ma può individuare anche incrementi gradualmente di velocità e fenomeni di inversione.

Le tecniche di tipo passivo sono in grado di operare anche in contesti urbani rumorosi e ristretti, inoltre non necessitano di energizzazioni del terreno ma si basano più semplicemente sul principio di effettuare una registrazione prolungata di treni d'onda superficiali in arrivo prodotti da sorgenti naturali o antropiche non controllate.

Vista la più ridotta attenuazione che caratterizza le onde superficiali rispetto a quelle di volume durante la propagazione nel sottosuolo, con questa tecnica si può raggiungere

profondità d'indagine sino al centinaio di metri impiegando le normali attrezzature utilizzate per la sismica a rifrazione.

L'interpretazione dei segnali registrati lungo uno stendimento (x-t) avviene attraverso un processo di trasformazione che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica ed è in grado di generare uno spettro di velocità in un dominio di lentezza ($p=\text{slowness}=1/V_{\text{fase}}$) su frequenza.

Sul diagramma (p/f) così prodotto è visibile la distribuzione della densità spettrale; al modo fondamentale di dispersione delle onde superficiali.

La dispersione è una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza. Le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore, per un dato modo, e presentano più elevate velocità di fase. La fase di dispersione delle onde superficiali è riconoscibile ad una nuvola di energia di "normal modes" ben individuabile sul grafico; tale nuvola scende gradualmente dagli orizzonti più veloci caratterizzati da alte velocità di fase (bassa lentezza) e basse frequenze (alti periodi – onde più profonde), verso velocità di fase più basse (elevata lentezza) individuabili a più elevate frequenze (tipiche degli strati superficiali più lenti)

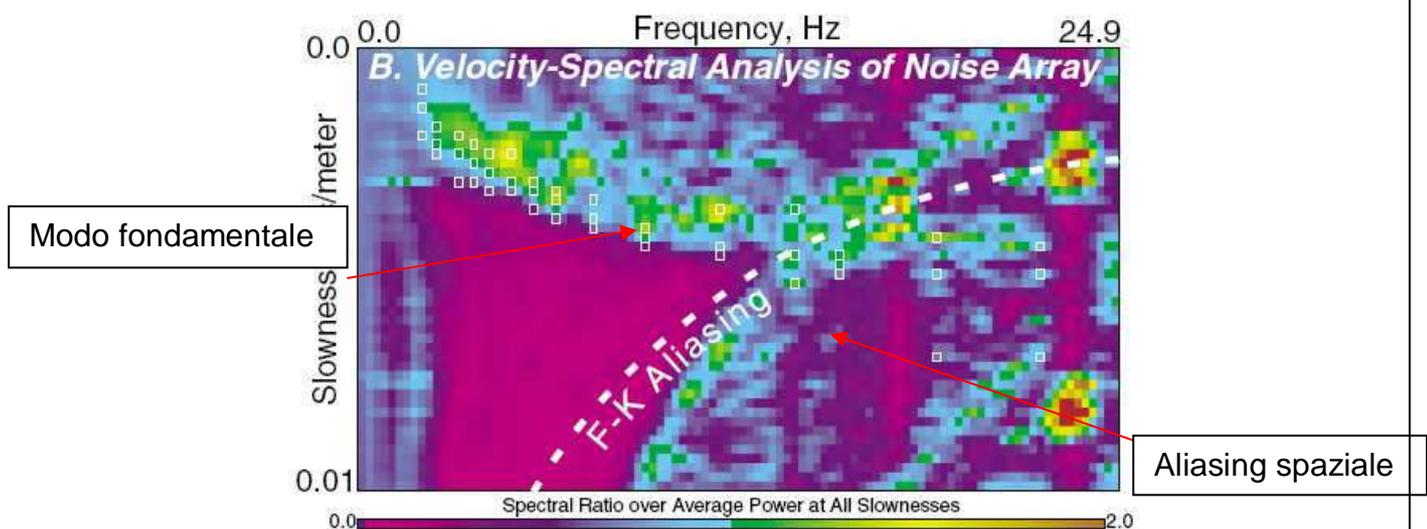


fig. 32 - esempio di diagramma spettrale p-f. (da Louie 2001)

Nell'immagine sopra appaiono evidenti i trend che possiedono sia una spiccata coerenza di fase che una potenza significativa, al centro dell'immagine è possibile riconoscere il modo fondamentale delle onde di Rayleigh che si distingue da altri arrivi riconducibili alle onde di Rayleigh di ordine superiore o a onde di volume o a spostamenti d'aria o ancora a rumore incoerente.

Una volta individuato il modo fondamentale delle onde superficiali, l'operatore in base all'esperienza acquisita, traccia per punti (picking) la curva di dispersione sperimentale. L'allineamento di punti così individuato viene ridisegnato su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e delle relative curve di incertezza.

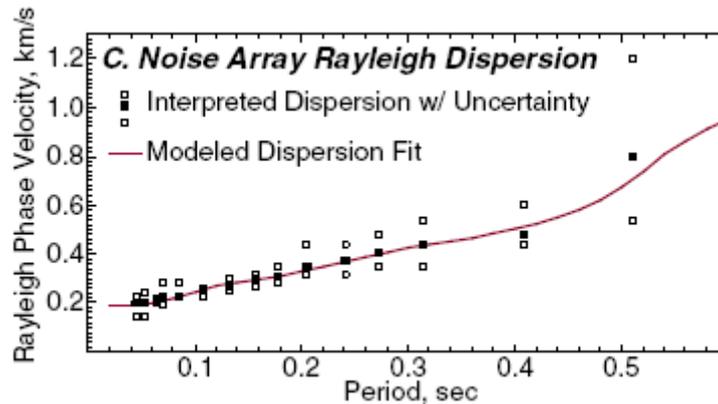


fig. 33 - esempio di diagramma $v(\text{fase})-t$. (da Louie 2001)

Il passo successivo consente di ottenere dalla curva delle velocità delle onde di Rayleigh, periodo-V(fase), una curva dell'andamento delle Vs con la profondità ed associare alla curva sperimentale così determinata, un profilo stratigrafico. La curva di dispersione sperimentale viene quindi confrontata con curve di dispersione teoriche alle quali sono associati modelli fisici del sottosuolo sino ad ottenere interattivamente la convergenza tra modello teorico e sperimentale.

Il risultato è quello di ottenere per ogni stendimento sismico un profilo verticale del valore medio delle Vs relativo al volume di sottosuolo indagato. Più stendimenti allineati consentono la ricostruzione di una sezione 2D trasversale ad esempio ad una valle per verificare la variabilità laterale delle velocità delle Vs.

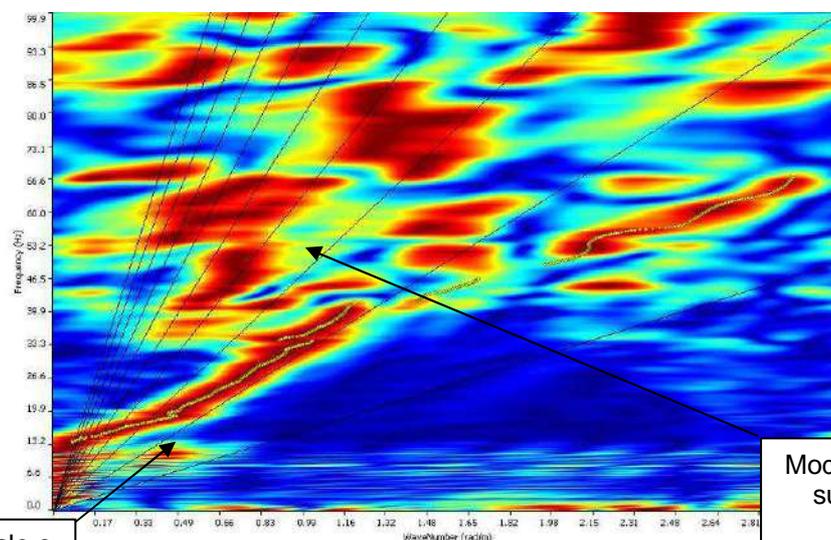
Metodi attivi: MASW

I metodi "attivi" consistono nel registrare le vibrazioni indotte artificialmente da una sorgente rappresentata da una massa battente o, nel caso si necessiti di forte energia, da un fucile sismico. L'energizzazione del terreno in superficie induce la propagazione di onde superficiali a partire dal punto di sollecitazione dinamica registrate poi dalla catena di geofoni (metodo MASW). Tale tecnica consente di dettagliare la risposta e le proprietà dinamiche soprattutto nei primi metri di terreno, perdendo capacità risolutiva col progredire della profondità.

Le registrazioni in campo consentono di calcolare l'andamento delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza ($V(\text{fase})/\text{frequenza}$); successivamente, attraverso un'elaborazione per fasi (processo di inversione della curva di dispersione), si ricava l'andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità a partire dalla superficie (modello preliminare del sottosuolo). Il modello d'interpretazione si basa sul presupposto teorico ideale della presenza nel sottosuolo di strati orizzontali sovrapposti di spessore costante. Il risultato alla quale si giunge rappresenta l'andamento medio del valore della velocità delle onde di taglio in corrispondenza della zona centrale della linea sismica.

L'elaborazione consiste nel ricavare, a partire dalle registrazioni in campo, l'andamento delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza e quindi il modello di velocità in funzione della profondità. Nell'immagine che segue è riportato un esempio di diagramma velocità di fase/frequenza. In esso sono evidenti le direttrici di maggior potenza e con coerenza di fase: nell'immagine è possibile riconoscere il modo fondamentale delle onde di Rayleigh che si distingue da altri arrivi riconducibili alle onde di Rayleigh di ordine superiore o a onde di volume, o a spostamenti d'aria o ad altre forme di rumore incoerente.

Una volta individuato il modo fondamentale delle onde superficiali si procede al picking della curva di dispersione sperimentale, e quindi alla trasformazione dell'allineamento di punti individuato in forma di un diagramma periodo-velocità di fase. Il passo successivo consente di ottenere il profilo con l'andamento delle V_s con la profondità e di confrontare quindi la curva di dispersione sperimentale con la curva di dispersione costruita sul modello fisico del sottosuolo. La procedura viene ripetuta iterativamente sino ad ottenere la convergenza tra modello teorico e sperimentale.



Modo fondamentale e picking della curva di dispersione

fig. 34 - esempio di diagramma spettrale

Modi di ordine superiore

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

Modalità esecutive – MASW/Remi

La registrazione delle onde di superficie viene effettuata con l'impiego di una classica apparecchiatura di acquisizione per sismica a rifrazione. E' necessario un sismografo ad elevata dinamica corredato da 24 geofoni a bassa frequenza (4.5 Hz). Nella fattispecie è stato utilizzato un sismografo GEODE con risoluzione a 24 bit e 24 canali.

Le indagini sono state eseguite in corrispondenza di una linea sismica con le seguenti caratteristiche:

Linea	n° Geofoni	Spaziatura geofonica [m]	Lunghezza stendimento [m]
Linea sismica	24	3	69

tab 2

In corrispondenza della suddetta linea sono state acquisite, registrazioni MASW da 3 secondi ciascuna, posizionando i punti di energizzazione alle estremità della linea con un offset di 3 m. Sulla stessa linea sono state poi acquisite registrazioni di microtremori (REMI) della durata di 30 s. Al termine delle misure si dispone di registrazioni con sorgente attiva e con sorgente passiva. Utilizzando un software dedicato (SurfSeis 3), i dati vengono elaborati congiuntamente in modo da avere una maggiore attendibilità ed una più accurata risoluzione dei risultati. L'elaborazione di dati di onde superficiali consiste nel ricavare, a partire dalle registrazioni in campo, l'andamento delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza e quindi il modello di velocità in funzione della profondità. Una volta ricavato lo spettro FK ed individuato il modo fondamentale di propagazione, si procede al picking della curva di dispersione sperimentale e quindi alla trasformazione dell'allineamento di punti individuato in forma di un diagramma periodo-velocità di fase.

Attraverso un processo d'inversione della curva di dispersione (sperimentale) si ottiene il profilo con l'andamento delle Vs con la profondità e conseguentemente, una nuova curva di dispersione (teorica) da confrontare con la curva di dispersione ricavata dalle registrazioni. La procedura viene successivamente ripetuta iterativamente sino ad ottenere la migliore

convergenza possibile tra modello teorico/sperimentale e le condizioni stratigrafiche esistenti, ricavate da indagini pregresse o effettuate successivamente.

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

Risultati

L'indagine eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs negli strati di copertura e nei primi orizzonti sino a profondità significativa.

Per quanto concerne la caratterizzazione sismica dei siti in esame, utilizzando il valore del parametro $V_{S,eq}$ ottenuto dalla relazione:

$$V_{S,eq} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} h_i/V_i}$$

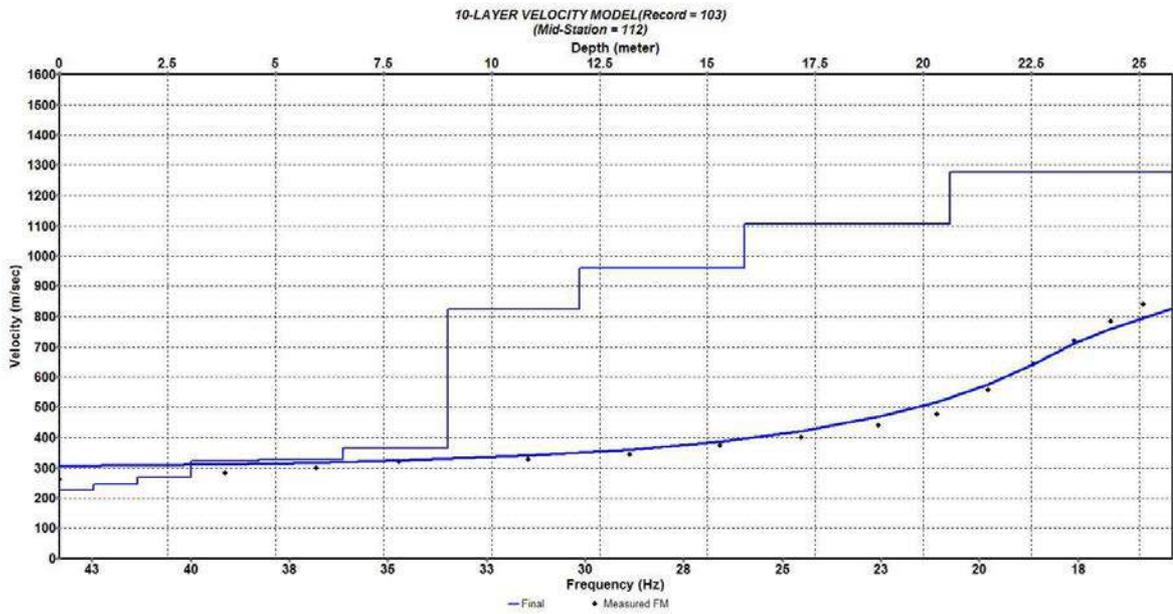
dove h_i e V_i indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo per un totale degli N strati riconosciuti nei primi 30 metri di sottosuolo a partire dalla superficie, si ottiene, confrontandolo con i valori di riferimento riportati nella tabella seguente, che il sito in esame appartiene alla categoria di suolo E; di seguito viene proposta una tabella riassuntiva con i valori ottenuti.

Risultati Masw-Remi		
Intervallo di profondità [m]		Velocità Vs [m/s]
0,0	0,8	227
0,8	1,8	245
1,8	3,0	270
3,0	4,6	324
4,6	6,6	327
6,6	9,0	365
9,0	12,0	825
12,0	15,9	961
15,9	20,6	1106
20,6	25,8	1277
$V_{S9.0}$ [m/s] = 303		Suolo tipo E

tab 3 – tabella riassuntiva con i valori di velocità V_{seq}



fig. 35 - Profili di velocità delle onde di taglio (V_s)



tab. 4 – Grafico riassuntivo con i valori di velocità Vseq

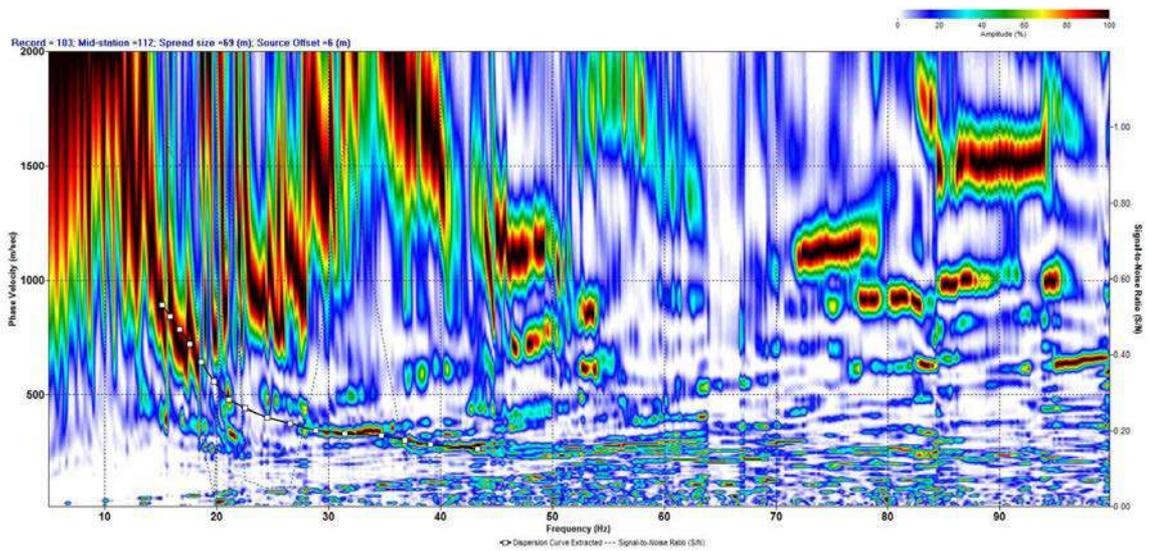


fig. 36 – curva di dispersione

5.4 Indagine geofisica di sismica passiva (H/V)

Infine è stata effettuata un'indagine geofisica passiva (prove H/V) per caratterizzare la zona in esame dal punto di vista sismico stimando, secondo quanto stabilito dalla normativa nazionale (NTC2008) e regionale (D.G.R. 8/1566 e s.m.i.).

Premessa e quadro normativo

La normativa nazionale (NTC2008) introduce una classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto che distingue 5 categorie principali (dalla A alla E), alle quali sono aggiunte altre 2 (S1 e S2) per le quali è richiesta l'effettuazione di studi di dettaglio per la valutazione, in fase di progettazione esecutiva, dell'azione sismica da considerare. Tale classificazione si basa principalmente sulla conoscenza del valore del parametro V_{S30} che rappresenta il valore medio della velocità di propagazione delle onde di taglio (S) entro i primi 30 metri di profondità.

Il valore di V_{S30} viene calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} h_i / V_i}$$

dove h_i e V_i indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$, per deformazioni piccole e nel campo delle deformazioni elastiche) dello strato i -esimo per un totale degli N strati riconosciuti nei primi 30 metri di sottosuolo a partire dalla superficie.

La determinazione del valore delle onde di taglio negli strati superficiali, assieme ad una dettagliata ricostruzione stratigrafica del sottosuolo, è ritenuta fondamentale per valutare sia gli effetti legati allo scuotimento indotto dal sisma sul terreno (fenomeni di liquefazione, fenomeni di dilatanza o di addensamento, instabilità di versanti, collasso di cavità sotterranee) che la conseguente risposta del sottosuolo (fenomeni di amplificazione sismica legati sia ad effetti morfologici che litologici, presenza di faglie attive).

In seguito ai fenomeni di rifrazione/diffrazione che si verificano in corrispondenza di ogni contrasto d'impedenza lungo la direzione di propagazione dei fronti d'onda (a partire dalla sorgente sismica), le onde di taglio che raggiungono la superficie topografica risultano pressochè verticali, determinando così in tale punto spostamenti orizzontali rilevanti ai fini della stabilità delle costruzioni

Nel panorama legislativo si ricorda inoltre la normativa regionale lombarda, la D.G.R. 8/1566 del 22 dicembre 2005 e s.m.i.. In tale normativa, una tra le prime del genere nel panorama nazionale, viene stabilita la metodologia per la definizione della componente sismica a livello comunale da attuare in fase di pianificazione territoriale.

Le tecniche per la determinazione della velocità delle onde sismiche di taglio sono diverse, si distinguono principalmente tra tecniche di tipo diretto/indiretto e tra tecniche di tipo attivo/passivo.

Nessuna tecnica è in grado di garantire la completa affidabilità nella determinazione dei parametri dei terreni presenti nel sottosuolo; occorre pertanto appoggiarsi ad informazioni di tipo stratigrafico per poter interpretare correttamente le informazioni deducibili dall'interpretazione dei dati delle campagne d'indagine.

Indagini H/V

La prova, comunemente nota con il termine H/V, fu applicata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare da Nakamura (1989). Si tratta di una valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti.

Per questo motivo la prova assume anche la denominazione di prova HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o prova HVNSR (Horizontal to Vertical Spectral Noise Ratio) o prova "di Nakamura". L'esito di questa prova è una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura.

Quando la misura è effettuata su un basamento sismico affiorante (e quindi dove non sono attesi fenomeni di risonanza sismica) la curva non mostra massimi significativi e si assesta intorno ad ampiezza 1.

Pertanto questa prova ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.

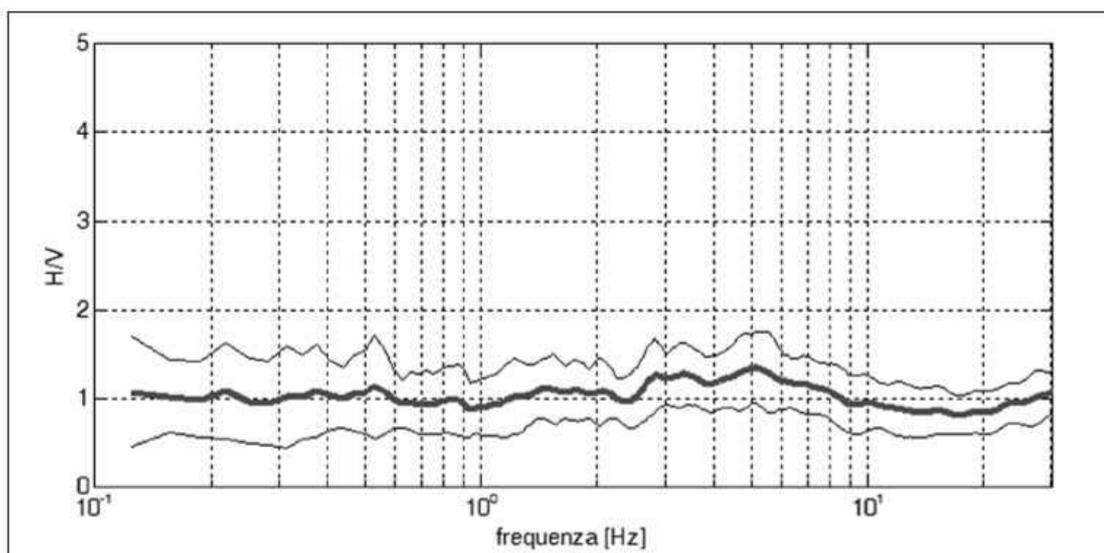


fig. 37 – curva H/V di un sito su roccia non fratturata e morfologicamente piatta; si noti l'assenza per risonanza in tutto il dominio di frequenza

Contestualmente fornisce indicazioni di tipo qualitativo sull'entità delle risonanze attese. In generale, la stima della frequenza di risonanza f sarà tanto più precisa quanto maggiore è il contrasto di impedenza sismica responsabile del fenomeno, ovvero dove sono maggiori gli effetti potenzialmente pericolosi.

Inoltre se i risultati della prova sono invertiti mediante opportune procedure numeriche, soprattutto se in associazione ad altre indicazioni sperimentali (per esempio le curva di dispersione delle onde superficiali), possono fornire vincoli importanti al profilo di velocità delle onde di taglio nel sottosuolo.

In casi semplici (coperture soffici al di sopra di un basamento sismico rigido) è possibile stabilire una relazione fra lo spessore h dello strato soffice, la velocità media delle onde S all'interno di quest'ultimo (V_s) e la frequenza di risonanza fondamentale f dello strato, nella forma

$$f = \frac{V_s}{4h} \quad [1]$$

Dall'equazione 1 emerge come la tecnica H/V possa fornire anche indicazioni di carattere stratigrafico: a partire da una misura di vibrazioni ambientali che vincola il valore di f , nota la

Vs delle coperture, si può infatti stimare la profondità dei riflettori sismici principali o viceversa.

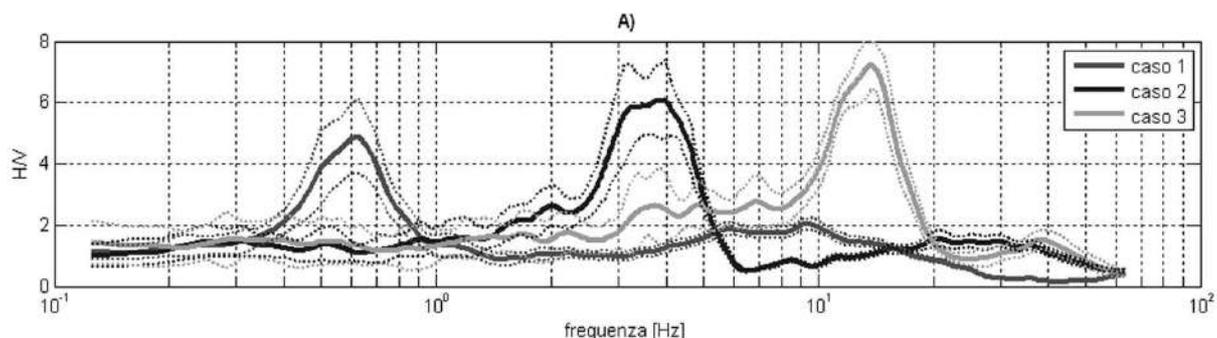


fig. 38 – esempio di bedrock sismico a diverse profondità che genera risonanze a diverse frequenze:
caso 1- bedrock a 300 m di profondità, caso 2- bedrock a 20 m di profondità,
caso 3- bedrock a 4 m di profondità.

Modalità esecutive ed acquisizione dati

Le indagini H/V sono state eseguite posizionando il sismometro a tre componenti (velocimetro), in corrispondenza di due punti rappresentativi.

Per i rilievi H/V è stato utilizzato un sistema composto da acquisitore DYMAS a 24 bit, corredato da velocimetro a 3 componenti della serie VELOGET entrambi di produzione Solgeo. Sono state effettuate una serie di misure, con registrazioni di 1 minuto ciascuna, in corrispondenza di due punti prestabiliti.

Elaborazione

L'elaborazione dei dati è stata effettuata utilizzando il software NakaSolgeo fornito a corredo della strumentazione utilizzata. Per ciascun punto di misura sono state selezionate le migliori registrazioni, per un totale di 30 minuti. Prima di procedere con il calcolo H/V ciascuna registrazione è stata filtrata per eliminare eventuali disturbi che potessero pregiudicare la bontà della misura. Qualora il risultato non soddisfacesse i requisiti imposti dalla procedura, devono essere effettuate nuove registrazioni o asportando quelle soggette a maggior disturbo.



fig. 39 – strumentazione utilizzata per l'indagine H/V con sensore Veloget, acquisitore Dymas

Risultati

In allegato viene mostrato il risultato relativo alle registrazioni effettuate in corrispondenza dei 3 punti di misura ritenuti significativi (H1, H2 e H3). In dettaglio vengono riportate le relative curve H/V calcolate.

Analizzando nel dettaglio i risultati ottenuti, si può notare che le registrazioni effettuate in corrispondenza dei due punti di misura presentano picchi piuttosto definiti.

In base alle indagini geognostiche effettuate, stimando la velocità delle onde di taglio superficiali, è possibile avere indicazioni sullo spessore delle coperture, in funzione del valore di frequenza (f_0) ricavato dalla curva H/V, secondo la relazione:

$$h=V_s/4f_0 \quad (2)$$

Alla luce dei rilievi si ipotizza che il basamento sismico rigido (bedrock) si possa rinvenire a comprese tra 3 (H1 e H3) e 4 m (H2).

POSTAZIONE H1

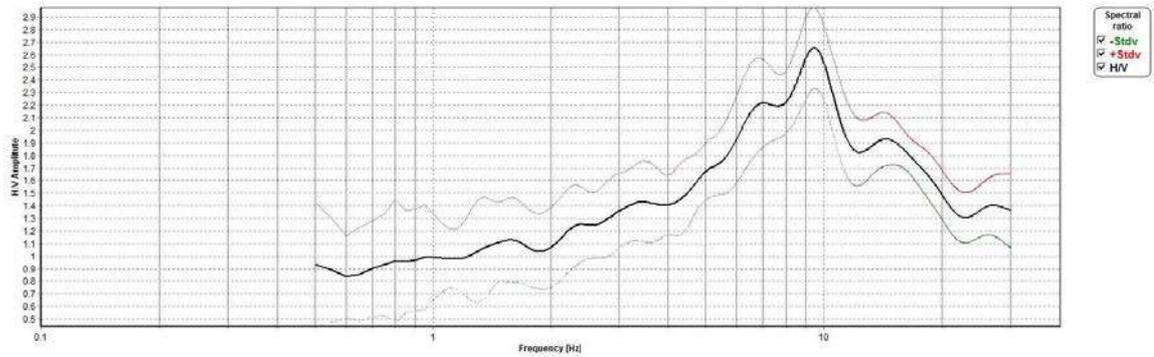


fig. 40 – curva H/V media e deviazione standard – punto di misura H1 (geofono G10, fianco est)

N.B.: Picco significativo nell'ordine dei 8,7 Hz

POSTAZIONE H2

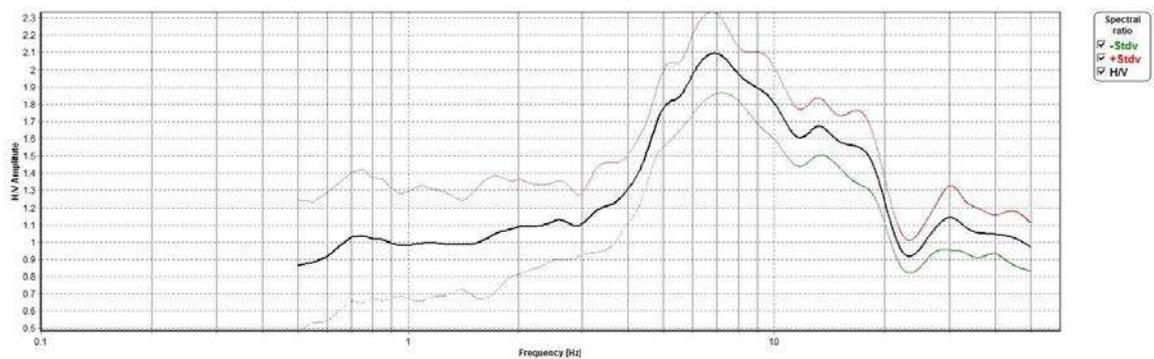


fig. 41 – curva H/V media e deviazione standard – punto di misura H2
(geofoni G12-G13, settore centrale)

N.B.: Picco significativo a 7 Hz

POSTAZIONE H3

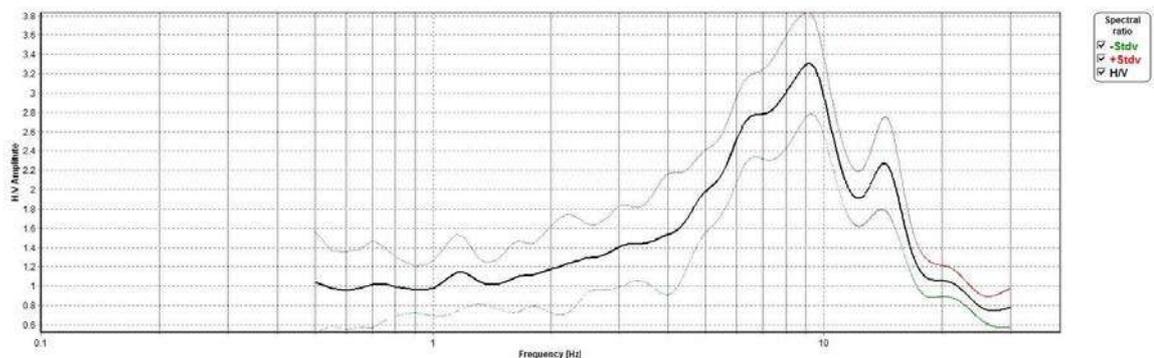


fig. 42 – curva H/V media e deviazione standard – punto di misura H3
(geofoni G14-G15, fianco ovest)

N.B.: Picco significativo nell'ordine dei 9 Hz

Committente: Amministrazione Comunale di Casnigo
 Oggetto: INDAGINE GEOLOGICA
 Ubicazione: dissesto in loc. Baia del Re - Casnigo (Bg)

Stima profondità del rifrattore ($H=Vs/4f$), in corrispondenza del punto 1				
	f *	Hmin (Vs=220m/s **)	Hmed (Vs=250m/s***)	Hmax (Vs=280m/s***)
	[Hz]	[m]	[m]	[m]
Punto 1 asfalto (G12-G13)	7	7,9	8,9	10,0
Punto 1 sterrato (G12-G13)	7	7,9	8,9	10,0
Punto 2 (G14-G15)	9	6,1	6,9	7,8
Punto 3 (G10)	8,7	6,3	7,2	8,0

tab. 5 – possibile spessore delle coltri superficiali sovrastanti il substrato roccioso rigido

6. MODELLO GEOTECNICO

Sulla base delle indagini geognostiche effettuate, anche pregresse, è possibile stimare i principali parametri geotecnici del sottosuolo.

Stratigrafia caratteristica sito-specifica

Livelli (classificazione A.G.I., 1977)	Profondità (m)	Peso di volume naturale (kN/m ³)	Peso di volume saturo (kN/m ³)	Angolo d'attrito (°)	Coesione drenata (Kg/cmq)	Modulo edometrico elastico (kN/m ²)	Vp (m/s)	Vs (m/s)
Coltri superficiali di alterazione	0-3/4	18,5	19,5	26-27	0,1-0,2	5.000-10.000	500	200-250
Porfirite alterata	3/4-8/10	19,5	20,5	30-32	0,3-0,4	> 20.000	1.000	300-350
substrato roccioso	>8/10	22	23	34-35	> 0,5	> 30.000	>1.500	>800

tab. 6 – parametri geotecnici caratteristici sito-specifici

I parametri geotecnici sono stati ottenuti elaborando i dati derivati dalle indagini geognostiche con correlazioni empiriche note in letteratura.

7. CONCLUSIONI E MODALITÀ D'INTERVENTO

La presente indagine è stata commissionata dall'Amministrazione Comunale di Casnigo per verificare lo stato dei luoghi a seguito del dissesto occorso nella serata di lunedì 29 ottobre 2018 ed il relativo assetto geologico. A seguito delle piogge intense della fine di ottobre si è verificato un dissesto lungo il versante settentrionale sovrastante la Baia del Re a Casnigo, che ha lambito un tratto della strada comunale lesionandone il margine di valle nel settore montano. Si è trattato di uno scivolamento traslazionale che è esplicitato lungo un dislivello di circa 60 m proprio per l'azione delle acque di infiltrazione (sviluppo di sovrappressioni) e degli intensi ruscellamenti (erosioni e scalzamenti) su litotipi vulnerabili (coltri di alterazioni e rocce deboli di natura porfirica) in una zona caratterizzata da un sistema carsico molto sviluppato.

La frana ha un fronte di una quindicina di metri ed una superficie di 350 mq circa ed ha movimentato una massa di circa 500 mc che scivolando verso valle è stata contenuta da un vallo e dal legname accatastato alla base del versante e che è stato spostato di 5 m circa occupando parzialmente l'imbocco della strada comunale per Romnei. Fortunatamente nessun veicolo era in transito nella zona e quindi non ci sono stati danni a cose e/o persone.

Proprio l'attivazione dei condotti carsici presenti nella zona (ad es. il cosiddetto Pozzòl) ha contribuito alla rilevanza degli apporti idrici verso valle. L'occlusione del pozzetto di drenaggio posto alla base del versante a determinato locali ruscellamenti ed allagamenti che hanno in parte interessato la vicina strada provinciale della Valgandino.

Tempestivamente l'Amministrazione Comunale si è attivata (secondo le procedure di emergenza previste), monitorando il dissesto con il supporto dei volontari del Gruppo di Protezione Civile e con la consulenza dello scrivente, presidiando la strada interessata verso loc. Romnei e segnalando gli allagamenti della provinciale ai Carabinieri ed alla Provincia di Bergamo (gestore dell'arteria), infine predisponendo apposita cartellonistica di avvertimento per i mezzi in transito. Nel giro di un paio di ore l'intervento di un'impresa specializzata contattata dall'Amministrazione Comunale ha consentito il tempestivo ripristino della funzionalità del drenaggio.

Il giorno seguente, a seguito del sopralluogo effettuato e delle evidenze emerse, è stato predisposto un telo impermeabile a copertura della porzione sommitale del dissesto (testata) soggetta all'azione degli agenti esogeni per mitigare il rischio di ulteriori arretramenti del

fenomeno e di ulteriori lesionamenti alla strada comunale, come da indicazione dello scrivente.

È stata emanata dall'Amministrazione Comunale ordinanza di chiusura del transito verso loc. Romnei, predisponendo ed è stata fatta segnalazione del dissesto alla Regione Lombardia tramite scheda RasDa, come previsto dalla normativa.

Il Comune di Casnigo ha affidato allo scrivente l'incarico di effettuare le prime indagini non invasive in modo da disporre di ulteriori elementi di valutazione per le fasi transitorie e di supporto al successivo progetto di consolidamento e mitigazione del rischio.

Le osservazioni effettuate dall'evento occorso in data 29.10.2018 al 21.11.2018 non hanno evidenziano variazioni significative dello stato dei luoghi o fessurazioni nel piano strada.

I risultati dell'indagine evidenziano la presenza di un corpo intrusivo, non indicato in letteratura, che si sviluppa proprio sotto il tratto della strada comunale interessato dal dissesto e per un decina di metri verso valle. Le velocità delle onde sismiche sono basse nei primi 3-4 m sotto strada per poi incrementare moderatamente fino a circa 8-10 m da piano strada, sensibilmente oltre i 10 m (presenza in profondità del substrato roccioso rigido, bedrock calcareo).

Stante questi riscontri e le caratteristiche geologiche e geomeccaniche dei litotipi rilevati si ritiene necessario predisporre prima possibile interventi di consolidamento che dovranno essere definiti ed esplicitati nelle successive fasi progettuali.

In prima analisi tali interventi potranno prevedere

- opere di consolidamento del margine stradale (ad es. paratia in micropali) da dimensionare adeguatamente con trave di collegamento, cordolo stradale e ripristino della barriera di sicurezza;
- un presidio antiersivo di adeguata resistenza lungo il versante, in modo da mitigare l'azione degli agenti esogeni su litotipi porfirifici vulnerabili (ad es. geocomposito costituito da una rete metallica a doppia torsione a maglia esagonale e da una geostuoia tridimensionale polimerica);
- lo svuotamento del vallo basale e la sua ricostituzione con funzione di barriera passiva;
- la disostruzione dei drenaggi ed il miglioramento degli stessi.

Nell'immediato non si ritiene vi siano le condizioni per la riapertura completa della strada fin tanto che non verranno realizzati i suddetti interventi, da effettuare prima possibile. Si fa

infatti presente che la strada comunale esistente è l'unica via carrabile di accesso alla loc. Romnei, ove vi è un fabbricato di residenza, oltre a seconde case, baite ed attività agro-silvo-pastorali di alcuni fondi.

Nel periodo transitorio (che non dovrà comunque protrarsi nel tempo) potrà essere valutata altresì dall'Amministrazione Comunale la possibilità di transito a pedoni e mezzi leggeri (moto, quad, mezzi leggeri di larghezza non superiore a 150 cm e peso inferiore a 10 quintali carichi compresi), esclusivamente lungo la carreggiata di monte nel tratto interessato dal dissesto, per garantire l'accesso ai luoghi ai proprietari di fabbricati e/o terreni in loc. Romnei (mantenendo chiuso il cancello di valle per evitare l'accesso di persone non autorizzate) o per necessità adeguatamente motivate (previa autorizzazione comunale), solamente in condizioni meteorologiche favorevoli (a distanza di almeno un giorno dall'ultimo evento piovoso ed in assenza di neve) a condizione che:

- siano predisposte barriere tipo new jersey, a valle del pendio, all'imbocco della strada verso Romnei (per una decina di metri) per contenere eventuali masse in caduta e transenne nella zona posta al di sotto del movimento franoso in modo da interdire l'accesso alle zone più esposte a rischio di caduta masse;
- venga rimossa la legna attualmente accatastata lungo il margine occidentale del piazzale dell'ex cava per consentire il transito occasionale verso Romnei lungo il margine occidentale del piazzale dell'ex cava, spostando l'imbocco della strada recentemente asfaltata verso ovest per un'estensione 1,5 m (previsto taglio n.1 pianta), in modo da evitare gli ambiti posti immediatamente al di sotto del movimento franoso esposti maggiormente a rischio di caduta massi;
- si predispongano new – jersey dissuasori, poco oltre l'imbocco della strada, per consentire il transito solamente a mezzi di dimensioni ridotte;
- sia ristretta la carreggiata con apposita segnaletica e barriere leggere in corrispondenza del tratto di strada lambito dal coronamento della frana, consentendo transiti sporadici-occasionalmente contromonte, a distanza di 1,5 m dal margine di valle della strada;
- venga predisposto un dosso provvisorio a protezione del margine vallivo della strada in modo da escludere apporti di ruscellamento provenienti da monte;
- sia mantenuta la copertura della testata della frana con teli impermeabili (da sostituire in caso di lesionamento, verificandone costantemente la funzionalità);

Committente: Amministrazione Comunale di Casnigo
Oggetto: INDAGINE GEOLOGICA
Ubicazione: dissesto in loc. Baia del Re - Casnigo (Bg)

- sia effettuato un costante monitoraggio dello stato dei luoghi dai tecnici comunali, ma anche dai proprietari in transito; in caso di evidenze di instabilità (fessure nell'asfalto, cedimenti, progressione del dissesto, qualsiasi modifica dello stato dei luoghi) dovrà essere prontamente fatta segnalazione all'Amministrazione Comunale per le verifiche del caso ed interdetto l'accesso ai luoghi fino ad altra disposizione.

Si raccomanda infine il ripristino delle canalette di drenaggio presenti a monte della frana lungo la strada comunale.

Si rimane a disposizione.

Torre Boldone, novembre 2018

Dott. Geol. Enrico Mosconi

