



Coordinamento Territoriale Nord Est

Area Compartimentale Veneto

Via E. Millosevich, 49 - 30173 Venezia Mestre T [+39] 041 2911411 - F [+39] 041 5317321
Pec anas.veneto@postacert.stradeanas.it - www.stradeanas.it

Anas S.p.A. - Società con Socio Unico

Sede Legale

Via Monzambano, 10 - 00185 Roma T [+39] 06 44461 - F [+39] 06 4456224

Pec anas@postacert.stradeanas.it

Cap. Soc. Euro 2.269.892.000,00 Iscr. R.E.A. 1024951 P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587



cortina
2021

S.S. n° 51 "di Alemagna" Provincia di Belluno

Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021

Miglioramento della viabilità di accesso
all'abitato di cortina

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTAZIONE ANAS S.p.A.

Coordinamento Territoriale Nord Est - Area Compartimentale Veneto

IL PROGETTISTA:

Ing. Pietro Leonardo CARLUCCI

IL GEOLOGO:

Geol. Emanuela AMICI

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

Dott. Marco FORMENTELLO

Arch. Lisa ZANNONER

ASSISTENZA ALLA PROGETTAZIONE:



Ing. Geol. Massimo Pietrantoni
Ordine Ingegneri Roma n. A-36713
Ordine Geologi Lazio A.P. n. 738

visto: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Gabriella MANGINELLI

PROTOCOLLO:

DATA:

N. ELABORATO:

GEOLOGIA E GEOTECNICA

Geologia

Relazione Geologica, Idrogeologica e Sismica

CODICE PROGETTO

NOME FILE

TOOGE00GEORE01_D

REVISIONE

SCALA:

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

MSVE14 D 1728

CODICE ELAB. T00GE00GEORE01

D

-

D REVISIONE

Novembre 2018

C REVISIONE

Febbraio 2018

B REVISIONE

Settembre 2017

A EMISSIONE

Luglio 2017

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

PIANO STRAORDINARIO PER L'ACCESSIBILITA' A CORTINA 2021

S.S. n. 51 "di Alemagna"

Miglioramento della viabilità di accesso all'abitato di Cortina

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Geologica

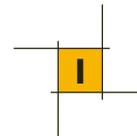
A seguito della delibera del Consiglio Comunale n. 59 del 07/08/2018 il Comune di Cortina ha condiviso la proposta ANAS di ridurre la lunghezza della viabilità di accesso all'abitato di Cortina precedentemente proposta sospendendo la realizzazione dello scavalco del torrente Boite e della rotonda Crignes (destra Boite).

Gli studi specialistici (Geologia, Geotecnica e Idraulica) allegati al progetto si riferiscono al tracciato originario e quindi comprendono anche il tracciato proposto nella delibera che può rappresentare uno stralcio dell'intervento generale.

Per completezza di documentazione si è deciso quindi di allegare tutti gli elaborati specialistici che comprendono il tracciato originario nella sua interezza.

INDICE

1.	PREMESSA	1
2.	NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO	2
3.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E SISMICO DI AREA VASTA	3
3.1.	Inquadramento geografico e dati di base	3
3.2.	Inquadramento geologico-strutturale di "area vasta"	5
3.3.	Inquadramento idrogeologico	9
3.4.	Geomorfologia e condizioni di stabilità	11
3.5.	Sismicità	33
4.	ANALISI DELLE CONDIZIONI DEI SITI DI PROGETTO.....	35
4.1.	Indagini eseguite	35
4.2.	Modello geologico dei siti	35
4.3.	Geomorfologia e condizioni di stabilità	47
4.4.	Condizioni idrogeologiche del sito	55
4.5.	Modello sismico	56
5.	BIBLIOGRAFIA.....	57



1. PREMESSA

Nella presente Relazione sono illustrate le tematiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche relative al progetto definitivo del “miglioramento della viabilità di accesso a Cortina”, compreso tra gli interventi per il Piano straordinario per l’accessibilità a Cortina 2021.

Lo studio geologico è stato condotto per mezzo di rilievi geologici di superficie e attività di foto-interpretazione. Sono inoltre stati utilizzati i risultati di indagini eseguite nell’ambito delle aree di interesse per altri progetti o precedenti studi.

È infine stata programmata ed eseguita una specifica campagna di indagine geognostica, geotecnica e sismica.

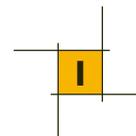
Oltre agli aspetti geologici, geomorfologici e idrogeologici, in questa Relazione viene riportata la descrizione litologica delle formazioni presenti nel sito con il relativo “modello geologico” ai sensi delle NTC2008. Per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica ed il relativo modello geotecnico si rimanda alla Relazione Geotecnica. Le due relazioni vanno quindi lette in maniera congiunta.

L’area in esame ricade nel Comune di Cortina, in zona sismica 3 secondo la vigente classificazione del territorio nazionale. L’indagine sismica eseguita nel sito ha permesso di individuare la categoria di sottosuolo necessaria per la definizione della risposta sismica locale.

Una trattazione particolare riguarda gli aspetti geomorfologici e le condizioni di stabilità dei pendii interessati dal progetto, vista la nota condizione di franosità che caratterizza la zona di Cortina. La perimetrazione del PAI (Piano di Assetto Idrogeologico) individua alcune zone classificate a pericolosità geologica P2 e P3 nelle aree direttamente o indirettamente interessate dal tracciato di progetto.

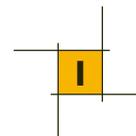
Il presente studio geologico è suddiviso in due sezioni. Uno relativo alle condizioni di “area vasta” intendendo con tale termine un’area adeguatamente ampia all’intorno dei siti di progetto, ma significativa per poter studiare le dinamiche geologiche anche alla scala di sito. Per questa analisi di area vasta sono stati utilizzati i dati di letteratura disponibili e i precedenti studi che interessano aree poste anche a notevole distanza dai siti di progetto, ma interpretate e verificate sul posto considerando le finalità del progetto.

La seconda sezione della relazione si occupa invece delle condizioni specifiche delle aree di progetto, inquadrata nell’ambito dell’area vasta e studiata sulla base degli accertamenti condotti nei siti, anche attraverso l’esecuzione di una campagna di indagini geognostiche e geotecniche.



2. **NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO**

- D.M. 11 marzo 1988. "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- Circ. LL.PP. 24 settembre n. 30483. "Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- Eurocodice 7. Progettazione geotecnica. 2004.
- Eurocodice 8. Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti di geotecnica. 2004.
- Ordinanza n. 3274 del 08/05/2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e relativi allegati e s.m.i.
- Ordinanza n. 3519 del PdCM del 28 aprile 2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- Norme Tecniche per le Costruzioni. DM 14 gennaio 2008.
- Istruzione per l'applicazione delle Norme Tecniche. Circ. Min. 2 febbraio 2009 n. 617
- Raccomandazioni AGI sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche (1977)
- Raccomandazioni AGI sui pali di fondazione (1988).
- Raccomandazioni AGI sulle Prove Geotecniche di Laboratorio (1994).
- Raccomandazioni AGI Aspetti Geotecnici della Progettazione in Zona Sismica (1995)
- DL 18 aprile 2016, n. 50. Attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture.
- D.P.R. 5/10/2010 n. 207. Regolamento di esecuzione ed attuazione del D.L. 12/4/2006 n. 163 recante "Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE".



3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E SISMICO DI AREA VASTA

3.1. Inquadramento geografico e dati di base

L'area in esame è ubicata nel territorio del Comune Cortina (BL), sul versante sinistro del Torrente Boite.

La variante è localizzata all'entrata meridionale dell'abitato.

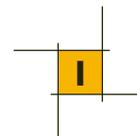


Fig. 1 - Inquadramento geografico



Fig. 2- Area interessata dal tracciato di progetto

Provenendo da Belluno, il tracciato si stacca dalla SS51 a sud dell'ingresso di Cortina all'altezza dello svincolo attuale di Via Guardie Alpine (dove verrà realizzata una rotatoria) e si sposta verso la valle del Boite percorrendone il piede della sponda sinistra, in una fascia di versante compresa tra il limite della zona urbanizzata e il corso d'acqua. Il tracciato attraversa poi il Rio Bigontina (affluente di sinistra del Boite), poco a monte della confluenza, e quindi taglia lo sperone collinare che separa i due corsi d'acqua (zona del parcheggio del Cimitero dove verrà realizzata una seconda rotatoria). Attraversa quindi il Torrente Boite e termina con una rotatoria ai piedi della sponda destra del Boite stesso, in località Crignes.



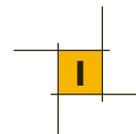
La topografia di base utilizzata per lo studio geologico è rappresentata dalla Carta Tecnica Regionale (C.T.R.), in scala 1:5.000 e 10.000 integrata da un rilievo topografico a terra eseguito per il progetto.

Sono state utilizzate inoltre le cartografie e le documentazioni tecniche e specialistiche derivanti da: ortofoto aeree e satellitari, fotografie attuali e storiche, cartografie P.R.G., P.A.T., P.A.I., I.F.F.I., P.T.C.P., P.T.P.R., carta geologica in scala 1:100.000 e carta geologica CARG in scala 1:50.000 (e relativo shapefile geologico di base in scala 1:10.000), dati bibliografici, dati storici e documentazione varia relativa in particolare a studi e indagini di carattere geologico dell'ampia area di interesse.

Per l'area di studio è particolarmente importate la documentazione pubblicata che riguarda la franosità della conca di Cortina (che inizia con studi degli anni Cinquanta), in particolare quelli prodotti dal CNR-IRPI di Padova e dall'Università di Modena.

Oltre alla documentazione di letteratura, sono stati acquisiti studi e ricerche inedite, realizzati da privati e/o non pubblicati ufficialmente, che forniscono informazioni utili per la modellazione geologica dell'area.

L'elenco dei dati di letteratura più significativi, insieme ai dati non pubblicati, sono riportati nella Bibliografia.



3.2. Inquadramento geologico-strutturale di “area vasta”

La struttura geologica di una ampia area circostante quella in esame è caratterizzata dalla presenza di un substrato formato da rocce ascrivibili ad un intervallo compreso tra il Carnico (*Triassico medio superiore*) ed il Lias (*Giurassico inferiore*), secondo lo schema stratigrafico tipico delle Dolomiti Bellunesi, raffigurato nello schema della figura seguente.

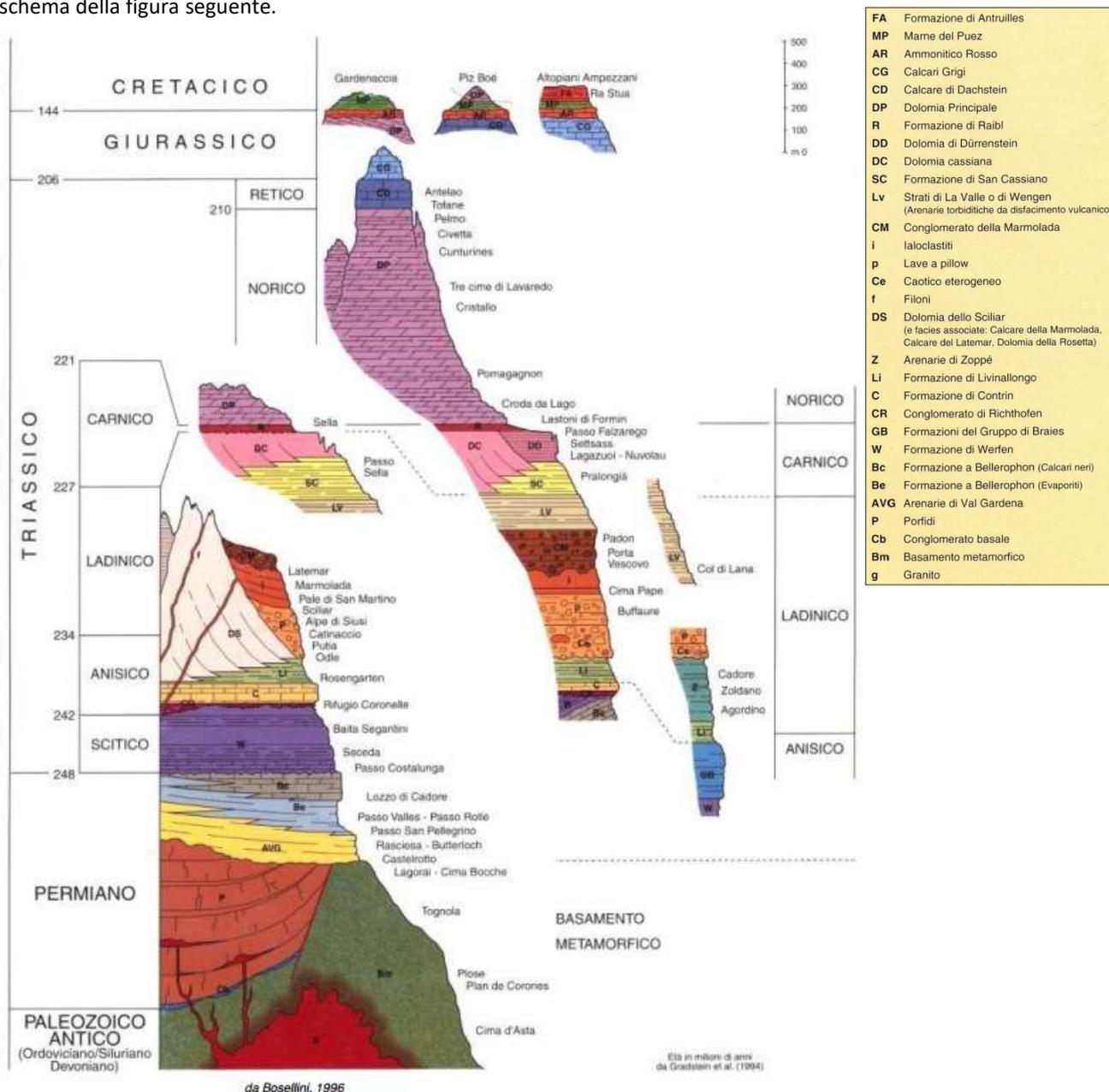
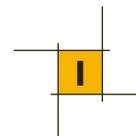


Figura 3 – Schema stratigrafico delle Dolomiti Bellunesi (da Bosellini, 1996).

Queste formazioni sono state dislocate durante le fasi deformative alpine di età terziaria, che hanno prodotto importanti sovrascorrimenti delle formazioni con una conseguente intensa fratturazione dei corpi rocciosi.



Su questo substrato variamente disarticolato hanno infine agito gli agenti esogeni e l'evoluzione gravitativa dei versanti, con la produzione di estesi e potenti corpi detritici, conoidi torrentizie e accumuli di frana che si sono depositati ai piedi dei rilievi sin dalla fine dell'ultima glaciazione.

Nelle aree di fondovalle del reticolo idrografico relativamente recente si sono progressivamente accumulati depositi alluvionali prevalentemente a grana grossa.

Uno schema più specifico per la zona di Cortina è rappresentato nella figura seguente (sempre tratta da Bosellini e modificata da altri autori)

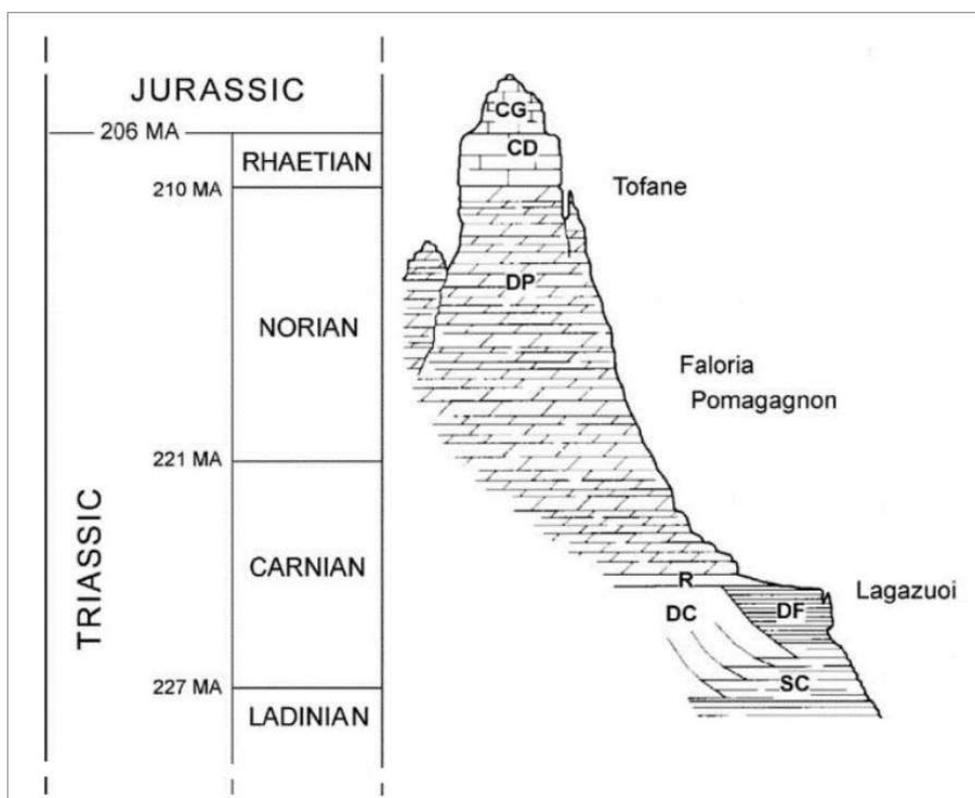


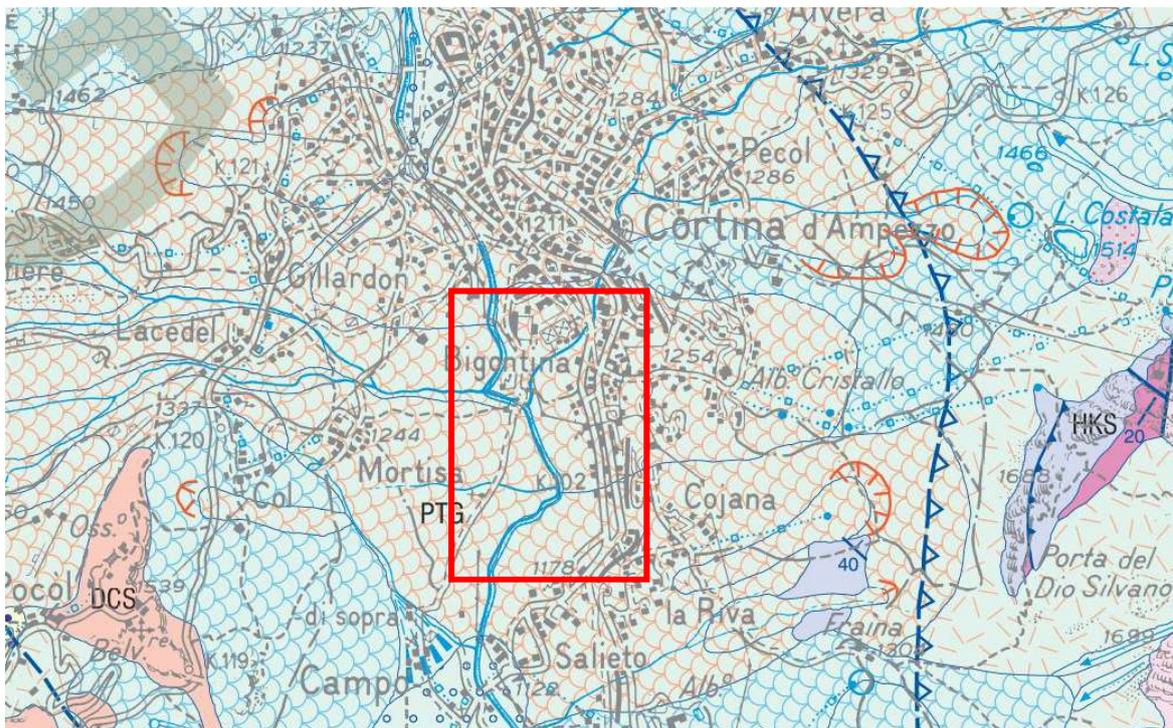
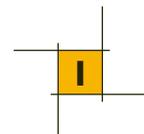
Fig. 26: Stratigraphic sequence outcropping in the Cortina d'Ampezzo, valley (modified after Bosellini 1996). CG: Grey Limestones; CD: Dachstein Limestones; DP: Dolomia Principale; R: Travenanzes Fm.; DC: Dolomia Cassiana; DF: Durrenstein Fm.; SC: San Cassiano Fm.

Figura 4 – Schema stratigrafico della zona di Cortina (da Bosellini, modificato da altri Autori).

Dal punto di vista cartografico, l'area in esame ricade nell'ambito della nuova carta geologica in scala 1:50.000 del progetto CARG, Foglio 29 Cortina d'Ampezzo, di cui si riporta uno stralcio nella figura seguente.

Come evidente dalla carta geologica, l'intera area di Cortina è occupata da una estesa fascia detritica di versante a grossi blocchi e corpi di frana.

Il substrato roccioso, riferibile alle litologie della classica successione permotriassica della regione dolomitica, viene segnalato in questa zona a diverse decine di metri di profondità, ricoperto dai depositi quaternari.



SUCCESSIONE PLIO-QUATERNARIA

SINTEMA POSTGLACIALE ALPINO (crf. Sintema del Po - P0I)



PTG

Coltre eluvio colluviale e detritico colluviale (PTG₀₂); detrito di versante e a grossi blocchi (PTG₀₄); depositi di frana attuali, subattuali ed antichi (PTG₀₁ e PTG_{01a}); *diamicton* a matrice sabbiosa con intercalazioni sabbiose ghiaiose e blocchi anche plurimetriici subangolosi-angolosi (depositi di origine mista PTG₀₁); depositi palustri, di torbiera e lacustri (PTG₀₄ e PTG₀₂); concrezioni carbonatiche stratificate (travertini-PTG₀₁); sedimenti ghiaioso-sabbiosi con ciottoli e blocchi subarrotondati-arrotondati e sporadiche intercalazioni di livelli sabbioso-limosi talvolta terrazzati discontinui (depositi fluviali-torrentizi terrazzati e non-PTG₀₁); deposito da *debris flow* (PTG₀₄).

OLOCENE

SUCCESSIONI DI CHIUSURA DEI BACINI CASSIANI



HKS

FORMAZIONE DI HEILIGKREUZ (Fm. di Dürrenstein Auct.)

Nell'area del foglio "Cortina" questa unità presenta una considerevole variabilità laterale e verticale, che localmente consente la sua suddivisione in membri cartografabili. Spessore 0-160 m.
CARNICO (JULICO p.p.-TUVALICO p.p.)

SUCCESSIONI POSTVULCANICHE E CASSIANE



DCS

DOLOMIA CASSIANA

Dolomie cristalline massicce, color grigio nocciola, dominate da depositi di scarpata caratterizzati da originaria stratificazione inclinata con angoli fino a 30-35°; localmente è visibile la tessitura di megabreccia, mentre tutte le altre strutture e tessiture deposizionali sono obliterate dalla dolomitizzazione. Fossili: rari e mal preservati cespi di coralli coloniali.

DCS_a

DCS_a: dolomie cristalline ben stratificate con stromatoliti, pisoliti, *tepee*, rappresentative delle facies di piattaforma interna; impronte di tetrapodi. Spessore 0-400 m.

LADINICO SUP.-CARNICO INF. (LONGBARDICO p.p.-JULICO p.p.)



SCS

FORMAZIONE DI SAN CASSIANO

Alternanza di peliti e marne di colore grigio e nerastro con calcari micritici e calcareniti oolitico-bioclastiche torbiditiche; nella parte inferiore media della formazione sono frequenti litareniti vulcanodetritiche. Presenti olistoliti calcarei (Calcari di Cipit Auct.) metrici e plurimetriici derivanti dalle piattaforme cassiane, costituiti da *boundstone* microbialitici con subordinati metazoi costruttori (coralli, stromatopori, sfinctozoi). Fossili: ammonoidi (*Trachyceras aonoides*, *T. aon*, *Daxatina canadensis*), bivalvi, gasteropodi, echinidi, crinoidi. Spessore 60-500 m.

LADINICO SUP. - CARNICO INF. (LONGBARDICO p.p.-JULICO p.p. (?))



a₁

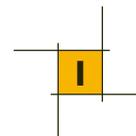
deposito di frana



a_{1a}

deposito di frana antica

Figura 5 – Stralcio della carta geologica CARG Foglio 29 Cortina



Alcuni dati di indagine profonda indicherebbero che nella zona di Cortina le formazioni del substrato dovrebbero essere rappresentate, almeno in parte, dalla formazione di San Cassiano, costituita da marne e argilliti con intercalazioni di calcari micritici e calcareniti. La litologia di questa formazione è una delle cause della formazione degli imponenti corpi di frana che si sono formati nelle fasi post-glaciali.

Affioramenti delle formazioni del substrato sono presenti invece solo nelle zone più alte della conca e sono rappresentati dalla Dolomia Cassiana (sigla DCS) sulla sponda destra del Boite nella zona di Pocol, e dalla formazione di Heiligkreuz (Form. Dürrenstein Auct) in sponda sinistra, nella zona della frazione di Fraina (quest'ultima formazione suddivisa in varie Unità nella zona di Cortina).

Nel contesto così delineato, pur nella complessità tettonico-strutturale delle Dolomiti, la geologia di superficie della zona di Cortina può ritenersi "semplificata" per la presenza di una potente ed estesa copertura quaternaria. Tale apparente semplicità è in realtà complicata dalle particolari condizioni di messa in posto di questi depositi quaternari.

Si tratta infatti di accumuli disomogenei e caotici di pezzame litoide delle dimensioni della ghiaia e dei ciottoli (ma anche con blocchi superiori al metro cubo) immersi in maniera caotica in una matrice prevalentemente sabbioso-limoso (aggregato sedimentario definito "diamicton").

Alla messa in posto di questo ammasso eterogeneo hanno contribuito, oltre ai processi glaciali, imponenti movimenti di massa avvenuti nelle ultime fasi glaciali che hanno profondamente modificato la morfologia del territorio, provocando anche deviazioni di corsi d'acqua e formazione di laghi.

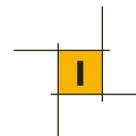
I terreni classificati con la sigla PTG nella Carta si sono formati dopo l'estinzione (locale) dei processi glaciali e fluvio-glaciali a partire dall'intervallo finale del Pleistocene superiore, nell'Olocene e fino ai giorni nostri: queste unità litostratigrafiche non sono mai delimitate da discontinuità di estensione regionale o tali da mostrano comunque una loro individualità ben definita.

Nelle Note Illustrative del CARG viene dedicato un capitolo alla conca di Cortina d'Ampezzo poiché essa mostra una concentrazione e varietà di fenomeni franosi unica nel panorama alpino-dolomitico.

Le tipologie di frana riconosciute nell'area di Cortina sono prevalentemente di colata e rotazionali; i crolli sono meno diffusi e limitati alle fasce sottostanti le pareti a morfologia rupestre.

Numerose sono le frane di natura complessa. Il materiale che si rinviene in tali corpi è eterogeneo, massivo, composto da rari grossi blocchi di natura dolomitica e calcarea immersi in un'abbondante matrice limoso argillosa derivante dal disfacimento delle formazioni di Wengen, di San Cassiano e dalla parte basale della formazione di Heiligkreuz.

Nella carta geologica CARG sono state distinte le frane in attuali e antiche, come previsto dalla legenda SGI aggiornata. Quasi tutta la zona di Cortina è classificata come frana attuale, ma i numerosi studi effettuati in questa zona impongono una trattazione più specifica che viene riportata nel paragrafo sulla geomorfologia.



In questo capitolo si evidenzia che le Note Illustrative del CARG indicano che *questi movimenti sono strettamente connessi alla struttura geologica e all'assetto tettonico della zona. Infatti l'alternanza di litotipi a comportamento prevalentemente plastico (Fm. di Wengen - La Valle, Fm. di San Cassiano, Fm. di Travenanzes) con quelli a comportamento rigido (Dolomia Cassiana, parte della Fm. di Heiligkreuz, Dolomia Principale), unitamente all'intensa fratturazione di origine tettonica lungo linee preferenziali, ha condizionato in maniera determinante la diffusione e la distribuzione di frane e lo sviluppo di particolari tipologie di dissesto quali le DGPV (PASUTO et alii, 1997a). Sembra tuttavia che anche le variazioni climatiche oloceniche abbiano giocato un ruolo non trascurabile nell'attivazione di eventi gravitativi in determinati periodi. (SOLDATI et alii, 2004). I depositi di frana sono in genere costituiti da diamicton a tessitura variabile da clast supported a matrix supported, con matrice sabbioso-limoso, con clasti anche di dimensioni metriche in prevalenza subangolosi, se le litologie coinvolte nell'evento sono marnoso-terrigene; oppure da diamicton con tessitura variabile da aperta a parzialmente aperta, con matrice ghiaioso-sabbiosa, non di rado con clasti di dimensioni plurimetriche dall'angoloso al subangoloso, nel caso in cui l'evento interessi litotipi a comportamento fragile come i calcari e le dolomie.*

Una maggiore trattazione delle frane di queste aree e in particolare delle aree di diretto interesse progettuale, è riportata nel capitolo sulla geomorfologia.

3.3. Inquadramento idrogeologico

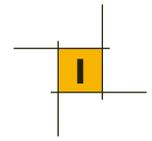
Nel quadro geologico prima delineato, la presenza di terreni a permeabilità scarsa o molto scarsa (terreni prevalentemente argillosi), non favorisce l'infiltrazione delle acque di precipitazione né facilita una circolazione libera delle acque nel sottosuolo, tale da consentire la formazione di veri e propri "acquiferi".

Ciò ovviamente non significa che non siano presenti acque nel sottosuolo; anzi, la scarsa permeabilità associata all'elevata plasticità rende questi terreni particolarmente suscettibili a modifiche del loro stato di consistenza in relazione alle variazioni del contenuto d'acqua. Questa circostanza, come è noto, è tra le cause predisponenti dei movimenti franosi lenti, del tipo colate e "creep" che interessano i terreni argillosi.

Nell'area di interesse si presenta inoltre un ulteriore fenomeno che complica lo schema idrogeologico di sottosuolo. La presenza di strati, lenti e corpi voluminosi di ghiaie (con blocchi), anche se immersi in una matrice limo-argillosa, favorisce la circolazione di acqua in corpi relativamente permeabili "confinati" da materiali poco permeabili. Poiché l'alimentazione di questi "corpi idraulici" confinati avviene a quote anche molto elevate, si verifica spesso la presenza di acquiferi in pressione, con livelli piezometrici che possono risultare anche superiori a quelli della superficie topografica.

Tale circostanza è segnalata da alcuni dati piezometrici acquisiti in questa area.

Questa situazione è peraltro uno dei motivi della presenza di sorgenti di carattere effimero, legate alla circolazione di acque all'interno dei corpi relativamente più permeabili, ma anche per circostanze legate alla



movimentazione di colate di terra. Durante i periodi di maggiore precipitazione meteorica sono infatti segnalate varie emergenze idriche nei corpi di frana.

Uno studio (Tromboni 2013) condotto sulle sorgenti effimere della zona della frana di Mortisa (versante destro del Boite) rilevate durante lo scioglimento delle nevi, ha evidenziato che queste sorgenti rappresentano aree con maggiore conducibilità idraulica, legate verosimilmente alla presenza di strati ghiaiosi. La figura successiva tratta da un lavoro di G. Bossi mostra la diffusione irregolare delle sorgenti, localizzate però in gran parte nelle zone basse e al piede delle grandi colate di frana che interessano quest'area (mancano tuttavia dati nelle aree dei campi di sci tra q. 1350 e 1550 m s.l.m.). La presenza di queste sorgenti sono attribuibili anche ai movimenti che occorrono in questa aree i quali possono aumentare la conducibilità idraulica locale. Tuttavia in questa area sono presenti anche molti strati ghiaiosi relativi ad antichi fenomeni di debris flow intercalati con le colate più argillose.

Alcune sorgenti sono state attribuiti anche all'emergenza delle superfici di scorrimento delle principali frane.

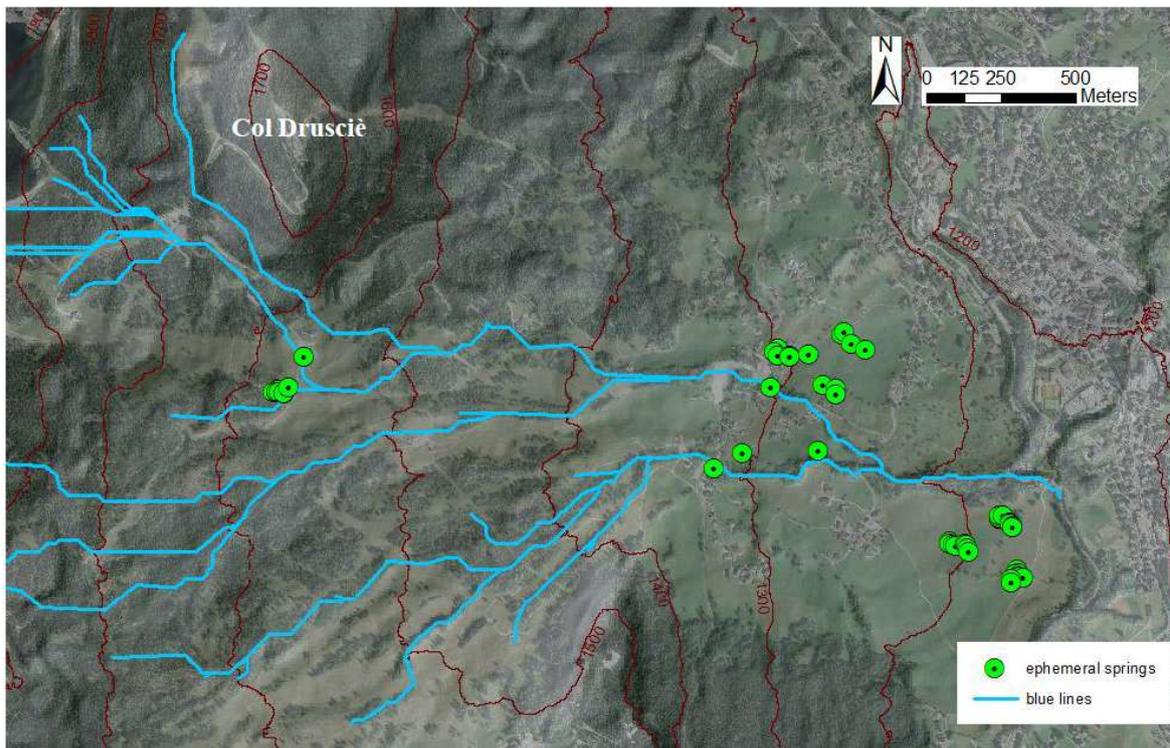
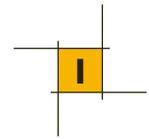


Fig. 6 Rilievo delle sorgenti effimere sul versante di Mortisa (da G. Bossi)

In questo quadro d'insieme si inserisce il modello idrogeologico di dettaglio dell'area di interesse, la cui ricostruzione è stata effettuata sulla base di specifiche misure piezometriche di cui si riferirà nel capitolo successivo.



3.4. Geomorfologia e condizioni di stabilità

Le condizioni di stabilità dei versanti sono ovviamente legate alle complesse vicissitudini geologiche, tettoniche e climatiche che una determinata regione ha subito. In tale contesto la morfologia dei luoghi è fortemente condizionata dagli eventi post-glaciali che hanno portato alla formazione delle potenti ed estese fasce detritiche, commentate in precedenza.

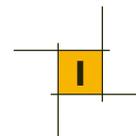
La combinazione tra assetto geologico e litologia delle formazioni presenti, che mostrano alternanze di litotipi a carattere plastico con altri a comportamento rigido, ha causato una forte predisposizione all'instaurarsi di importanti fenomeni gravitativi, che particolarmente nel post-glaciale e con sostanziale continuità temporale hanno condizionato la diffusione di importanti depositi di frana al piede dei versanti.

In generale, si tratta di fenomeni generalmente esauriti, legati alle condizioni del post-glaciale, caratterizzate da condizioni climatiche assai più severe delle attuali che, in alcuni casi, sono stati riattivati interessando aree per lo più localizzate. In altri casi sono noti fenomeni ancora oggi attivi, in alcuni casi anche molto significativi e che danno notevoli problemi alle infrastrutture che interagiscono con esse (vedi ad esempio la frana di Acquabona sulla SS51 a sud di Cortina, ma anche le frane presenti sul versante destro del Boite nella zona di Mortisa, Lacedel, Col e sul versante sinistro nelle zone di Alverà, Stavera e Staulin).

La presenza di imponenti masse detritiche generalmente incoerenti e/o poco consolidate e l'elevata energia di rilievo sono alla base di una dinamica ancora attiva dei versanti.

Una trattazione specifica della franosità della conca di Cortina può essere ricavata, come inquadramento generale, dalle Note Illustrative del Foglio Cortina del CARG.

La Conca di Cortina è caratterizzata da una forte franosità attuale ed antica. Ciò in relazione alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e tettoniche, nonché alle particolari condizioni climatiche cui l'area è stata soggetta nel corso del Quaternario. Dal punto di vista geologico-strutturale, i versanti sono caratterizzati da alternanze di litotipi a differente comportamento geomeccanico, cosa che favorisce i processi d'erosione differenziale e predispone i pendii all'evoluzione per frana; a questo già sfavorevole contesto, si associa una forte tettonizzazione. Dal punto di vista dell'evoluzione geomorfologica, è da considerare che l'area in questione ha rappresentato durante l'ultima glaciazione la zona di confluenza di più ghiacciai, cosa che ha determinato la creazione di potenti lingue glaciali, con conseguenti effetti di glacioppressione che hanno negativamente influito sulla stabilità dei versanti. A queste ultime considerazioni è da riferire la cospicua presenza, in questo settore della valle, di grossi accumuli di frana mobilizzati nell'immediato post glaciale per effetto dello scioglimento di ghiacciai. Questi grossi ed antichi fenomeni hanno talora rivoluzionato il contesto morfologico delle valli: la loro presenza ha comportato notevoli riduzioni delle pendenze, deterioramento delle caratteristiche tecniche delle rocce, stravolgimento del reticolo idrografico, nuove dinamiche evolutive nei fondovalle, nuove morfologie; hanno innescato nuovi processi di modellamento dando vita a ulteriori cicli di franosità. In tali contesti, i fenomeni gravitativi attuali si presentano principalmente come scivolamenti rotazionali e colamenti, per lo più lenti, che coinvolgono antichi depositi di frana. Laddove vi è disponibilità di detrito e le pendenze sono elevate la franosità si esplica attraverso fenomeni di debris flow che alimentano conoidi talora di notevoli spessori e dimensioni e che vengono generalmente innescati da intensi eventi piovosi. È chiaro, da quanto sopra esposto, che i processi gravitativi rappresentano, dal tardo Quaternario, i principali agenti morfoevolutivi di questi versanti, determinandone l'arretramento progressivo, con il conseguente, particolare ampliamento della valle; è d'altro canto da segnalare, a supporto di quanto affermato, che la maggior parte dei depositi quaternari rilevati nell'area è da attribuire a processi da frana. Tra i grossi eventi che, a partire dal Tardoglaciale, hanno rivoluzionato l'assetto geomorfologico di quest'area, sono di seguito descritti i fenomeni di Piorosà, Col Druscì, Formin, Tofane, Lacedel e Zuel. Tra i fenomeni di debris flow, di particolare rilievo è quello che interessa Fiammes e le zone limitrofe.



Delle frane citate nelle Note interessano in particolare quella di Pierosà, perché coinvolge la zona a monte dell'area abitata di Cortina e il corso del Bigontina (attraversato dal tracciato di progetto) e la frana di Lacedel.

*L'accumulo che caratterizza l'area di Pierosà, in sinistra idrografica del Boite, è costituito da blocchi di Dolomia Cassiana e Dolomia Principale immersi tra i depositi prevalentemente argilloso-limosi della Formazione di S. Cassiano. Le caratteristiche morfologiche e le affinità litostratigrafiche fanno ritenere che esso costituisca il prodotto di una grande frana di scivolamento staccatasi dalla sovrastante Forcela Zumelles. (...). L'area su cui sorge l'abitato di Cortina è infine costituita da un grosso accumulo di frana. PASUTO et alii (1997) ritengono che questa sia, (...), il risultato di processi gravitativi che hanno caratterizzato il versante tra i 5000 e i 4000 anni fa, rimobilizzando parte del grande accumulo di Pierosà; PANIZZA (1990) ritiene invece che essa costituisca parte dell'accumulo della grossa frana del **Bigontina** che, staccatasi presso l'attuale Passo Tre Croci, avrebbe percorso tutto l'attuale corso del Torrente.*

*Il versante meridionale delle Tofane, ad ovest di Cortina, dove la Dolomia Principale è sovrapposta ai terreni della formazione di Travenanzes, è stato interessato da un fenomeno di block slide che ha modificato radicalmente la morfologia del versante, dando luogo a scarpate, contropendenze e rigonfiamenti. A tale fenomeno sono collegati i colamenti che interessano la zona di **Lacedel** (MENOTTI et alii, 1990). Questi ultimi si sviluppano lungo il versante tra le Tofane ed il Torrente Boite, dove affiorano i terreni delle formazioni di Travenanzes (TVZ) e di S. Cassiano (SCS). Elementi morfologici evidenti sono due grossi conoidi il cui spessore è stato valutato intorno agli 80 m, presso Mortisa. Tale fenomeno si presenta tuttora attivo, benché più superficialmente. Da una campagna di monitoraggio del 1989-1990, risulta che gli spostamenti sono stati notevoli, dell'ordine di circa 2 m/anno.*

Le caratteristiche geologiche, morfologiche e climatiche che condizionano la franosità della zona di Cortina sono ben illustrate nell'articolo di Panizza et al. (1996).

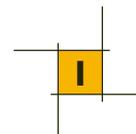
La prima delle cause viene individuata nelle condizioni geologico-strutturali. La successione stratigrafica di questa area contempla alternanze di formazioni dolomitiche, caratterizzate da un comportamento rigido-fragile (Dolomia Cassiana, Durrenstein e Dolomia principale) e formazioni dal comportamento meccanico duttile (F. di San Cassiano e Raibl). Questa situazione ha favorito lo sviluppo di movimenti di massa e deformazioni gravitative profonde.

L'incidenza dell'attività tettonica antica è considerata significativa. Le rocce dolomitiche risultano infatti molto fratturate, con discontinuità che possono diventare potenziali superfici di scorrimento e formare zone di circolazione delle acque che raggiungono in profondità le sottostanti formazioni argillitico-marnose. L'attività tettonica antica potrebbe inoltre aver favorito la franosità avendo portato la formazione di San Cassiano nella zona medio-bassa del versante con un raddoppio della serie a causa di sovrascorrimenti.

L'effetto di "glacio-pressione" (ghiacciai con spessori fino a 1000m coprivano la vallata di Cortina) è stata indicata come una delle cause dello sviluppo di deformazioni profonde (Panizza 1973).

Significativa è la relazione tra franosità e piogge in un'area caratterizzata da precipitazioni meteoriche intense e concentrate in due periodi dell'anno.

Sempre nello studio citato di Panizza si evidenzia la presenza, nella conca di Cortina, di numerose frane distinte per caratteristiche e stato di attività: 13 frane considerate stabilizzate (es. Col Druscìe, Pierosà e Zuel); 6 quiescenti e 17 considerate attive (delle quali 11 con movimenti intermittenti e 6 continue). Di queste le frane di Alverà e Staulin sono considerate riattivazioni della frana di Cortina e la frana di Lacedel viene suddivisa in tre corpi (Rio Roncatto, Rutorgo e Son dei Prade).



In un successivo studio di Soldati et al. (2004) vengono identificate, nella zona della conca di Cortina, 11 corpi di frana più o meno complessi, indicati nello stralcio della figura seguente.

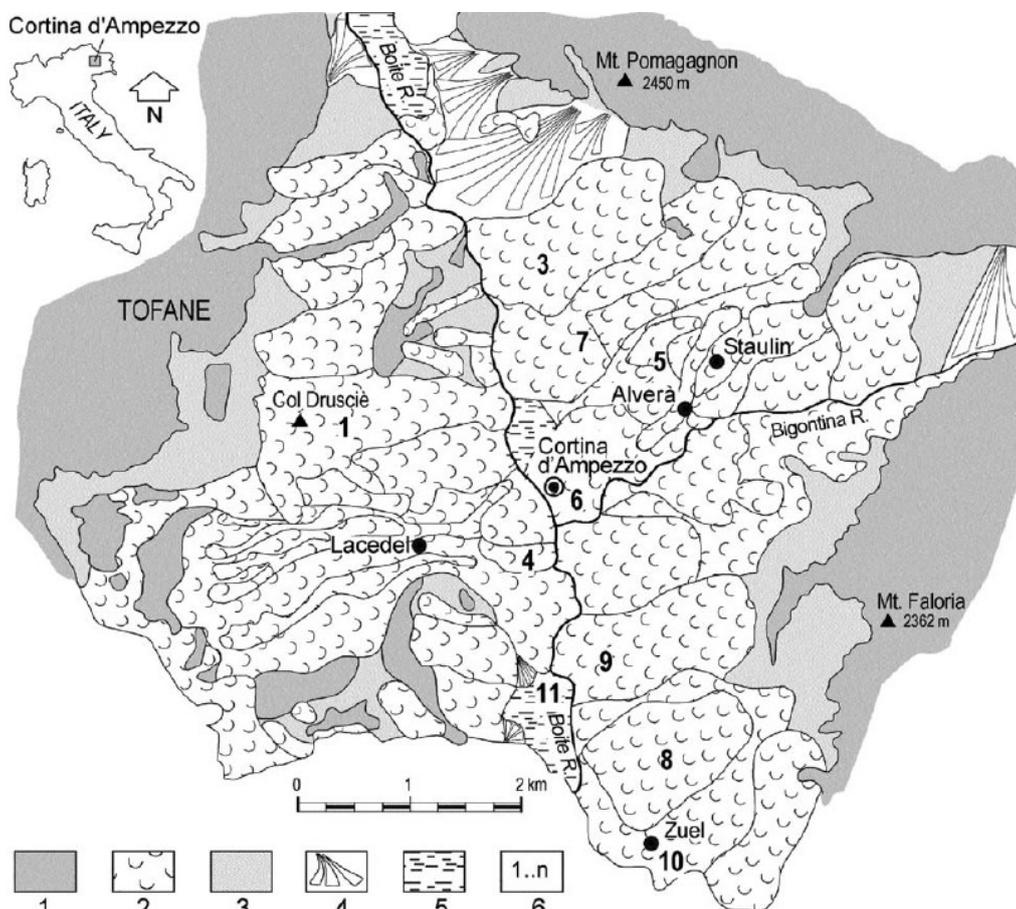


Fig. 4. Geomorphological sketch of the Cortina d'Ampezzo area (heights are given in metres asl). Legend: (1) bedrock; (2) landslide; (3) scree slope; (4) debris flow and/or alluvial fan; (5) lacustrine deposit; (6) landslide numbering according to Table 1.

Table 1
Radiocarbon dating in the area of Cortina d'Ampezzo; data calibrated with Radiocarbon Calib. Program 4.1 by Stuiver and Reimer (1993), data set by Stuiver et al. (1998)

ID	Landslide name	Landslide type	Sample code	Sample type	Site of collection	Depth (m)	Conventional age (^{14}C year BP)	Calendar age 2σ (cal year BP)	Paleoclimatic significance
1	Col Druscìe	translational rock slide	—	tree trunk	excavation	14.50	9000 ± 150	10,500–9605	high
2	Cadin	earth flow	GX-16117	tree trunk	excavation	3.50	12,150 ± 435	15,744–13,168	low
3	Chiave	earth flow	B-74802	tree trunk	excavation	3.50	4520 ± 60	5441–4970	high
4	Lacedel	earth flow	GX-17696	wood	borehole (S1)	42.30	10,035 ± 110	12,277–11,201	high
4	Lacedel	earth flow	GX-17697	wood	borehole (S2)	22.20	9270 ± 105	10,734–10,218	high
5	Pierosà	translational rock slide	B-63341	wood	excavation	4.50	10,850 ± 80	13,132–12,639	high
6	Cortina	earth flow	B-83624	peat	borehole	23.00	8710 ± 70	10,108–9535	high
6	Cortina	earth flow	B-63338	wood	excavation	5.00	4350 ± 60	5209–4830	high
6	Cortina/Alverà	earth flow	B-63340	wood	excavation	3.50	2810 ± 60	3137–2778	high
6	Cortina/Alverà	earth flow	B-83623	wood	excavation	2.00	2560 ± 80	2839–2357	high
6	Cortina/Alverà	earth flow	R-1753	tree trunk	excavation	7.50	1460 ± 30	1410–1295	low
6	Cortina/Staulin	earth flow	GX-17699	wood	borehole (S5)	24.00	3315 ± 140	3891–3214	high
6	Cortina/Staulin	earth flow	GX-17698	wood	borehole (S5)	3.00	2465 ± 125	2835–2161	high

Fig. 7 Estratto dall'articolo di Soldati et al., 2004

Con riferimento alle aree di interesse progettuale (vedi fig. 2 precedente) interessano in particolare le aree di frana n. 4 (Lacedel) e n. 6 (Cortina) rappresentate nella figura 7.

Si tratta in entrambi i casi di frane classificate come colate di terra (*earth flow*).

La colata di **Lacedel** (4) viene datata al primo Olocene ed è stata probabilmente attivata nel tardo-glaciale ed è ancora, sia pure in parte, in attività. Le indagini profonde indicano uno spessore (massimo) di frana

dell'ordine di 60m, gran parte del quale accumulato nel primo post-glaciale. Sono stati rinvenuti resti organici (tronchi) a profondità tra 20 e 40 m che hanno permesso una datazione tra 10.000 e 12.000 anni (cal yr. BP), evidenziando una particolare attività durante questi duemila anni. Per la frana di **Cortina** (6) viene individuata una origine dalla frana di Piorosà (13.000 cal yr. BP) con riattivazioni a partire da 10.000 cal yr. BP.

Per quanto riguarda i corpi di frana sulla **sponda sinistra del Boite** e quindi dell'area del Bigontina, uno dei primi riferimenti di letteratura risale al 1954 (M. de Thierry) che ha studiato un fenomeno franoso della zona orientale della conca di Cortina, avvenuto nel 1951. Per questa zona viene proposta la seguente sezione geologica che rappresenta a livello schematico il meccanismo di attivazione di alcune delle frane qui presenti. La litologia del substrato (Fn. San Cassiano) rappresenta uno degli elementi predisponenti dei movimenti franosi a causa della presenza di marne e argilliti, suscettibili alle variazioni del contenuto d'acqua.

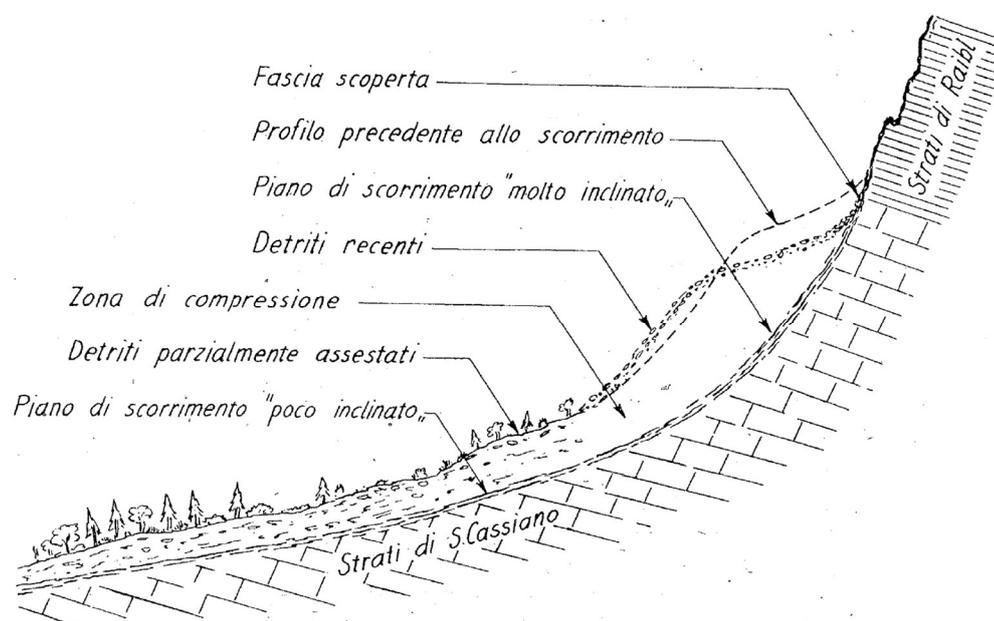


Fig. 8 Da M. de Thierry (Studio di una frana nella conca di Cortina d'Ampezzo, 1954)

Successivamente Panizza e altri autori (anche dell'università di Modena) hanno effettuato molti studi pubblicati sulla franosità di Cortina. Quello del 1986 prende in esame il grande corpo di frana sui cui sorge l'abitato di Cortina (*La frana sui cui sorge Cortina d'Ampezzo*). Lo studio ha permesso di individuare gli spessori e la possibile epoca di questa imponente frana (denominata Frana del Begontina) che ha completamente cambiato la morfologia della conca. Si tratta di una frana che si estendeva da un paio di km a valle del Passo delle Tre Croci aprendosi a ventaglio nell'attuale abitato di Cortina, lungo tutto il corso del torrente Bigontina e a valle della sua confluenza nel Boite fino alla località Saliato. Si tratta di una frana datata V-VI secolo dC (grazie alla datazione di alcuni tronchi trovati inglobati nel corpo di frana), la cui attività è testimoniata da varie documentazioni, soprattutto del XIX secolo, ma anche del Novecento fino ai nostri giorni, soprattutto nelle zone di Alverà e di Staulin.

Il piede dell'antico corpo di frana viene individuato nella zona della confluenza del Bigontina nel Boite e lungo il Boite stesso. Le ricostruzioni indicano che la frana avrebbe provocato una occlusione del torrente Boite, che ha successivamente re inciso il piede della frana modificando il suo corso (che effettivamente si presenta in questo tratto molto tortuoso).

La foto storica sottostante, tratta dalla pubblicazione di Panizza, mostra che l'area del Bigontina nei pressi della confluenza nel Boite era caratterizzata in epoche storiche da una franosità diffusa.



Fig. 9 Da Panizza (1986): "Confluenza del torrente Begontina (di fronte), fotografia del 1865. E' evidente lo stato di dissesto dell'area.

Successivamente l'area si è progressivamente stabilizzata, come si mostra nella foto successiva e in quelle più recenti (che verranno illustrate nel seguito), in parte coperta da vegetazione o rimboschita, ma le tracce morfologiche della presenza di frane (oggi da considerare quiescenti) sono ancora apprezzabili e devono essere prese in debita considerazione perché la spalla della sponda destra del ponte di progetto sul Bigontina e l'adiacente tratto a mezza costa ricadono proprio nella zona in dissesto evidenziata dalla foto storica.



FIG. 11 - Confluenza del torrente Begontina nel Boite, fotografia del 1985. Dal confronto con la fotografia della Fig. 10 si può rilevare, in primo piano, la gran quantità di alberi in parte spontanei, ma in gran parte piantati; in secondo piano si nota il notevole avanzamento del bosco lungo il versante della valle a sud del Pomagagnon, facilitato dall'abbandono dello sfalcio dei prati.

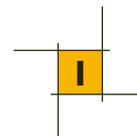
Fig. 10 Da Panizza (1986)

L'antico corpo di frana oggi è da considerare sostanzialmente stabile (o quiescente) visto che su questa massa di frana è stata edificata l'intera area di Cortina e non sono segnalati, nel centro abitato, movimenti di pendio. Vari documenti indicano che in queste aree, in varie epoche, si sono resi necessari consolidamenti a causa della presenza di terreni eterogenei e di scadenti caratteristiche geotecniche, che pongono problemi di una certa importanza nei riguardi delle fondazioni (antiche e nuove), come testimoniato anche dalle problematiche affrontate per la realizzazione del parcheggio di Piazza del Mercato (vedi oltre).

Questa grande zona di frana antica presenta tuttavia ancora alcune criticità e movimenti residui nelle zone marginali oltre ai movimenti ancora attivi nelle zone di Alverà, Staulin (a monte di Cortina).

Relativamente a queste zone sono segnalati sia fenomeni di debris flow (uno dei quali avvenuto nel recentissimo agosto 2017 nella frazione di Alverà, lungo il Bigontina) sia colate di terra più lente.

Gli studi sulle frane di queste aree indicano una stretta dipendenza tra precipitazioni, livelli piezometrici e movimenti, con tempi di risposta molto brevi.



Per le frane di Alverà e Staulin (che fanno parte del più ampio corpo di frana antico del Begontina mappato da Panizza e Zardini nel 1986) sono state individuate varie riattivazioni negli ultimi millenni (con datazioni radiometriche di materiale organico). Attualmente sono riconosciute due frane attive (appunto Staulin e Alverà) formate da colate di terra di lunghezza superiore al km con spessori fino all'ordine di 20 metri. Queste sono però a monte dell'abitato di Cortina e quindi non interessano direttamente l'area di progetto. L'analisi di questo grande corpo di frana è però necessaria per inquadrare le problematiche connesse alla realizzazione del nuovo tracciato in un'area che costituisce il piede di questa antica frana e che mostra ancora oggi dei movimenti residui attivi, di cui si riferirà oltre.

Per quanto riguarda le **frane della sponda destra del Boite** numerosi sono gli studi, in gran parte effettuati dall'Università di Modena e dal CNR IRPI di Padova, che interessano le zone di Mortisa, Lacedel e Col. Queste aree di frana, sia pur non direttamente interessate dal tracciato (che si sviluppa quasi interamente sulla sponda sinistra del Boite), vanno analizzate attentamente perché la parte finale del tracciato attraversa con un ponte il torrente Boite e termina con una rotatoria al piede del versante destro, in località Crignes. Questa è posta ai margini delle zone riconosciute con franosità attiva ed è stata essa stessa oggetto di studi vista l'adiacenza alle aree di frana attiva.

La **frana di Mortisa-Lacedel** interessa il versante ovest della conca di Cortina estendendosi per circa 3 km in direzione prevalentemente W-E; il coronamento è situato a quota 1700 m s.l.m. mentre il piede è a quota 1150 m in corrispondenza del Torrente Boite.

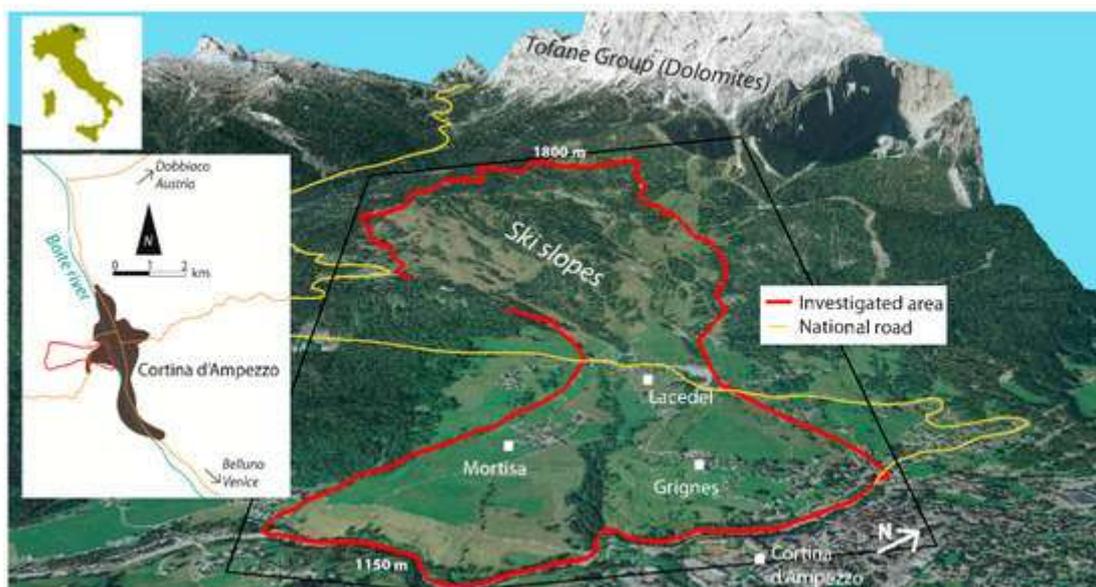


Fig. 11 Area delle frane di Lacedel - Mortisa

Questa zona di frana è studiata dagli anni '80, come si ricava dalle pubblicazioni disponibili in letteratura, ed è ben nota negli strumenti di pianificazione territoriale. Come si ricava dalla delibera regionale n. 3669 del 20

novembre 2007 (relativa allo studio della frana di Mortisa) i corpi di colata di questa area sono *caratterizzati da movimenti del terreno che nel recente passato hanno raggiunto anche velocità dell'ordine metro all'anno*. L'intera area è stata oggetto di diversi interventi, finanziati con fondi regionali (L.R. n. 52/80) e con fondi statali (fondi F.I.O. 1986 e L. 267/98), da parte del Genio Civile di Belluno, dei Servizi Forestali Regionali e del Comune di Cortina d'Ampezzo. Gli interventi hanno riguardato soprattutto la sistemazione delle sponde del torrente Boite, la realizzazione di sistemi di drenaggio delle acque superficiali e il ripristino della viabilità.

Nel 2007 la Giunta Regionale ha quindi deliberato di affidare al Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica Unità di Padova, uno studio della frana di Mortisa che prevedeva:

- ✓ ricostruzione di un approfondito modello geologico - geotecnico del fenomeno franoso;
- ✓ rilievo geomorfologico di tutta l'area con particolare attenzione per la zona sorgente posta a monte della S.S. 48;
- ✓ effettuazione di specifiche indagini;
- ✓ monitoraggio topografico;
- ✓ modellazione matematica della frana;
- ✓ individuazione degli interventi esistenti ed indicazione dei possibili interventi di massima;
- ✓ approfondita definizione dei livelli di pericolosità attuali, anche in riferimento alle aree coinvolgibili ed a seguito degli interventi individuati.

In realtà gli studi di questa area erano iniziati già negli anni '80, con due campagne di indagini e monitoraggio eseguite nel 1989 e nel 1991.

I risultati di questi primi studi sono illustrati nella pubblicazione già citata Panizza et al. (1996) dalla quale si è estratta la figura seguente che illustra la perimetrazione delle due colate attive con l'ubicazione delle indagini.

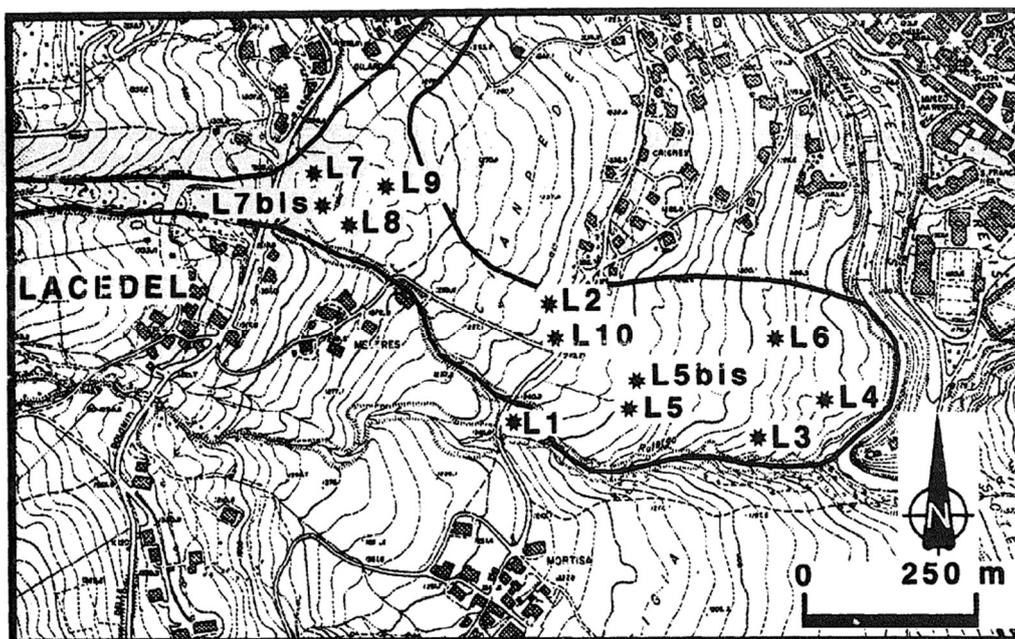
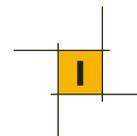


Fig. 12 Area delle frane di Lacedel con le indagini eseguite (da Panizza 1996)

Le campagne di misure con piezometri e inclinometri del 1989 avevano permesso di indagare la parte più attiva della frana nella parte bassa del pendio e sulla base di queste indagini erano stati attuati lavori di



drenaggio con trincee; queste sono state presto distrutte dai movimenti di frana e trascinate insieme alla frana stessa, creando peraltro ulteriori problematiche legate alla circolazione di acqua nei drenaggi distrutti. I nuovi inclinometri del 1991 furono tagliati dalla frana dopo soli 15 giorni, con una velocità della frana accertata di 7mm al giorno, evidenziando l'inefficacia dei precedenti interventi. Gli inclinometri installati in questa fase hanno individuato spessori di frana in movimento variabili tra 10 e 30m circa.

Dopo quasi vent'anni la convenzione con il CNR-IRPI ha consentito di proseguire gli studi su questa frana. Secondo quanto riportato in questo studio, il complesso franoso si articola in tre diverse colate che convergono, per poi separarsi di nuovo, all'altezza dell'abitato di Lacedel (Figura 12).

- Settore 1, l'unità di frana più meridionale che attraversa l'abitato di Mortisa (in giallo) e, contrariamente a quanto messo in evidenza dal presente studio, indicata come quiescente negli studi precedenti.
- Settore 2: la porzione di frana centrale che scende lungo la seggiovia Roncato e poi prosegue attraversando la S.R. 48 all'altezza dell'edificio ex Meloncino e la strada comunale per Mortisa (in rosso). È forse il settore più attivo di tutto il versante instabile.
- Settore 3: la porzione di frana settentrionale che dal piazzale della seggiovia si dirige poi verso nord in direzione di Grignes (in blu). Anche questo settore si è dimostrato piuttosto vivace soprattutto in anni recenti.

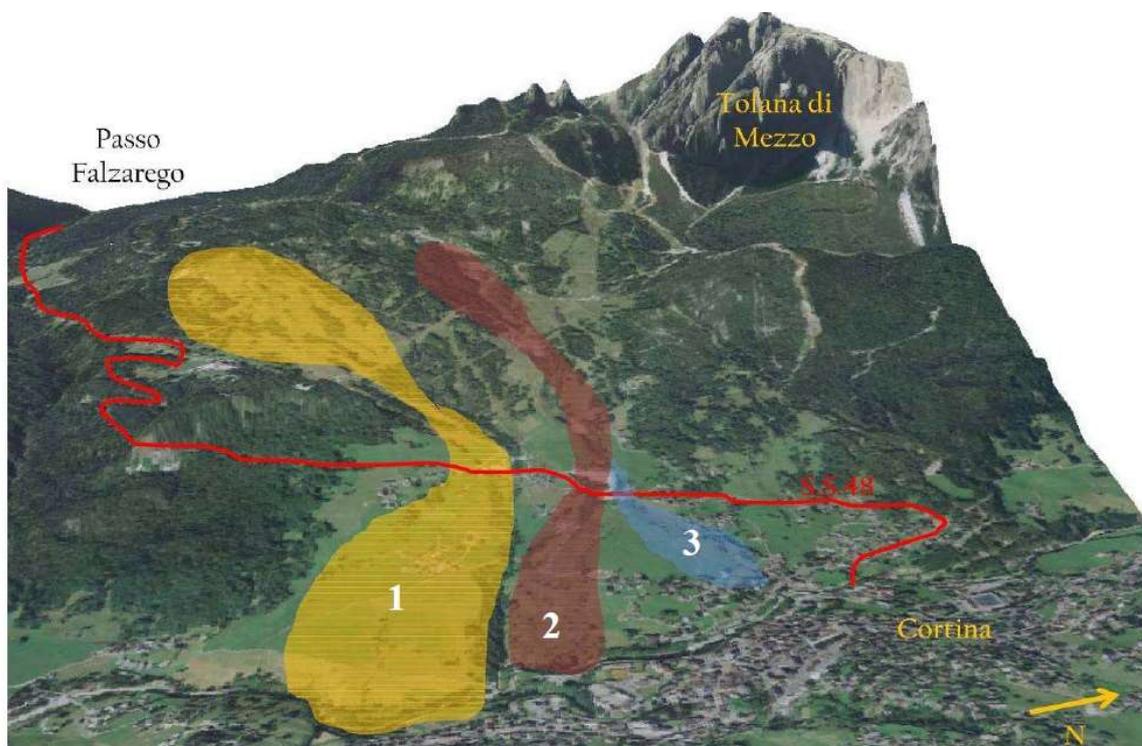
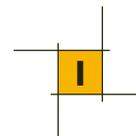


Fig. 13 Schema rappresentante i tre settori in cui il complesso franoso è stato suddiviso, con numerazione per ciascuna colata. Da Studio CNR-IRPI Padova



La colata n. 2, attiva, è nota da molto tempo come si evince dalla foto storica riportata qui a lato.

L'impiego di tecniche radar satellitare ha consentito di acquisire informazioni sui movimenti pregressi avvenuti tra il 2004 ed il 2010 e quindi di avere a disposizione una serie storica più lunga da associare alle misure GPS effettuate negli ultimi anni.

Le analisi satellitari hanno indicato chiaramente che la quasi totalità del versante occidentale della conca di Cortina risulta instabile anche se le velocità di deformazione della maggior parte dei punti di misura (PS) risulta piuttosto lenta (1 mm/anno).

Sono state esaminate le velocità di deformazione misurate negli abitati di Mortisa, Col, Lacedel, Gilardon, Grignes, Val de Sora, Val de Sote (l'analisi satellitare ha bisogno di punti riconoscibili quindi l'analisi si concentra su edifici e strutture).

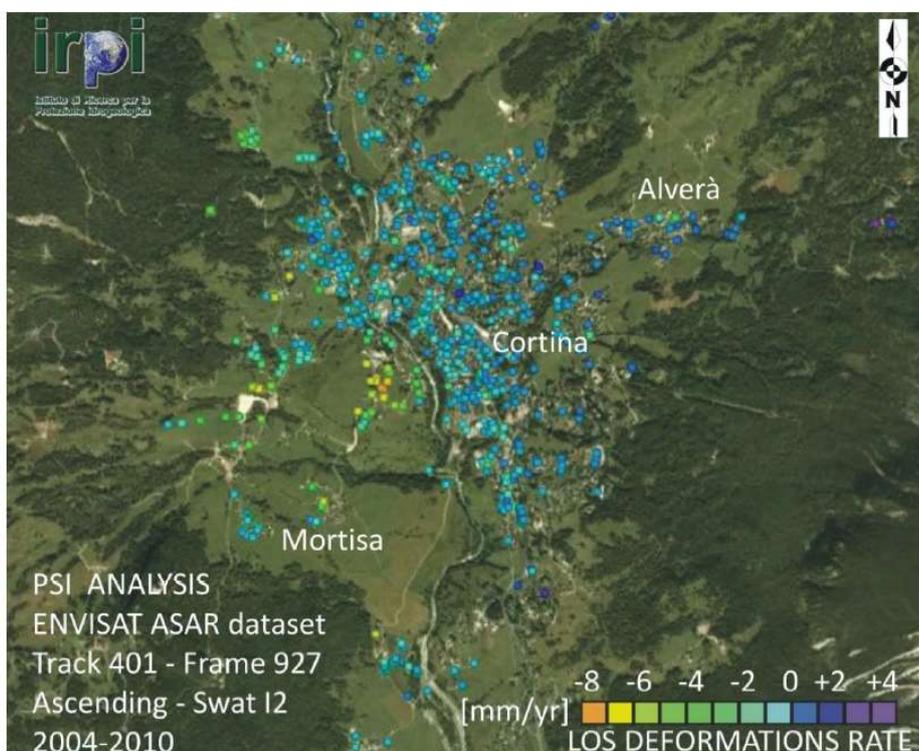
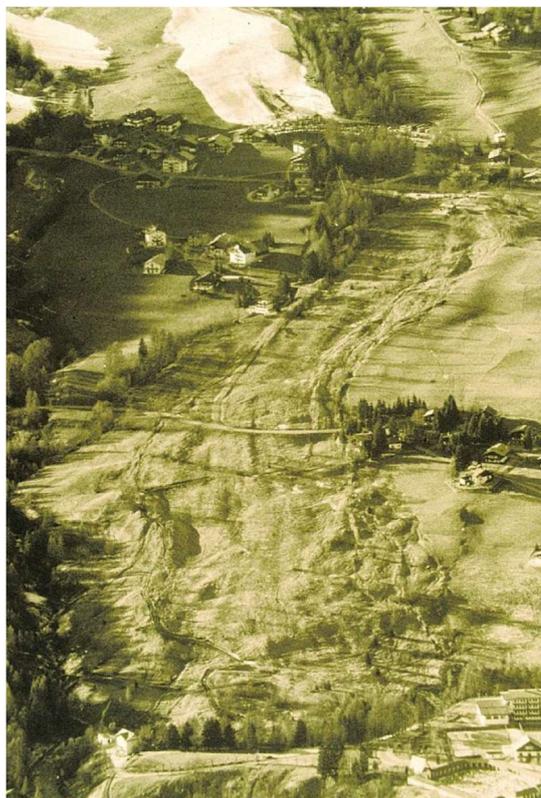
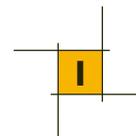


Figura 14 - Velocità di deformazione dei PS sovrapposta ad un'immagine satellitare. Il valore negativo corrisponde ad un allontanamento, lungo la linea di vista del radar (LOS), del bersaglio rispetto al sensore.



Le elaborazioni indicano valori che arrivano, nel versante occidentale della conca, fino a 5-6 mm/anno di spostamento con punte di 7-8 mm/anno.

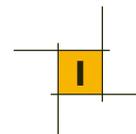
Nella figura seguente si riporta l'analisi condotta per la località Crignes, che è quella che interessa maggiormente il tracciato di progetto. Si evidenziano velocità di 6-7 mm/anno per la zona più alta in quota, che diminuiscono spostandosi verso il fronte ai piedi della valle del Boite. Il punto 3076 che corrisponde al condominio Crignes (dove si avvicina di più il tracciato di progetto) mostra velocità praticamente inapprezzabili, anche se i vicini fabbricati (più a nord) arrivano a 3-4 mm/anno.



Figura 15 - Velocità di deformazione dei PS nella zona di Crignes.

È importante specificare che un radar è in grado di misurare deformazioni solo se queste avvengono lungo la direzione di propagazione del segnale (linea di vista) o se hanno una componente apprezzabile lungo la stessa. L'antenna montata sul satellite ENVISAT è angolata di circa 23° rispetto la verticale, pertanto le velocità di deformazione registrate sui PS sono da intendersi lungo tale direzione. Non vengono inoltre messi in evidenza eventuali accelerazioni dovute a deformazioni di tipo stagionale. I risultati sono inoltre condizionati dalle caratteristiche geometriche del fabbricato.

Le aree nelle quali non sono presenti PS sono zone in cui non esiste informazione e quindi non vanno confuse con zone stabili. La stima delle velocità fornite si riferisce esclusivamente al periodo 2004-2010.



Lo studio CNR-IRPI ha elaborato inoltre i dati del monitoraggio di 36 capisaldi GPS alcuni dei quali sono stati perduti a causa delle periodiche manutenzioni della pavimentazione stradale (Figura 15).

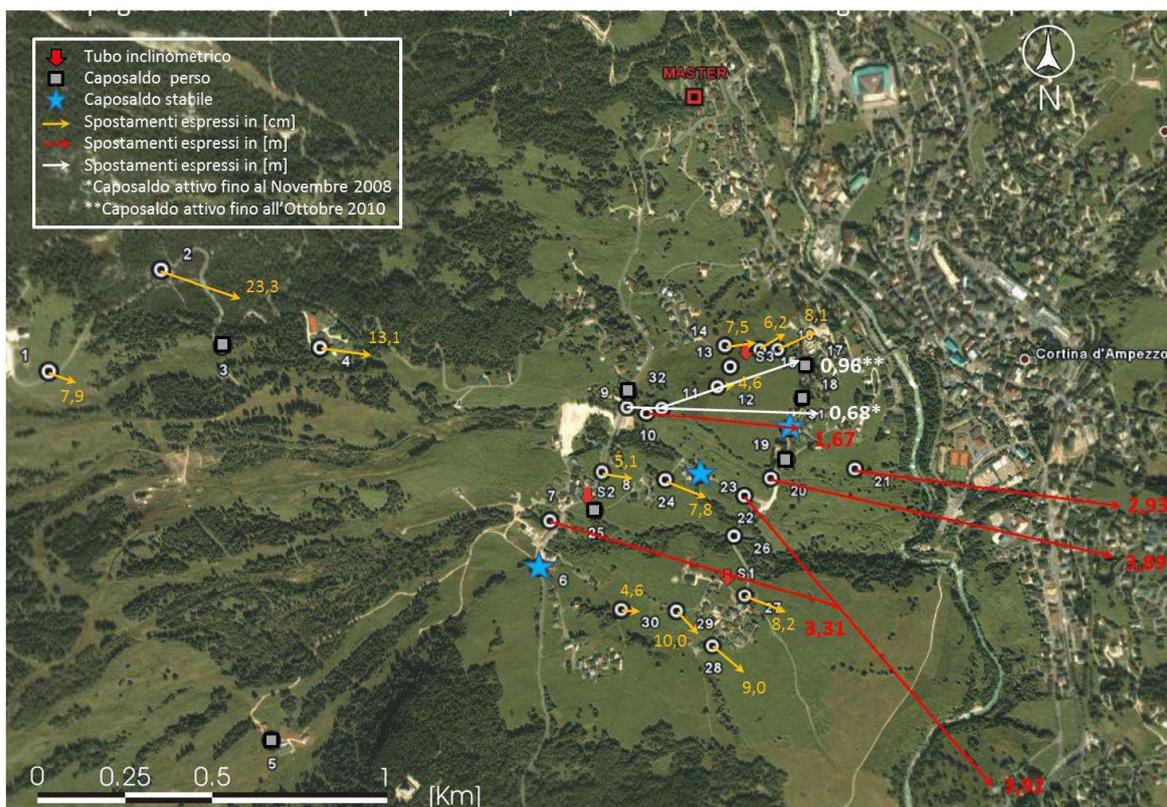


Figura 16 - Campagna di misura GPS. Spostamenti planimetrici cumulati da Luglio 2008 ad Aprile 2012

Dall'analisi dei dati si evidenziano chiaramente le zone di maggior attività, in cui gli spostamenti sono dell'ordine dei metri/anno e quelle in cui le deformazioni sono centimetriche. Il Settore 1 (Figura 12 precedente) è il meno attivo anche se il punto 7, posto su una briglia, in 4 anni si è spostato di più di 3.3 metri. Il fatto stesso che la briglia non mostri danni strutturali è indicativo della profondità ed estensione del movimento franoso in quella sezione. Il Settore 2 è quello che registra deformazioni più marcate, soprattutto nei punti a valle del parcheggio della seggiovia Roncato che rappresenta sicuramente un sovraccarico per il pendio, inducendo ulteriori deformazioni, legate anche ad una possibile variazione nel regime idrico sotterraneo dovuta proprio a tale sovraccarico. Infine anche nel Settore 3 sono presenti capisaldi che mostrano deformazioni planari elevate; alcuni di questi, specie nella parte sommitale (10 e 11), registrano deformazioni verticali significative dell'ordine dei 3-4 cm/anno.

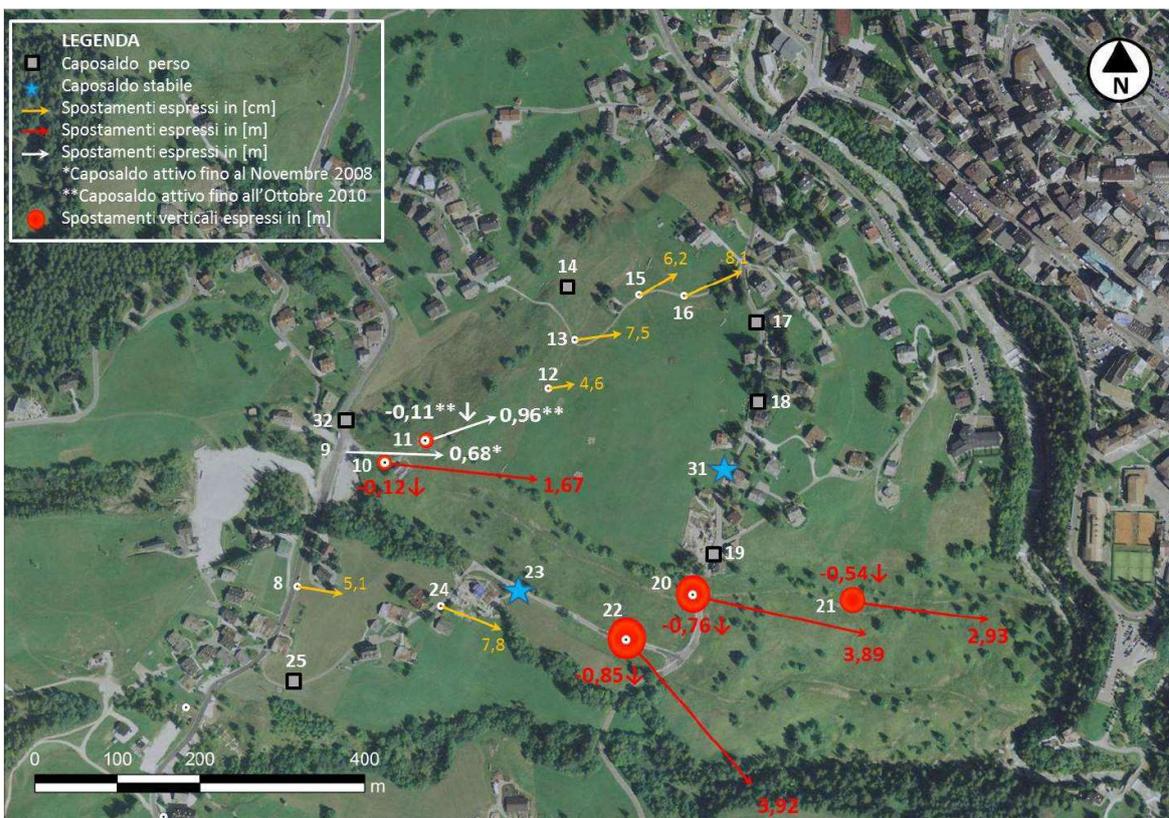
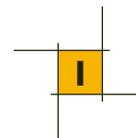


Figura 17 – Ingrandimento campagna di misura GPS con deformazioni 3D. Spostamenti planimetrici cumulati da Luglio 2008 ad Aprile 2012

Lo studio ha previsto inoltre l'installazione di tre inclinometri, posizionati nelle zone marginali delle frane (in modo da poterne seguire l'evoluzione in tempi lunghi, stante la rottura che si era avuta, dopo poco tempo, degli inclinometri installati nelle precedenti indagini).

Il foro S1 è stato realizzato nell'abitato di Mortisa a 1247 m s.l.m. allo scopo di stabilire se quel settore di frana fosse effettivamente quiescente. Il sondaggio ha raggiunto il substrato roccioso, rappresentato dalla Formazione di S. Cassiano, ad una profondità di circa 60 m.

Il sondaggio S2 è stato posizionato in località Lacedel, in un punto compreso tra il primo ed il secondo settore della frana, a quota 1312 m s.l.m. In questo caso è stato raggiunto il substrato roccioso, sempre rappresentato dalla Formazione di S. Cassiano, a circa 40 m di profondità. Il sondaggio S3 è stato realizzato tra l'abitato di Grignes e Val di Sopra nei pressi dell'edificio Capanna Lalla, a quota 1253 m s.l.m. La perforazione si è spinta fino a 66 m di profondità ma non ha raggiunto il substrato roccioso.

I tre inclinometri hanno evidenziato spostamenti evidenti, con superfici di scorrimento ben definite poste tra 20 e 40m di profondità. Tutte e tre le colate sono quindi da considerare attive e caratterizzate da fenomeni di creep viscoso con andamento costante nel tempo (per S1 12 mm/y; per S2 5 mm/y; per S3 7mm/y).

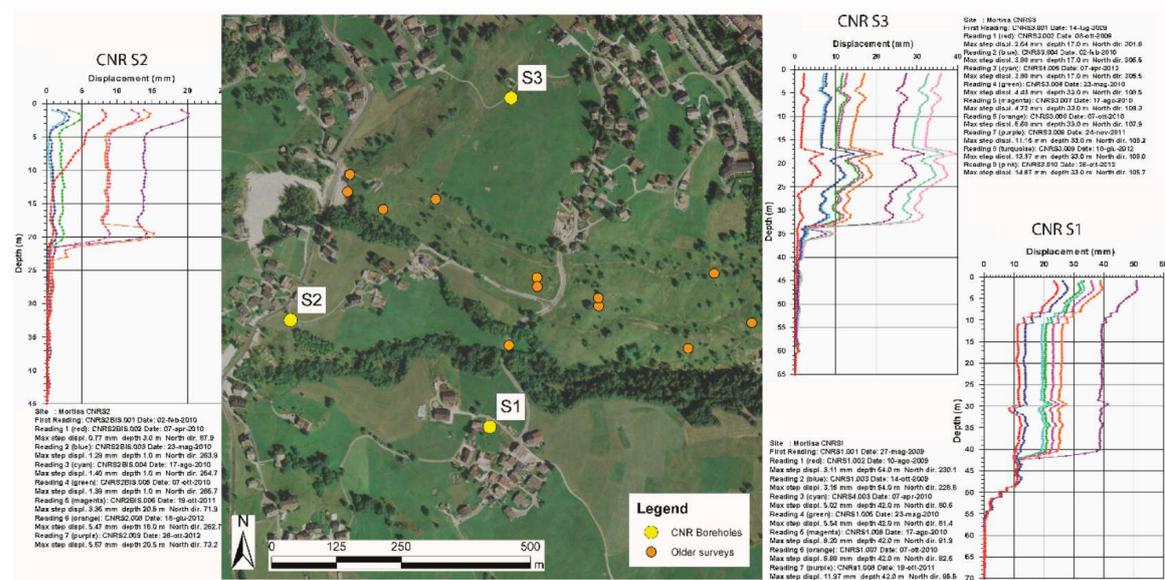


Fig. 18 Ubicazione degli inclinometri S1, S2 e S3 installati nello studio CNR-IRPI

Relativamente ai possibili interventi di mitigazione, lo studio indica l'importanza della regimazione idraulica e il drenaggio. Lo studio ha evidenziato infatti che *tra le cause principali della situazione di dissesto che caratterizza l'intero versante vi è sicuramente la mancata regimazione della circolazione idrica, sia superficiale che sotterranea.*

L'analisi delle condizioni di rischio degli elementi antropici ha evidenziato come, nonostante la pericolosità indotta dal fenomeno sia piuttosto elevata in virtù della sua magnitudine e velocità, solo poche abitazioni mostrano lesioni sicuramente ascrivibili alla dinamica gravitativa.

Viene evidenziato inoltre che *la sistemazione del settore più elevato del versante può essere considerata quale "conditio sine qua non" per minimizzare gli effetti sulle strutture antropiche poste più a valle.*

Dallo studio emerge infine la necessità di garantire una continuità idraulica tra la rete idrografica minore, che va ovviamente riorganizzata e stabilizzata, ed il collettore principale, nel nostro caso il Torrente Boite.

Un aggiornamento di questi studi è riportato nel lavoro di G. Bossi et al. del 2016 (*A Monitoring Network to Map and Assess Landslide Activity in a Highly Anthropized Area*).

Le evidenze geomorfologiche di questa area sono state rappresentate in una mappa riprodotta nella figura seguente, dove sono stati evidenziati gli interventi del 1989.

La mancanza di manutenzione e l'abbandono degli interventi di regimazione, superficiale e profonda, delle acque, insieme alle lavorazioni improvvisate che vengono fatte per mantenere in esercizio le piste da sci sono state individuate tra le cause della persistenza dei movimenti.

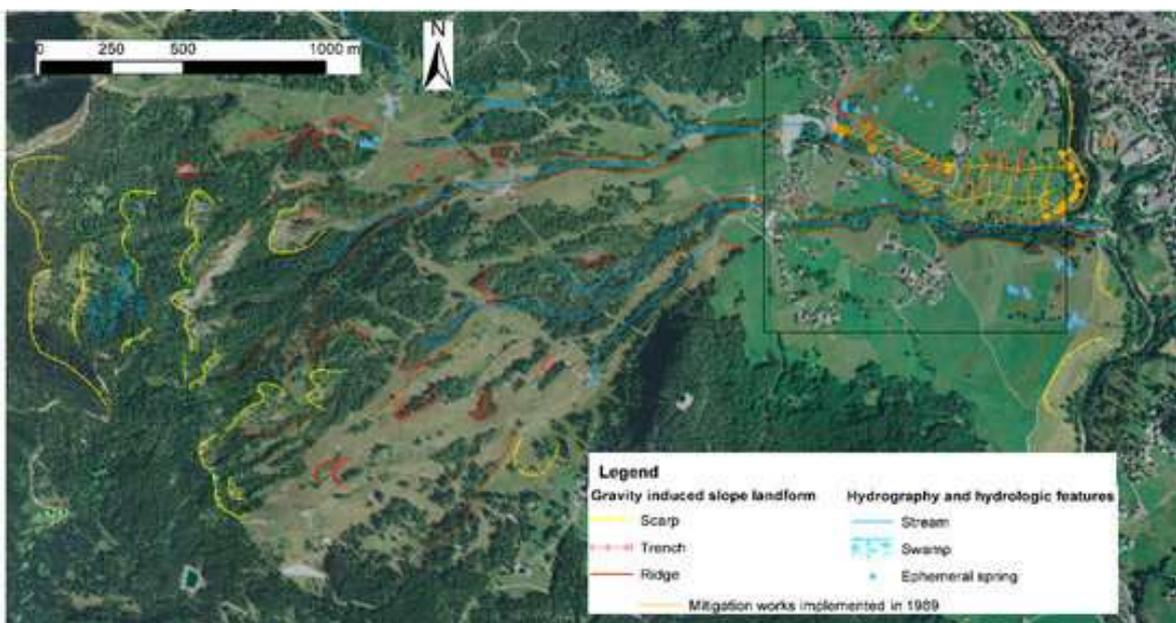


Fig. 19 Elementi geomorfologici della colata di Mortisa (da Bossi et al., 2016)

Con riferimento alla zona di Crignes, questo studio indica che le evidenze geomorfologiche così come le misure GPS non indicano movimenti in questa area. Questa è stata tuttavia considerata in movimento attivo sulla base delle misure satellitari che mostrano con evidenza la presenza di spostamenti inferiori al cm/anno ritenuti sufficienti a danneggiare infrastrutture scadenti e non sottoposte a manutenzione, quali sistemi di drenaggi e condotte.

Lo studio contiene inoltre una specifica analisi del rischio con la relativa mappatura di cui si riporta lo stralcio nella figura seguente.

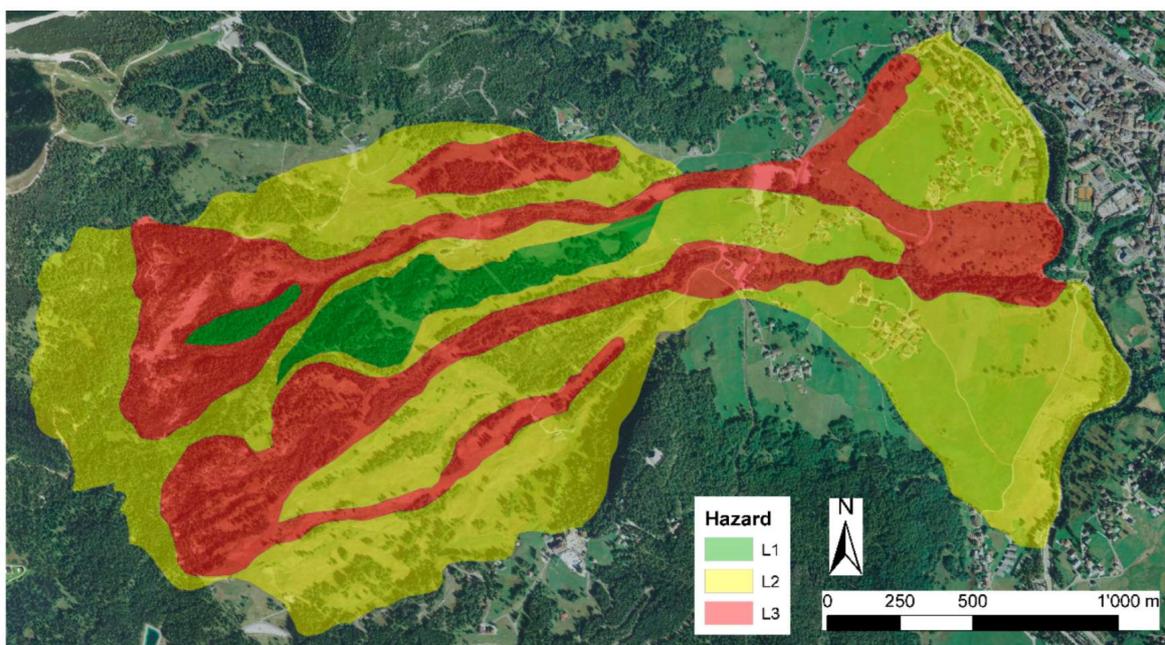
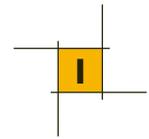


Fig. 20 Mappa del rischio del versante di Mortisa (da Bossi et al., 2016)



La mappa del rischio è stata costruita con l'approccio di Tagliavini (2007) basato sul metodo semi-deterministico BUWAL. Dove sono disponibili i dati di monitoraggio (parte bassa della frana) vengono definite tre classi di velocità per valutare la potenzialità di danneggiamento delle strutture (>3 m/anno, <10 cm/anno e la classe intermedia). Dove non sono disponibili i dati di monitoraggio il tasso di spostamento è stato stimato da interpretazione di foto aeree e altre evidenze geomorfologiche.

Tutti gli inclinometri mostrano spessori di frana di oltre 15m quindi è stato assegnato il massimo valore di magnitudo.

Per la probabilità di accadimento è stata effettuata una valutazione geotecnica seguendo il criterio di Picarelli (2000) che indica che la frana, nella zona meno attiva, è nella fase di evoluzione finale.

Si è valutata quindi una probabilità molto bassa di un evento catastrofico.

In questo caso si è assegnato un livello di rischio L2. La classe di rischio L3 è assegnata dove la velocità supera 10 cm/anno e le evidenze geomorfologiche indicano la presenza di grandi spostamenti.

La classe di rischio L1 è assegnata alle aree che non mostrano evidenze geomorfologiche di attività e dove le misure non indicano spostamenti.

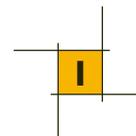
È stato sottolineato che tutte le misure con capisaldi GNSS che ricadono nella zona L2 mostrano spostamenti minori di 3 cm/anno.

Gran parte del versante di Mortisa ricade nelle classi L2 e L3; tuttavia un gran numero di edifici ubicati in zona L2 seguono il movimento senza evidenze di danneggiamenti. Questo è stato attribuito alle piccole deformazioni che sono localizzate entro una profonda e ben definita superficie di scorrimento. Tuttavia è stato segnalato che questa circostanza dovrebbe essere tenuta in debito conto nella valutazione del rischio.

A completare il quadro di area vasta si possono aggiungere le osservazioni raccolte con i recenti sopralluoghi che, sulla base delle evidenze geomorfologiche, confermano quanto finora esposto e ricavato dagli studi di letteratura.

Dalla foto panoramica successiva ripresa dalla cima Tofana si evidenziano le zone di distacco della grande frana di Cortina attualmente attiva con i corpi di Alverà e Staulin (a monte di Cortina lungo il Bigontina) e la lunga colata di Lacedel Mortisa.

Nelle successive foto si evidenziano i corpi della colata di Lacedel-Mortisa (con la parte attiva e quella considerata quiescente o con movimenti lenti) e il versante sinistro del Boite dove si segnala una frana in attività e movimenti di "creep" al piede del versante. Nella foto 4 di dettaglio di questa ultima zona si può evidenziare un ciglio di scarpata che sembra essere riconducibile ad una vecchia scarpata fluviale, quando il torrente Boite, verosimilmente perché spostato verso sinistra dalla colata di Lacedel, ha eroso la sponda, forse creando dei movimenti rotazionali. Su questi terreni forse mobilizzati si riconoscono alcune irregolarità morfologiche che potrebbero essere ricondotte a movimenti viscosi del terreno, legati alle variazioni del



contenuto d'acqua e alla pendenza della versante. Una zona di frana attiva è inoltre segnalata in questo settore, ma di questi aspetti si tratteranno nel capitolo successivo.

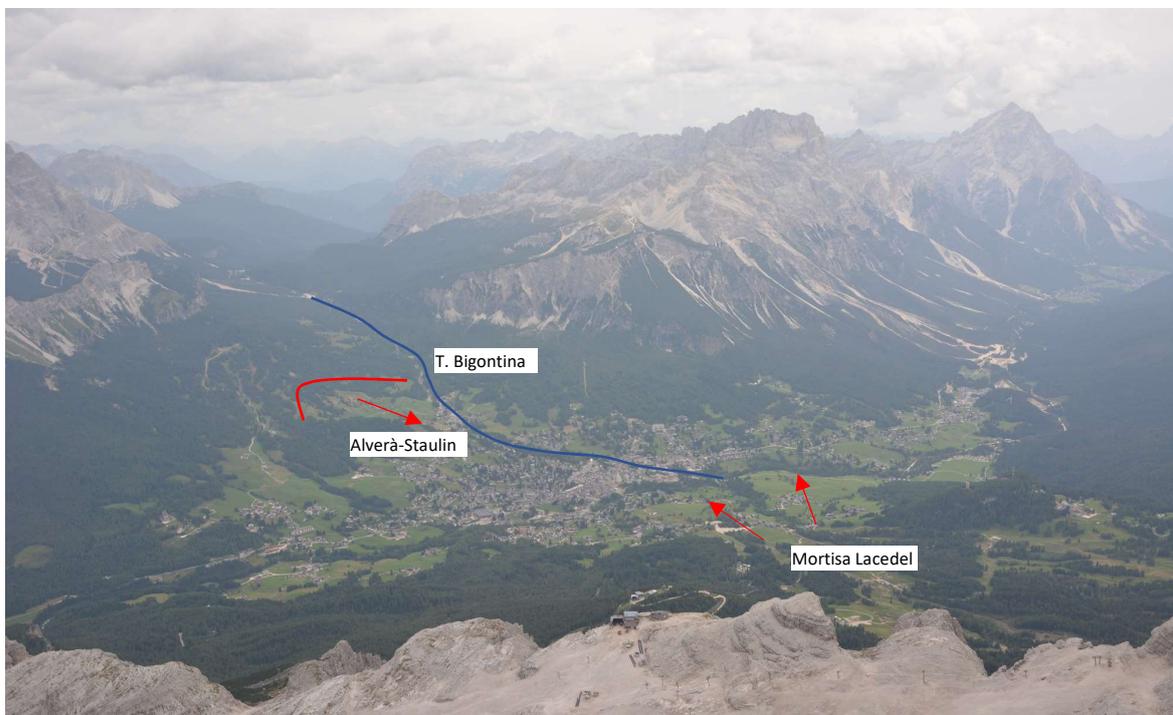


Foto 1 Vista della conca di Cortina dalla Cima Tofana

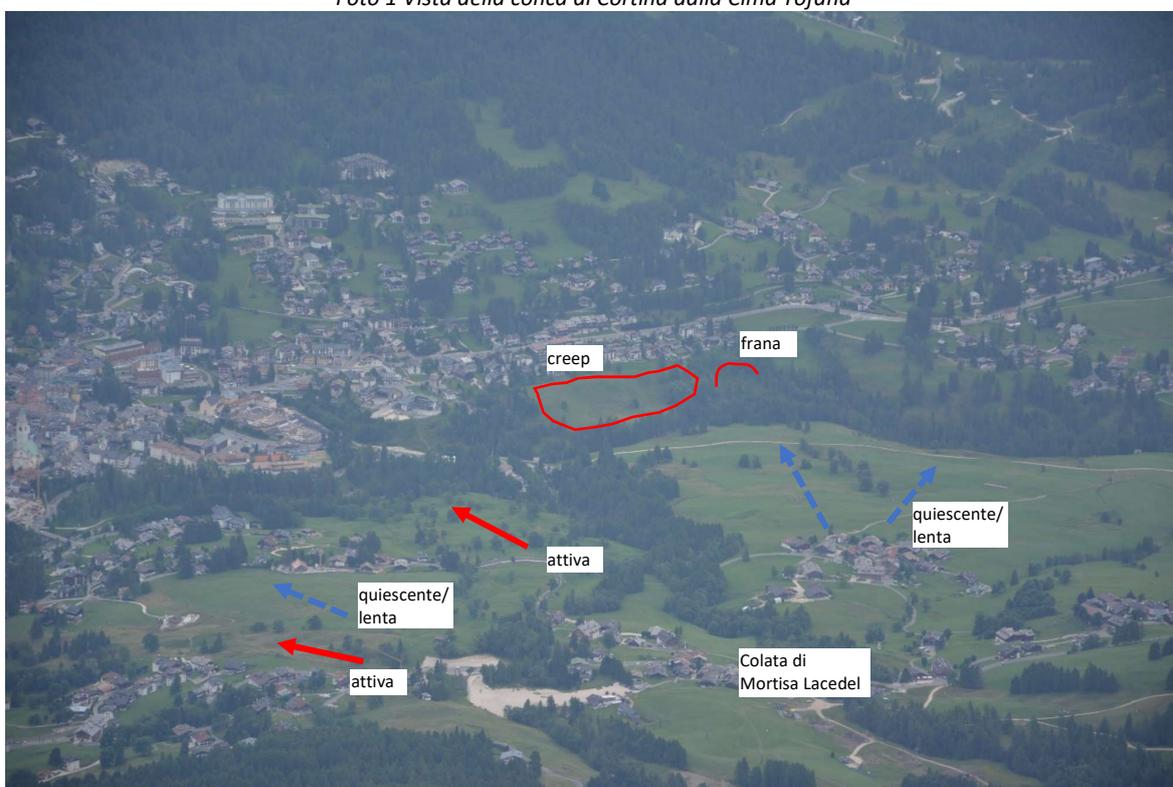


Foto 2 Vista della conca di Cortina dalla Cima Tofana

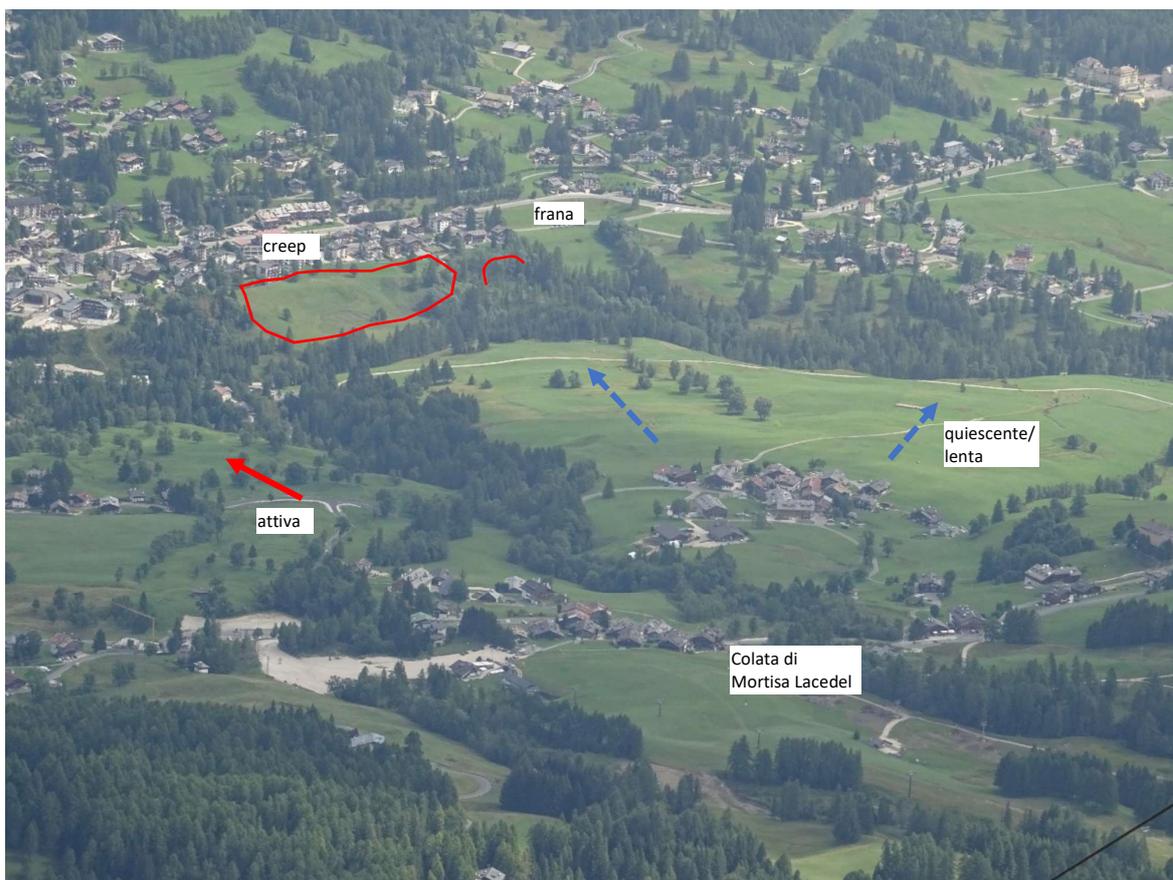
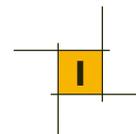
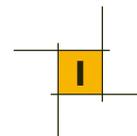


Foto 3 Vista della parte bassa della conca di Cortina dalla Cima Tofana



Foto 4 Vista della parte bassa della sponda sinistra del Boite



Con riferimento alla colata di Lacedel le foto seguenti, riprese dal versante sinistro del Boite, mostrano le tipiche forme delle colate lente (ondulazioni, alberi piegati, dossi e contropendenze) in tutta la lingua individuata nei precedenti studi e fino al piede della sponda destra del Boite, dove sono stati osservati forti deformazioni, ribaltamenti delle opere di sostegno e parziale occupazione del corso d'acqua.



Foto 5 Il fronte della colata di Lacedel Mortisa



Foto 6 Il fronte della colata di Lacedel Mortisa nella sua parte attiva



Foto 7 Il piede della colata di Lacedel, nella sua parte attiva, con i dissesti spondali lungo il Boite

Di recente sono stati eseguiti lavori di manutenzione della strada in località Meleres che corre proprio lungo la colata attiva di Mortisa. Questa strada presenta forti e pronunciate ondulazioni e i lavori eseguiti hanno sicuramente previsto la realizzazione di trincee drenanti.



Foto 8 I recenti lavori per la strada di Meleres

I dati relativi a questi lavori e alle eventuali indagini condotte sono stati richiesti al Comune di Cortina, ma non sono ancora disponibili.

Per completare il quadro generale delle condizioni geomorfologiche e di stabilità dei versanti, si può fare riferimento agli studi dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, nell'ambito del *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI)*.

La perimetrazione proposta risulta congruente con gli studi prima descritti. La zona a pericolosità elevata P3 sulla sponda destra del Boite corrisponde alla parte di colata attiva della frana di Lacedel-Mortisa (settore 2 e settore 3, rispettivamente classificati in zona di rischio L3 e L2 dello studio citato di Bossi et al.).

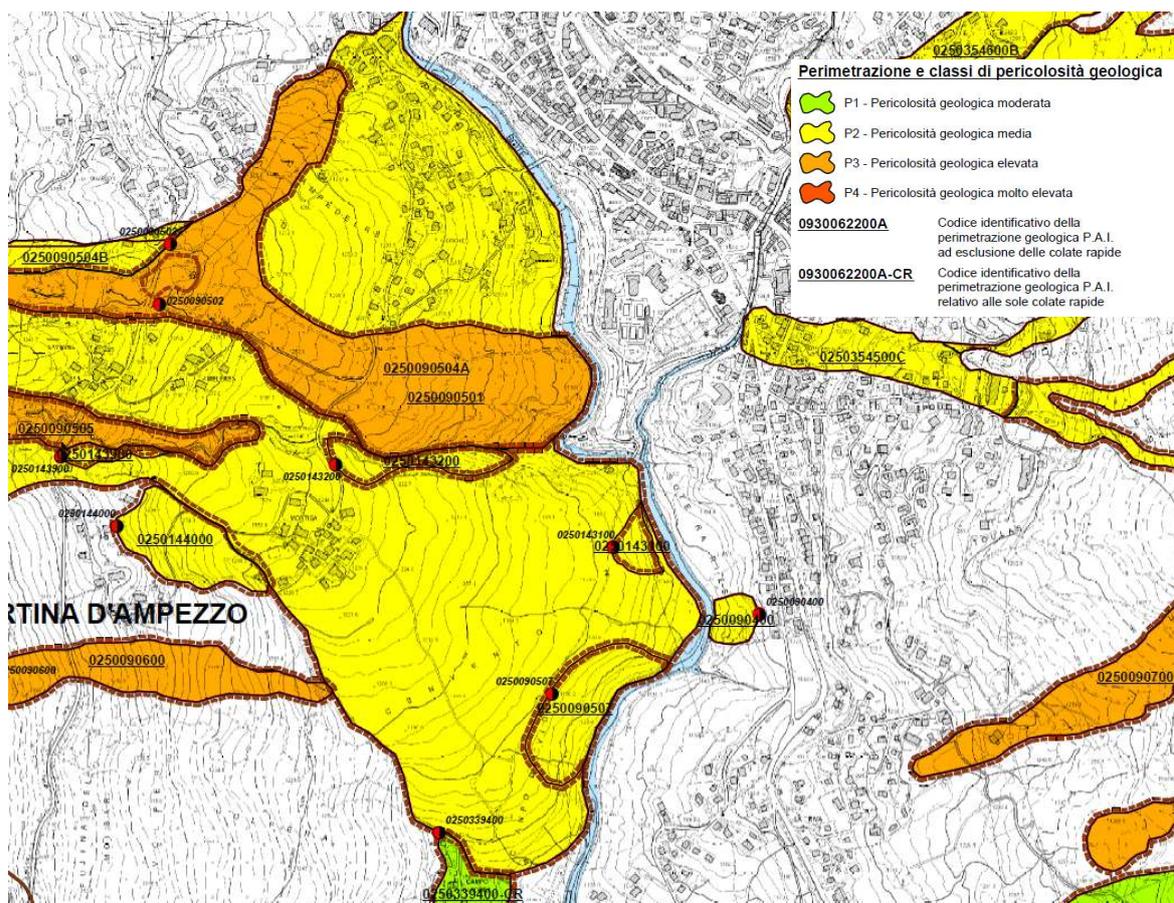
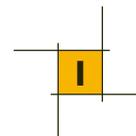


Fig. 21 Estratto della Carta della pericolosità geologica del PAI

Come già descritto in precedenza, la colata classificata in P3 in sponda destra mostra una dinamica attiva con il corso del Boite che evidenzia una irregolarità del suo corso da attribuire proprio a questo accumulo di frana. Si deve evidenziare tuttavia che lo studio CNR-IRPI indica uno stato di attività pronunciato (anche se con velocità relativamente modeste) anche nelle aree perimetrate P2 (perimetrate in zona a rischio L2 dallo studio di Bossi). Il minore grado di rischio non è da attribuire alla mancanza di attività, ma alle più basse velocità di spostamento e alla presenza di uno scorrimento profondo e ristretto ad una fascia delimitata. Relativamente al versante sinistro del Boite (e con particolare riferimento alle aree di interesse progettuale) viene perimetrata una piccola area in P2 (codice 0250090400) al piede del versante. Pur essendo inserita nella più ampia zona di frana (inattiva) di Cortina, di cui si è riferito in precedenza, si tratta evidentemente di



un'area di instabilità locale, inserita però in un contesto di condizioni di equilibrio precario di tutto il tratto di sponda a valle della confluenza del Bigontina. Vista la diretta interferenza con il tracciato di progetto, si rimanda al capitolo successivo per il commento dei dati specifici di questo settore.

Una situazione sostanzialmente analoga viene riportata nella cartografia dell'Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani (IFFI a cura dell'ISPRA). Questa fornisce maggiori dettagli sulla tipologia delle frane segnalate anche dal PAI che vengono distinte in colamenti lenti e rapidi.

La zona compresa tra le due lingue di colata attiva di Lacedel (sulla quale ricade la zona di Crignes) viene attribuita ad una DGPV (Deformazione Gravitativa Profonda di Versante).

La piccola frana in sponda sinistra viene classificata come uno scivolamento rotazionale/traslattivo).



Fig. 22 Estratto della mappatura IFFI

Per completare l'analisi dei rischi territoriali si evidenzia che, con riferimento al **Rischio Valanghe**, l'area di progetto non è interessata da perimetrazioni del PAI

Con riferimento al **Pericolo Idraulico** nell'ambito della zona di progetto vengono perimetrare solo le fasce fluviali del Torrente Boite e del suo affluente di sinistra Rio Bigontina.

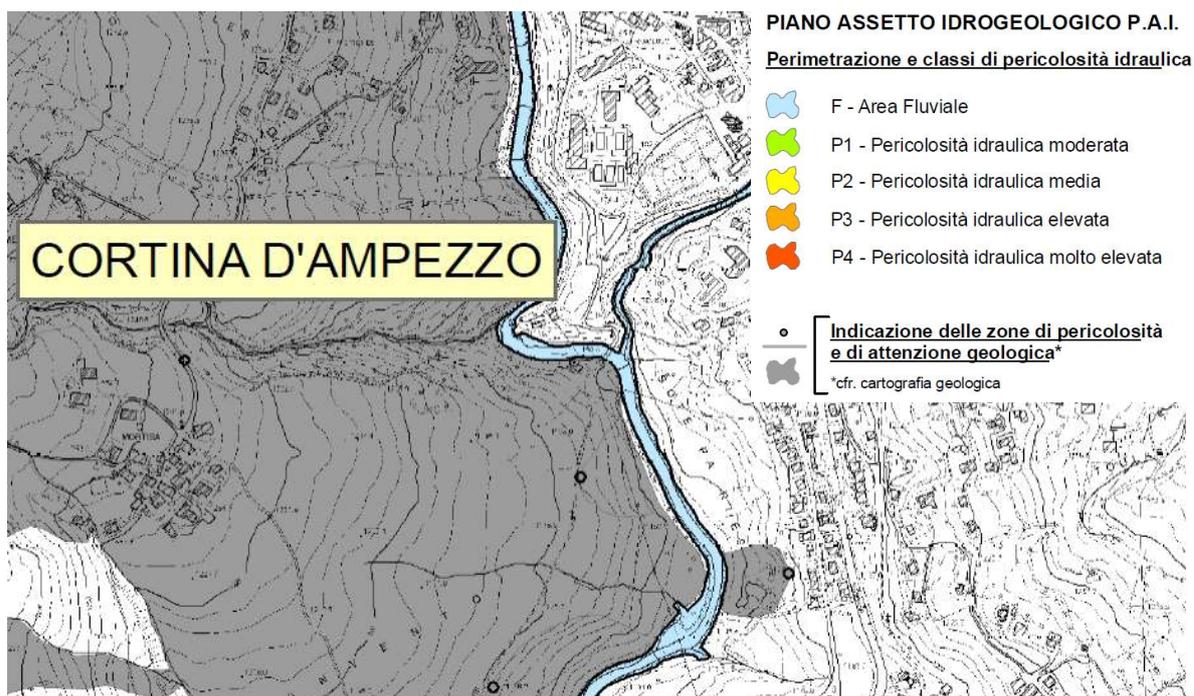


Fig. 23 Estratto della tavola della pericolosità idraulica del PAI

3.5. Sismicità

L'Ordinanza del Presidente del C.d.M. n. 3274 del 20/3/2003 ha introdotto la nuova classificazione sismica del territorio italiano che viene diviso in 4 zone sismiche, ciascuna caratterizzata da un diverso valore del parametro a_g (accelerazione massima convenzionale su suolo di categoria A).

Con le Norme Tecniche per le Costruzioni del settembre 2005 è stato specificato che per le zone 1, 2 e 3 è possibile una suddivisione in sottozone caratterizzate da valori di a_g intermedi rispetto a quelli citati e intervallati da valori non minori di 0.025.

La Gazzetta Ufficiale del 11/5/2006 ha pubblicato l'Ordinanza del PdCM del 28 aprile 2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" (Ordinanza n. 3519) con la quale sono approvati i criteri generali e la mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale. Le valutazioni di a_g sono calcolate su un numero sufficiente di punti (griglia non inferiore a 0.05°), corredate da stime dell'incertezza. I valori di a_g sulle griglie suddette sono state pubblicate sul sito web dell'INGV. La documentazione di interesse è riportata nella mappa seguente.

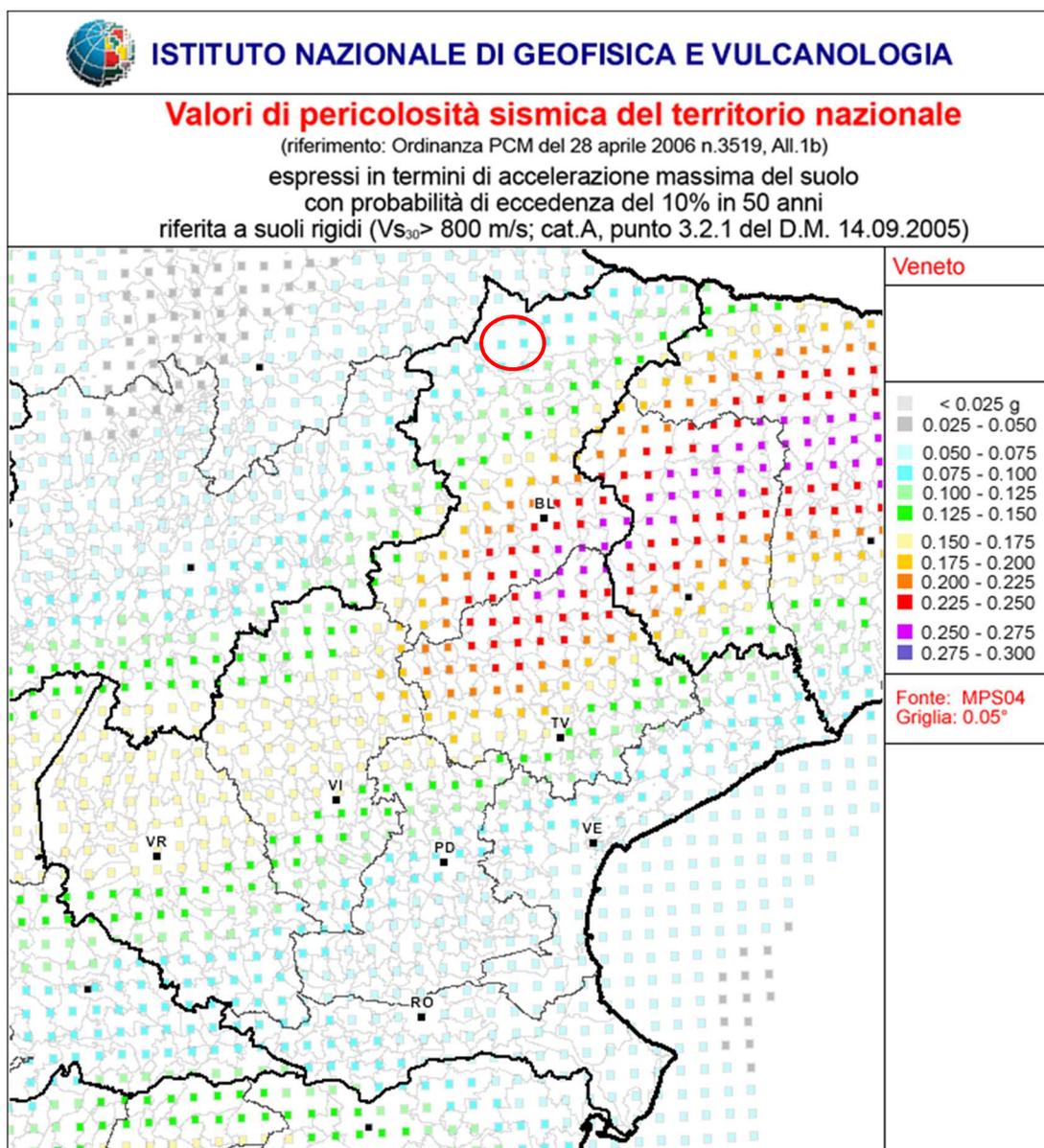
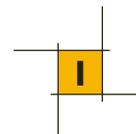
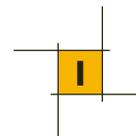


Fig. 24 - Mappa della sismicità (INGV)

Da questa mappa risulta che il Comune di Cortina ricade in classe 3 con viene attribuita una classe di accelerazione al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (su suolo rigido) di 0.075-0.100g.

La definizione dell'accelerazione di progetto con i relativi spettri necessita della valutazione della risposta sismica locale sulla base della categoria di sottosuolo e delle condizioni morfologiche locali.

Tali valutazioni, basate sui risultati delle specifiche indagini sismiche condotte in sito, verranno sviluppate nel capitolo successivo.



4. ANALISI DELLE CONDIZIONI DEI SITI DI PROGETTO

4.1. Indagini eseguite

Per la progettazione degli interventi è stata programmata la seguente campagna di indagine:

- ✓ 10 sondaggi a carotaggio continuo della profondità compresa tra 25 e 45m;
- ✓ prove SPT in foro;
- ✓ prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati con relative prove di laboratorio;
- ✓ installazione di 5 piezometri a tubo aperto;
- ✓ installazione di 3 inclinometri;
- ✓ 2 prove down-hole;
- ✓ 3 prove penetrometriche dinamiche continue del tipo superpesante DPSH.

Alla data della stesura della presente relazione, è stata eseguita quasi interamente questa campagna di indagini, ad eccezione del sondaggio inclinometrico SC10, ubicato nella zona di Crignes, che non è risultato eseguibile per problemi di accessibilità e permessi.

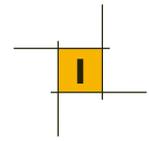
4.2. Modello geologico dei siti

Nel quadro geologico di area vasta descritto nel precedente capitolo, la successione stratigrafica dei siti è caratterizzata dalla presenza di terreni di frana antica e recente. Le rocce del substrato non affiorano e si può stimare che lo spessore dei depositi di copertura sia di alcune decine di metri. I sondaggi spinti finora alla profondità massima di 45 metri non hanno intercettato le rocce del substrato.

I terreni presenti nel sottosuolo hanno una struttura eterogenea e caotica, a testimonianza che questi materiali rappresentano accumuli di antiche frane. Le indagini dirette effettuate in sito, insieme ai dati derivanti da quelle pregresse relative alle zone attigue, delineano una successione di terreni particolarmente articolata, con rilevanti variazioni stratigrafiche sia in verticale che in orizzontale. Tale circostanza è da attribuire alle modalità di messa in posto dei depositi stessi, cioè per movimenti franosi che hanno coinvolto materiali molto eterogenei, con presenza di materiale a grana fine con scarsi frammenti litoidi, ed eventi franosi riferibili a colate detritiche più grossolane.

Frammista ai depositi di frana si rileva inoltre la presenza di depositi alluvionali di probabili paleoalvei temporanei e di depositi lacustri (terreni limo-argillosi ad elevata componente organica fino a torbosi). La presenza del materiale organico è legata anche al trasporto di materiale vegetale durante i fenomeni franosi, come segnalato ed accertato nei numerosi studi di letteratura.

Sia nelle porzioni superficiali (in maniera prevalente) sia in quelle profonde (generalmente a costituire la matrice di uno scheletro di ghiaia) sono presenti terreni limo-argillosi, originatisi verosimilmente dal disfacimento delle porzioni marnose riferibili alla Formazione di S. Cassiano e trasportate sul versante per fenomeni di frana.



Tali condizioni geologiche rendono complesse le procedure di correlazione tra i dati di sondaggio, anche a poca distanza tra loro, poiché la geometria dei contatti tra i vari corpi litologici non risponde a regole geologico-stratigrafiche, ma a processi di accumulo caotici e quindi, per natura, irregolari e poco prevedibili. Per tali motivi la lettura dei profili geologici e geotecnici allegati al progetto deve tenere conto di tale particolarità: i limiti, segnati sempre come ipotizzati, devono essere considerati solo come una possibile interpretazione dei dati di perforazione, ma non necessariamente sono rispondenti all'effettiva condizione di sottosuolo. Nella modellazione geotecnica si è tenuto ovviamente conto di tali condizioni adottando un criterio adeguatamente conservativi.

Con tale approccio, pur avendo accertato una grande variabilità dei depositi presenti nel sottosuolo, nell'area in esame si possono distinguere, dal punto di vista tecnico, 3 principali sub-unità litostratigrafiche che possono considerarsi assimilabili, al loro interno, per grado di addensamento, consistenza e stato di sovraconsolidazione. In particolare possono distinguersi le seguenti unità geotecniche (per i motivi prima detti non distinguibili in termini geologico-stratigrafici):

Sub-unità 1A

Materiali a struttura complessa a grana prevalentemente fine, moderatamente consistenti. Si tratta di un deposito caotico eterogeneo, di origine prevalentemente post-glaciale da colata detritica e/o gravitativa, generato dalla rimobilizzazione di depositi di versante e glaciali; è formato prevalentemente da materiali coesivi e plastici poco/moderatamente consistenti, rappresentati da argille limose plastiche da grigio-scuro a grigio-nocciola con ghiaie spigolose e presenza di livelli maggiormente compressibili e lenti di ghiaia con sabbia. Ha uno spessore mediamente dell'ordine della decina di metri.

Sub-unità 1B

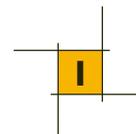
Materiali a struttura complessa a grana prevalentemente fine, molto consistenti, sottostante la precedente sub-unità. Si tratta di un deposito eterogeneo, di colore grigio-scuro, costituito per lo più da argille sovraconsolidate con limo e ghiaie spigolose. Nei livelli inalterati si presentano simili a marne, riducibili in scaglie.

Sub-unità 2

Materiali a grana prevalentemente grossolana. Si tratta di un deposito caotico eterogeneo, di origine prevalentemente tardi-glaciale e gravitativa, generato dalla rimobilizzazione di corpi di frana e di depositi glaciali stadiali. In genere è formato prevalentemente da ghiaie, ciottoli e blocchi, con matrice fine sabbioso-limo con colore da beige a rossastro, tendenzialmente a comportamento incoerente, di medie-buone caratteristiche geotecniche. Localmente si riscontra la presenza di questi terreni interdigitati alla sub-unità 1B, specialmente nella sua porzione superiore.

Tale successione a volte si riscontra anche nei sondaggi eseguiti, a volte invece manca una delle suddette sub-unità o queste si confondono tra di loro per le continue intercalazioni e interdigitazioni dei vari terreni.

In particolare, con riferimento ai sondaggi eseguiti si possono delineare le seguenti situazioni.



Zona della rotatoria di Via Guardie Alpine.

In questa area è stato eseguito il **sondaggio SC1** in corrispondenza del piccolo rio che verrà attraversato con un ponticello. Il sondaggio, della profondità di 30 m, ha attraversato per i primi 3m materiali di riporto e di natura colluviale per entrare poi in un terreno prevalentemente argilloso di colore grigio scuro fino a circa 10m. Al di sotto si attraversano alternanze di materiale prevalentemente ghiaioso (di colore biancastro) e materiali argillosi grigio-scuro quasi sempre con una apprezzabile componente ghiaiosa. Le diverse granulometrie e il colore identificano le diverse fasi di deposizione dei vari corpi detritici e di frana. La distinzione dei vari corpi è evidenziabile anche in forma solo cromatica dalle cassette dei sondaggi riportate nel seguito. Lo stato di consistenza ricavabile dalle prove SPT (e dalle prove di laboratorio sul campione indisturbato) è basso nei primi 5m e poi aumenta gradualmente in profondità, mentre nelle porzioni più grossolane le prove SPT sono andate a rifiuto.

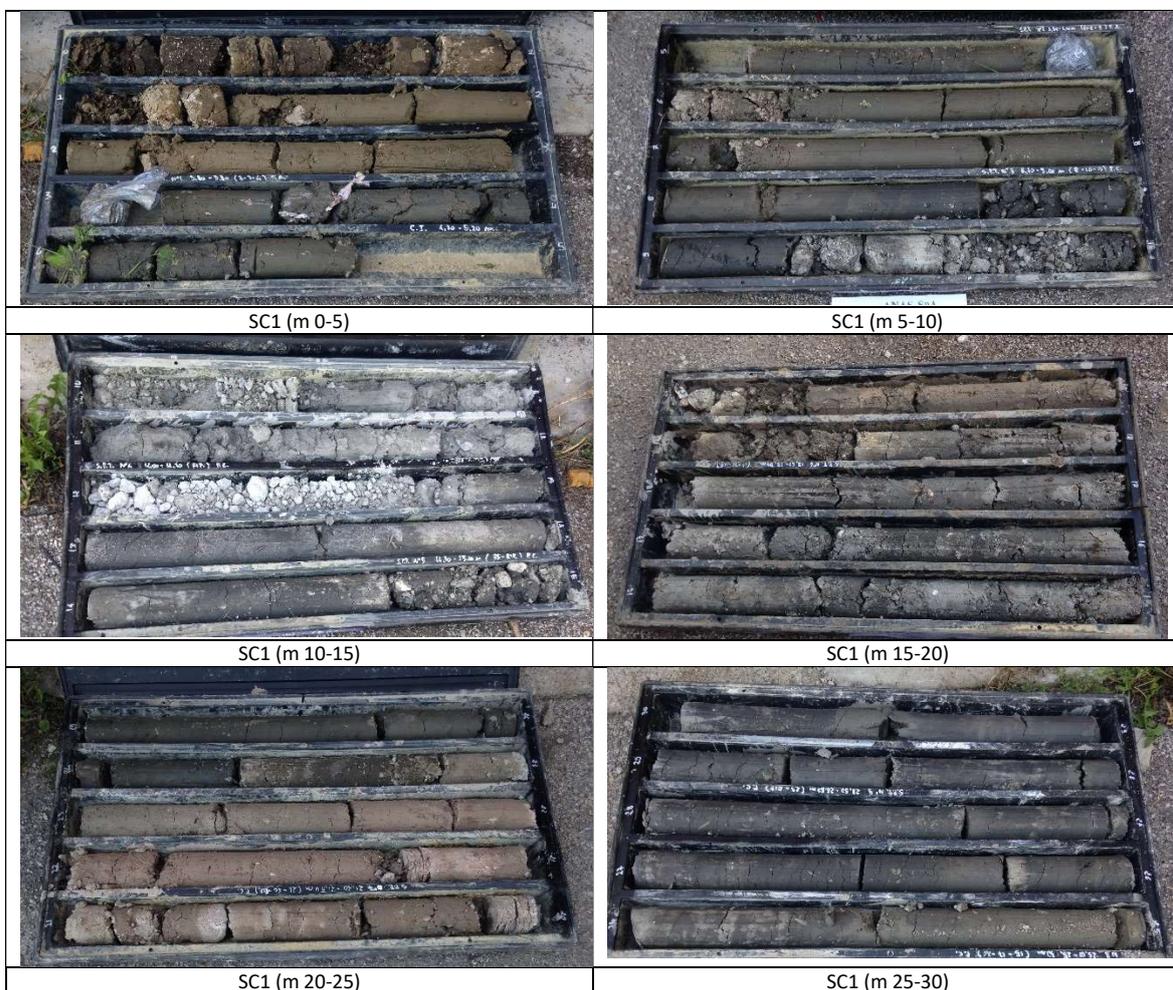


Fig. 25 SONDAGGIO SC1

Sponda sinistra del Torrente Boite, a valle della confluenza del Torrente Bigontina.

In questo tratto di versante, percorso a mezza costa dal tracciato di progetto, sono stati eseguiti 3 sondaggi e 3 prove penetrometriche. I sondaggi SC3 e SC4 attrezzati con piezometro e il sondaggio SC2 attrezzato con inclinometro.

Il **sondaggio SC2** ricade in un'area di frana attiva di cui si riferirà con maggiore dettaglio nel capitolo specifico. Il sondaggio ha attraversato fino a 10.5m un accumulo caotico e poco addensato di limi argilloso-sabbiosi con frammenti lapidei; la struttura del materiale e i valori di N_{SPT} molto bassi fanno ritenere che tale materiale appartenga al movimento franoso recente (attivo) individuato in questa area. Il limite esatto tra il corpo franoso attivo e quello antico è difficilmente individuabile e potrà essere stabilito una volta eseguite le misure inclinometriche. Al di sotto e fino a fondo foro si attraversano le argille scure attribuibili alla sub-unità 1b. I valori di in questi terreni è decisamente maggiore della porzione sovrastante e la percentuale di elementi lapidei inferiore.

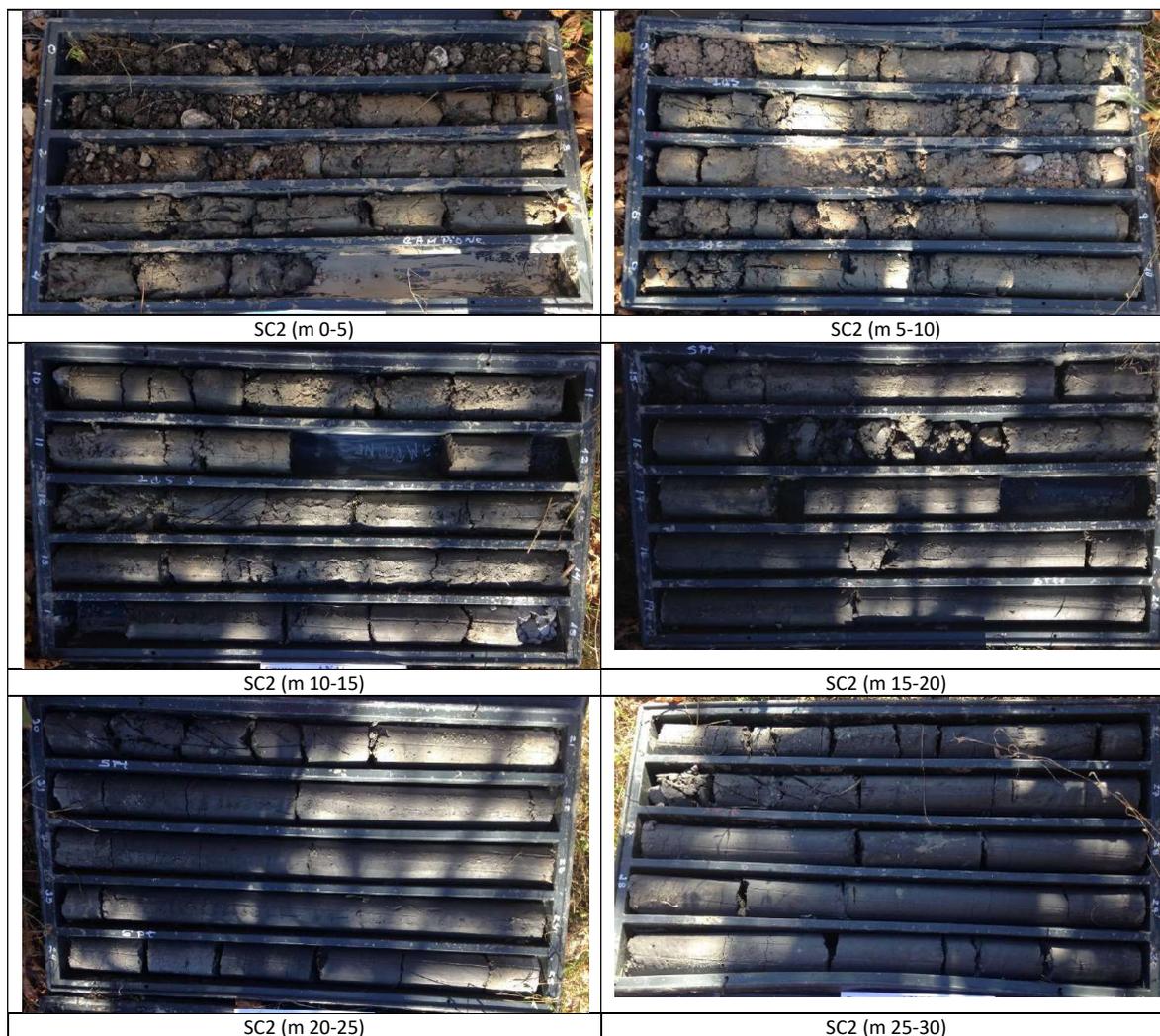
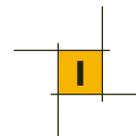


Fig. 26 SONDAGGIO SC2



Il vicino **sondaggio SC3** ubicato sul ciglio della scarpata, ha individuato una stratigrafia molto diversa, a conferma dell'eterogeneità del sottosuolo. Dopo una prima porzione superficiale (3-4m) di materiale poco addensato, ma con elevata componente ghiaiosa, è stato attraversato un corpo ghiaioso fino a circa 10m. Al di sotto si attraversano le argille nerastre (1b) fino a circa 16m, quindi riprende il materiale argilloso, ma con elevata componente ghiaiosa (1a), che in alcuni tratti risulta prevalente sulla matrice fine.

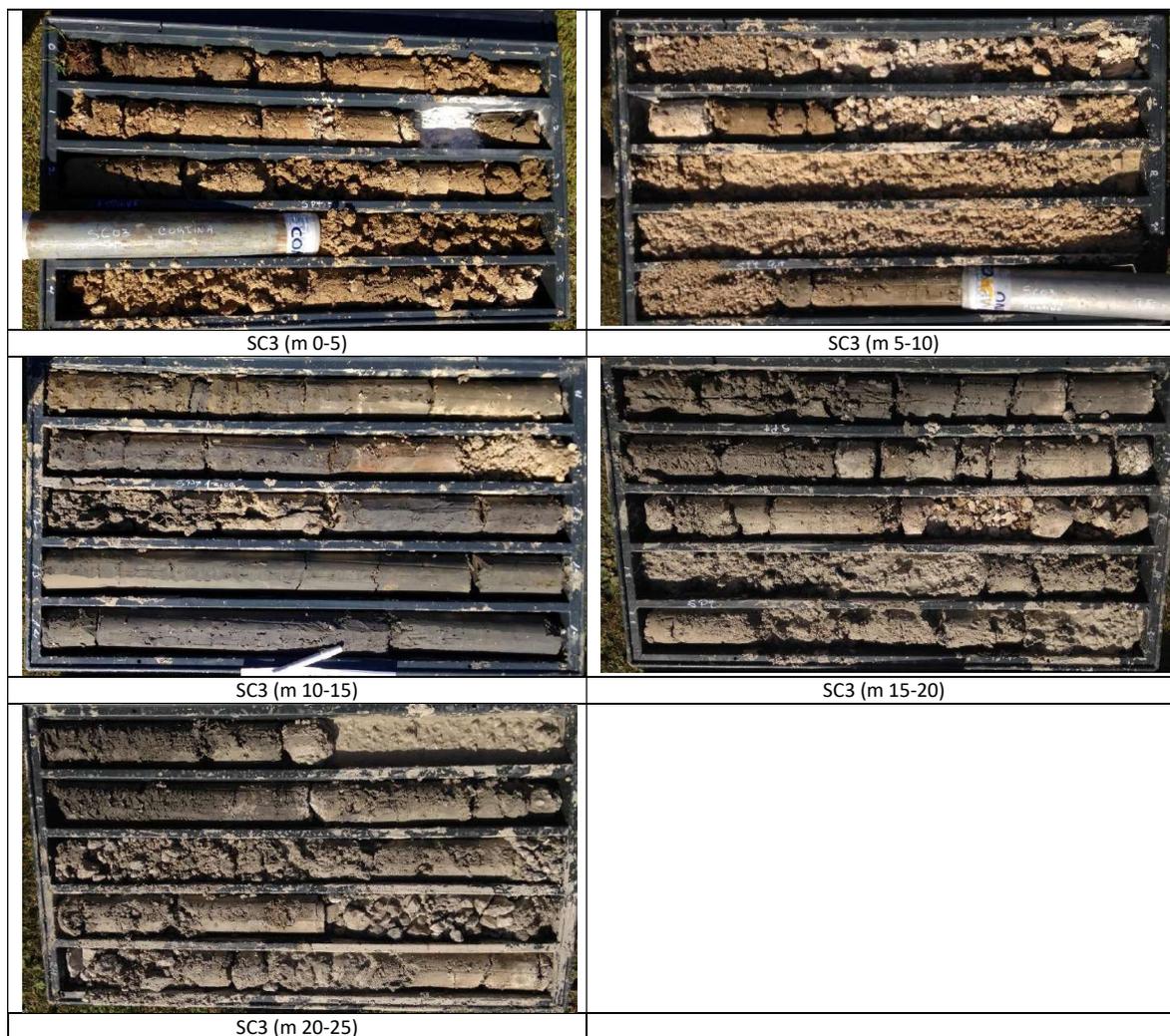


Fig. 27 **SONDAGGIO SC3**

Il **sondaggio SC4**, ubicato sempre sul ciglio della scarpata, ha attraversato un primo strato, di una decina di metri di spessore, costituito da materiale argilloso poco consistente (valori di N_{SPT} molto bassi), con elevata componente ghiaiosa (1a) e strati schiettamente ghiaiosi (7.50-9.50m). Al di sotto si attraversano le argille grigio-nerastre con scarsa frazione ghiaiosa (1b) e consistenza medio-elevata (N_{SPT} sempre superiore a 30 e fino ad oltre 50), fino al fondo del foro (25m). La stratigrafia di questo sondaggio è in linea con il quadro generale della zona, ma mostra non poche differenze con i precedenti due sondaggi.

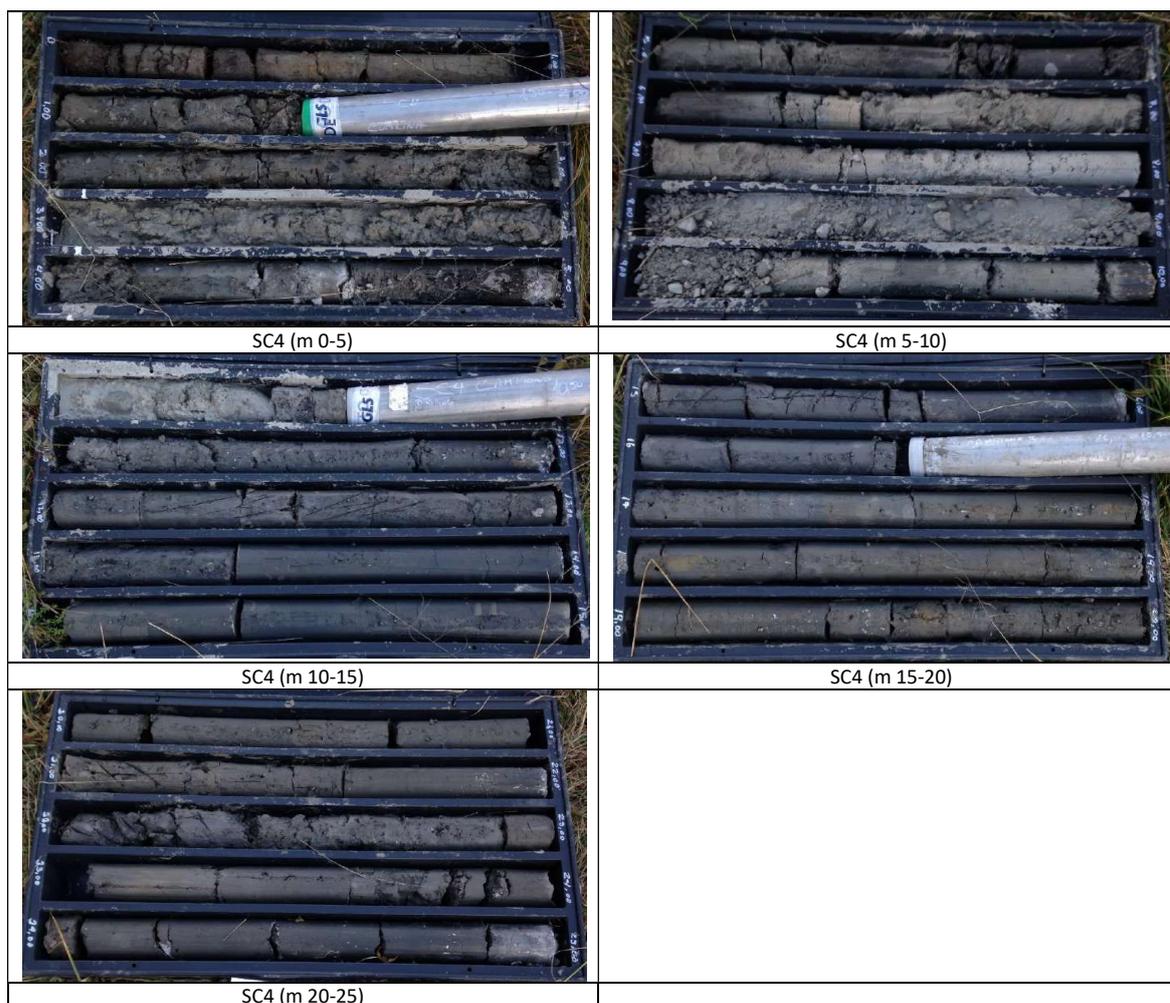


Fig. 28 SONDAGGIO SC4

Ulteriori dati di sottosuolo per questo tratto di versante sono stati ricavati con le prove penetrometriche dinamiche continue eseguite con penetrometro tipo super pesante DPSH. Le prove sono ubicate nel tratto di versante indagato con i precedenti sondaggi, ma all'interno delle aree di compluvio che modellano il versante. Questo tratto di versante è particolarmente delicato in termini di stabilità poiché le osservazioni geomorfologiche indicano la presenza di movimenti corticali del pendio, suggeriti dalle irregolarità del terreno, ondulazioni e increspature tipiche delle zone soggette a "creep", cioè movimenti lenti di tipo viscoso. Le tre prove penetrometriche hanno fornito risultati sostanzialmente analoghi, con valori di resistenza alla penetrazione molto bassi nei primi 5-6 metri (N_{20} inferiori a 10 con valori frequenti di 1-2 nei primi 3-4m). Un netto cambio di resistenza si evidenzia in particolare nelle penetrometriche PC2 e PC3 con valori di N_{20} che passano da 1-2 a circa 5-10 rispettivamente a 3 e 4m circa. A maggiori profondità si evidenzia invece un aumento graduale delle resistenze. Questi risultati possono confermare la presenza di terreni scadenti nei primi metri che possono essere soggetti ai movimenti superficiali prima evidenziati.

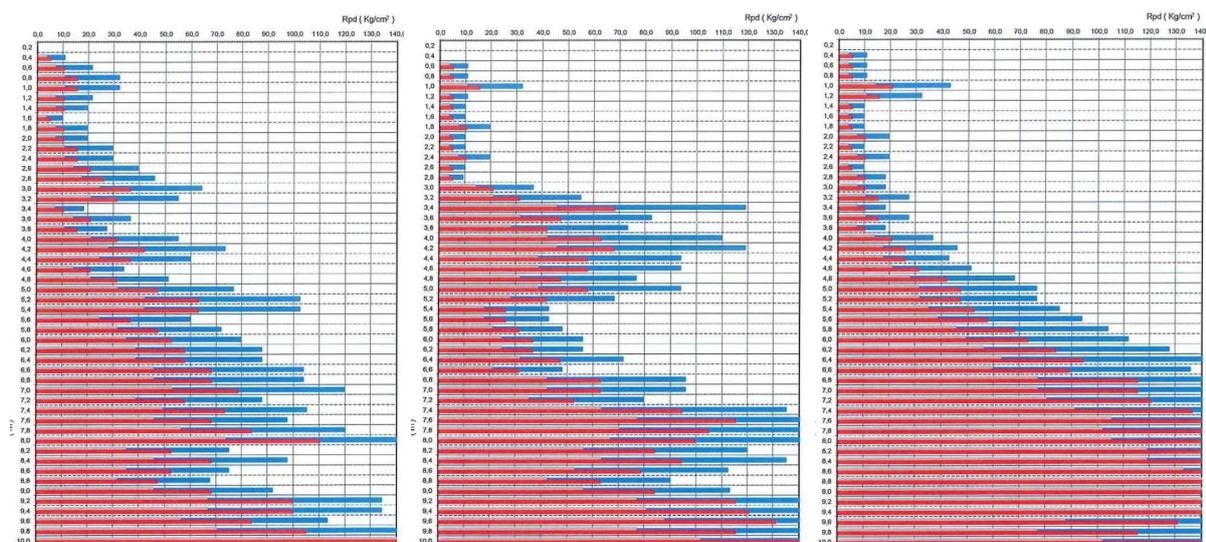
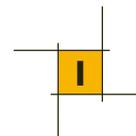


Fig. 29 Le prove penetrometriche PC1, PC2, PC3

Attraversamento del Torrente Bigontina.

Per lo scavalco del Torrente Bigontina, previsto con un ponte ad unica campata, sono stati eseguiti due sondaggi (SC5 e SC6). Il **sondaggio SC5** è stato eseguito sulla sponda sinistra ma non in corrispondenza della futura spalla per motivi di accessibilità; il sondaggio risulta ubicato più a valle e a quote poco superiori a quelle del torrente. La stratigrafia risultante da tale sondaggio è rappresentativa quindi delle condizioni a quote più basse di quelle della futura spalla. Il sondaggio ha attraversato un primo strato dello spessore di 8.5m costituito da materiale argilloso di consistenza particolarmente bassa ($N_{SPT} = 1$), con scarsa componente ghiaiosa; il materiale si presenta fortemente rimaneggiato ed è chiaramente da attribuire ad un corpo di frana (recente). Lo strato sottostante (da 8.5m a 11m) è ancora costituito da argille, ma di colore grigio scuro, di consistenza più elevata e con una elevata componente ghiaiosa, ancora da attribuire alla sub-unità 1a, ma da attribuibile a corpi di frana antichi. Al di sotto il sondaggio ha attraversato ghiaie sabbiose (sub-unità 2) fino a circa 20m, ma con nette intercalazioni di argille di vario colore (da 15.5 a 16.2m e da 18 a 20m circa). Da 20 a 25m sono presenti sabbie argillose con ghiaie, anche in grossi frammenti lapidei (sub-unità 2), quindi si attraversano, fino al fondo del foro (45m) una serie strati di argille e limi argillosi di vario colore (avana, bruno, grigio e nerastro) con una componente ghiaiosa sempre rilevante e tale da far attribuire questi terreni alla sub-unità 1a anche se i valori di N_{SPT} risultano elevati, sempre superiori a 30 e fino ad oltre 50 (quindi tipici della sub-unità 1b).

Anche questa stratigrafia, in linea con le condizioni generali di sottosuolo, mostra però accentuate differenze con i sondaggi vicini eseguiti nel tratto di sponda adiacente.

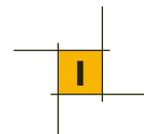


Fig. 29 SONDAGGIO SC5

Il **sondaggio SC6** è ubicato sulla sponda destra, più a valle della futura spalla del ponte (traslato rispetto alle prime ipotesi progettuali) ma all'incirca alla stessa quota. Dopo uno strato di riporto sono stati attraversati, fino a 13 m, materiali argillosi, prima grigi poi tendenti al marrone, con un grado di consistenza relativamente basso ($N_{SPT} < 10$). Al di sotto dello strato argilloso il materiale è prevalentemente ghiaioso, anche con grossi frammenti di dolomia immersi in una matrice generalmente limo-sabbiosa di colore avana. Questo complesso eterogeneo (verosimilmente da attribuire ad un evento detritico o di debris flow antico) è stato attraversato fino alla profondità di 33m. Al di sotto ricompaiono i terreni prevalentemente argillosi, ma con una forte componente ghiaiosa. I valori di N_{SPT} in profondità (sotto i 20m) sono quasi sempre a rifiuto o molto elevati.



Fig. 30 SONDAGGIO SC6

Tratto compreso tra il Torrente Bigontina e il Torrente Boite

Nel breve tratto compreso tra i due corsi d'acqua (in cui il tracciato procede a mezza costa con una paratia di sostegno) è stato eseguito il **sondaggio SC7** (ubicato a valle del parcheggio del Cimitero). In questo sondaggio si alternano con frequenza le porzioni prevalentemente argillose (dal classico colore grigio scuro-nerastro, sempre con ghiaia sparsa nella matrice, ma in percentuali basse) e porzioni con prevalenza ghiaiosa, con una frazione interstiziale limo-sabbiosa di colore più chiaro. Le porzioni argillose sono state attraversate nei primi 5m, da 10 a 12m e da 15 a 25m; le porzioni ghiaiose da 5 a 10m e da 12 a 15m. Tra 25 e 30m il materiale è prevalentemente argilloso, ma di colore più chiaro e con una maggiore frequenza di clasti litoidi.

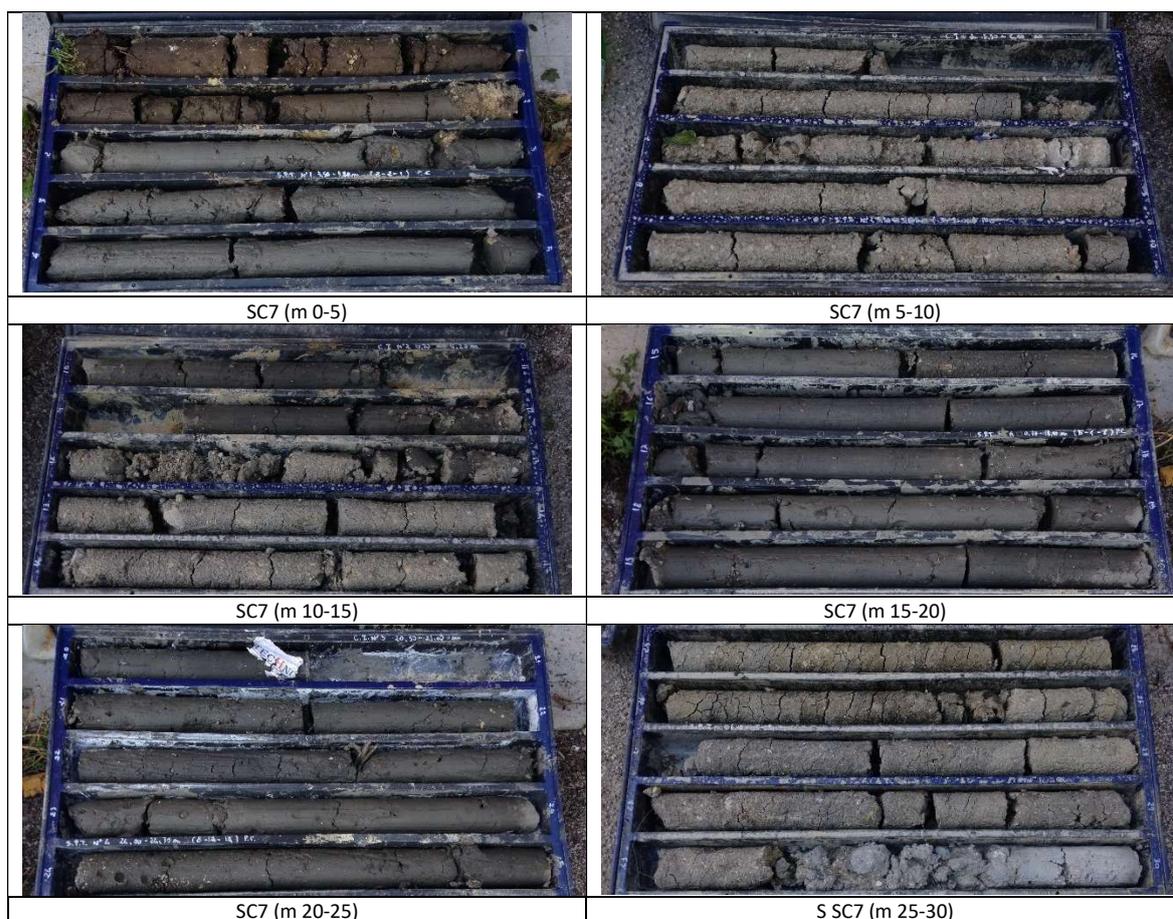
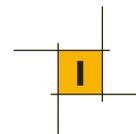


Fig. 31 SONDAGGIO SC7

Attraversamento del Torrente Boite e tratto di versante Crignes

Per lo scavalco del Torrente Boite, previsto con un ponte ad unica campata, sono stati eseguiti due sondaggi (SC8 e SC9). Il **sondaggio SC8**, ubicato sulla sponda sinistra, nei pressi della posizione della futura spalla, ha attraversato un primo strato schiettamente ghiaioso fino a circa 5m, quindi materiale argilloso di colore bruno scuro e avana (di media consistenza), ma con abbondante materiale ghiaioso sparso fino a circa 14m (in questo intervallo sono però presenti frequenti strati di ghiaie intercalati ai materiali prevalentemente argillosi). Da 14 a 20m si incontrano ghiaie (sub-unità 2), quindi depositi argillosi di colore grigio scuro con



scarsa ghiaia (attribuibili alla sub-unità 1b), di media-elevata consistenza. La sub-unità 1b è presente fino a circa 40m, quindi riprende il deposito prevalentemente ghiaioso fino a fondo foro (45m).

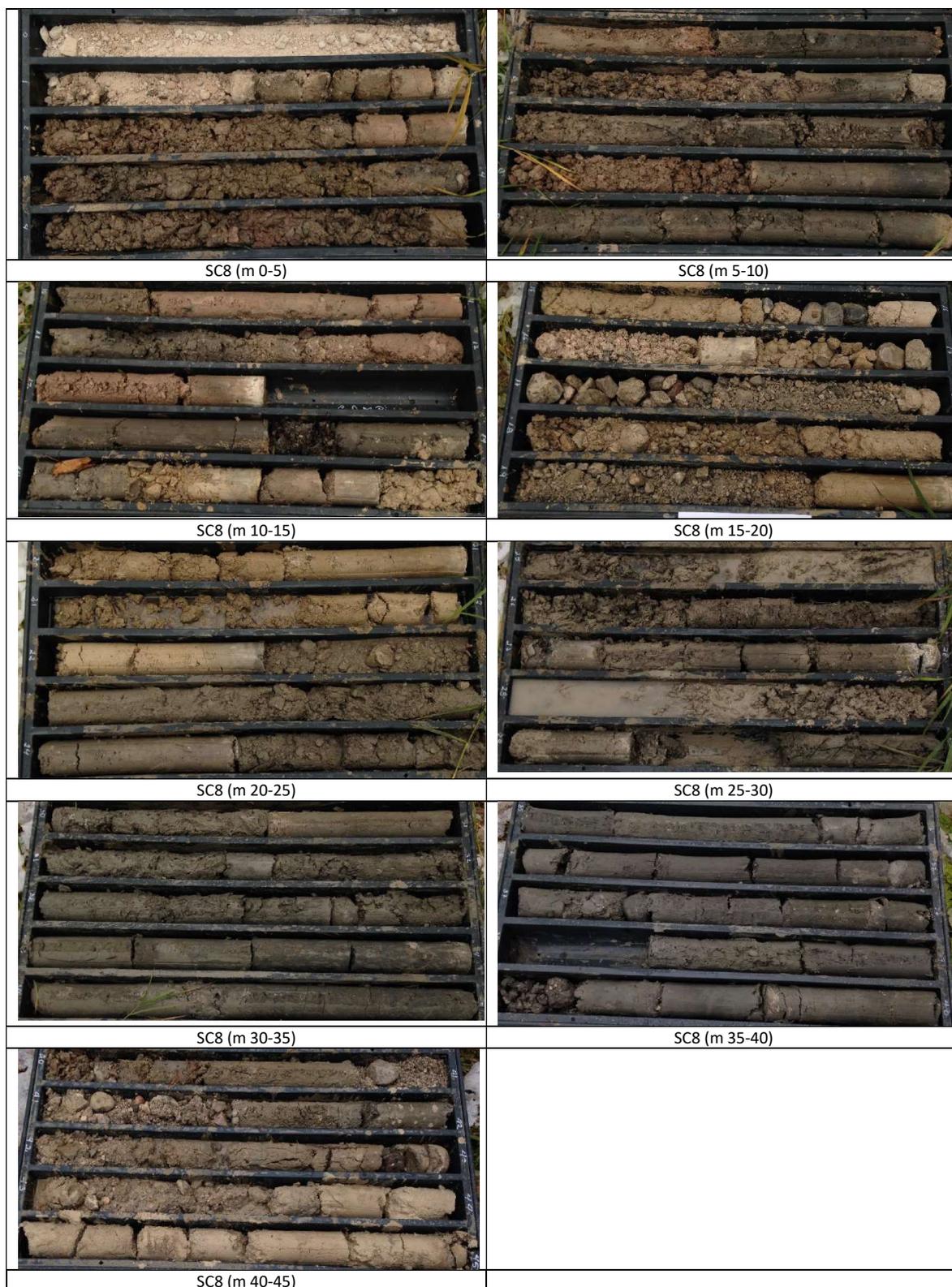


Fig. 32 SONDAGGIO SC8

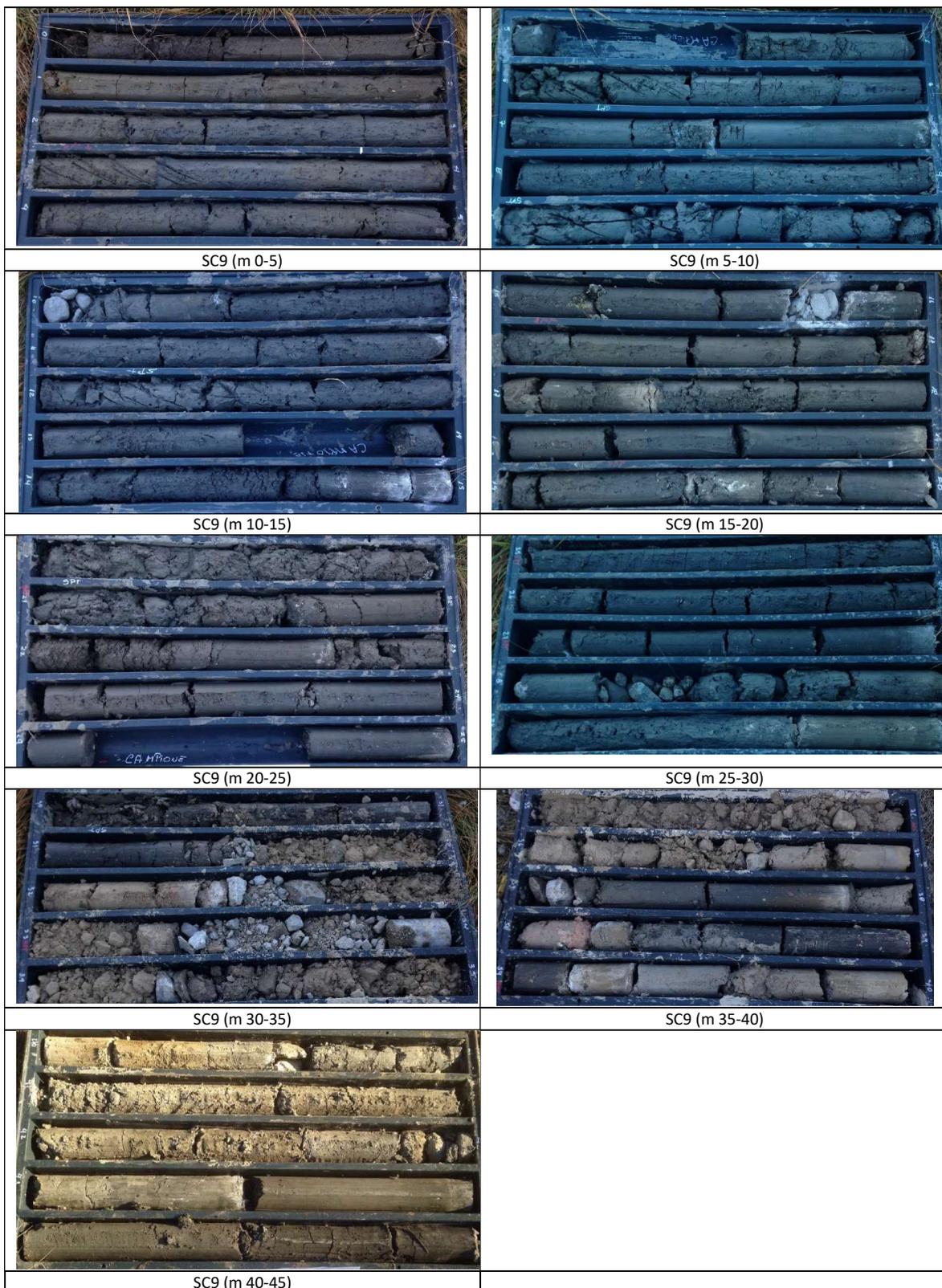
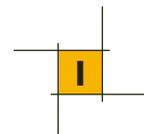
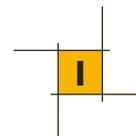


Fig. 33 SONDAGGIO SC9



Il **sondaggio SC9** è ubicato sulla sponda destra del Boite, nei pressi della posizione della futura spalla del ponte e ai limiti della rotatoria di progetto.

Il sondaggio ha attraversato un grosso accumulo di materiale prevalentemente argilloso, con ghiaia sparsa ma in percentuali molto basse, fino alla profondità di circa 30m. I materiali si distinguono in profondità per una diversa colorazione (generalmente sempre verso il grigio), e per i valori di N_{SPT} che rimangono generalmente inferiori a 10 nei primi 12-13m (un valore di $N_{SPT} = 20$ a 9m, ma di nuovo $N_{SPT} = 9$ a 12m) e poi aumentano gradualmente in profondità con valori quasi sempre superiori a 50. Dal punto di vista granulometrico questo grosso accumulo può essere attribuito alla sub-unità 1a.

A partire da 31.5 m vengono attraversate ghiaie fino a 43m, intervallate da uno strato limo argilloso tra 37 e 39m. Da 43 a 45m (fondo foro) si attraversano nuovamente argille limose grigio scure con ghiaia fine, che potrebbe rappresentare ancora una intercalazione della sub-unità 2.

Per quanto riguarda il **versante Crignes**, per ora non è stato eseguito il sondaggio SC10, quindi per la ricostruzione della geologia di sottosuolo di questa zona si fa riferimento al sondaggio SC9 prima descritto, che è ubicato nella parte bassa del versante interessato dal movimento franoso quiescente di cui si è discusso in precedenza.

La porzione di terreno che è interessata dai movimenti (considerati quiescenti secondo lo studio CNR) dovrebbero essere i primi 10-12m, dove il sondaggio SC9 ha misurato valori di resistenza penetrometrica relativamente bassi. Del resto la superficie di scorrimento di questa frana non può trovarsi al di sotto della quota del torrente Boite (è ovviamente possibile che ci siano antiche superfici di scorrimento a quote inferiori, ma queste si riferiscono a condizioni topografiche e geomorfologiche alquanto diverse da quelle attuali). La profondità indicata di 10-12m rispetto alla quota di boccaforo del sondaggio SC9 corrisponde appunto all'incirca alla quota di fondovalle del Boite.

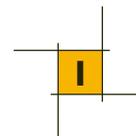
4.3. Geomorfologia e condizioni di stabilità

Il quadro geomorfologico di area vasta delineato nel precedente capitolo, riferito all'intero territorio comunale, è alquanto articolato e complesso.

Come già descritto, la Conca di Cortina è caratterizzata da una forte franosità, antica e attuale, in relazione alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e tettoniche nonché alle particolari condizioni climatiche in cui l'area è stata soggetta nel corso del Quaternario.

Dal punto di vista dell'evoluzione geomorfologica, la conca di Cortina ha rappresentato durante l'ultima glaciazione la zona di confluenza di più ghiacciai con la conseguente formazione di lingue glaciali e conseguenti effetti di glacioppressione che hanno negativamente influito sulla stabilità dei versanti.

A questa condizione si deve riferire la presenza di potenti accumuli di detriti grossolani e di frana mobilizzati nell'immediato post-glaciale per effetto dello scioglimento dei ghiacciai.



I fenomeni gravitativi attuali si presentano principalmente come scivolamenti rotazionali e traslativi o colamenti per lo più lenti che coinvolgono antichi depositi di frana, eventualmente solo nelle porzioni più superficiali.

Dove sono presenti detriti e la pendenza è elevata la franosità si esplica con fenomeni di debris flow che alimentano conoidi talora di notevole spessore e dimensioni; l'attivazione è legata a intensi eventi piovosi.

I fenomeni di debris flow interessano però le zone a quota più elevata della conca ampezzana.

Sulla base delle analisi di area vasta descritte nel precedente capitolo vanno esaminate nel dettaglio, per valutare le interferenze con le opere in progetto, le due frane già ampiamente descritte in precedenza:

- la colata di Lacedel Mortisa in sponda destra del Boite;
- il piede della frana quiescente di Cortina in sponda sinistra.

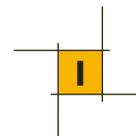
La **frana di Lacedel Mortisa** (nel suo inquadramento più ampio) viene interessata solo nella parte iniziale del tracciato, con la rotatoria 2, l'asse 1 e la spalla A del ponte sul Boite, al piede del versante in località Crignes. Nel quadro delineato in precedenza le opere ricadono al di fuori della colata di frana attiva (corpo di frana 2 della fig. 12, classe di rischio L3 della fig. 17 e area P3 del PAI), ma all'interno dell'area classificata L2 nella mappatura di fig. 17 e P2 del PAI.

I controlli effettuati sul campo hanno in effetti evidenziato che l'attraversamento del torrente Boite avviene a monte (rispetto al corso del Boite) della zona dove sono stati rilevati i movimenti del fronte della colata attiva (l'attraversamento avviene a monte della traversa ripresa nella foto 8). La spalla A del ponte sul Boite e la rotatoria ricadono quindi in un'area, adiacente a quella del Condominio Crignes, che non mostra evidenze o segni di lesioni nei fabbricati, anche se le misure satellitari elaborate nello studio CNR-IRPI individuano movimenti lenti anche in questa zona. Nell'analisi del rischio commentata in precedenza, l'assenza di lesioni è stata attribuita alle caratteristiche cinematiche di questi movimenti, molto lenti e legati a traslazioni in solido su superfici profonde ben delimitate. L'attribuzione ad una classe di rischio media è da attribuire alla bassa velocità degli spostamenti (che non può portare ad eventi catastrofici) piuttosto che ad una quiescenza del movimento.

Si tratta quindi di un movimento dalla geometria e cinematismo complessi (che IFFI cataloga nel campo delle DGVP) per il quale, dopo alcuni decenni di studio, non si è ancora riusciti a delinearne il comportamento di dettaglio.

La possibilità che il presente studio, mirato alla progettazione della strada, possa portare ad una completa e dettagliata analisi del fenomeno appare quindi poco realistica.

Sicuramente si dovrà evitare che la nuova infrastruttura possa contribuire a peggiorare le condizioni di equilibrio di questa area e che l'infrastruttura stessa non subisca lesioni tali da comprometterne la funzionalità.



Per tali scopi è stata prevista una campagna di indagini che in questa zona prevede l'esecuzione di due sondaggi profondi entrambi da allestire con inclinometro (SC9 e SC19). Come detto in precedenza, il sondaggio SC9 ha individuato uno spessore di terreni poco consistenti di 10-12m che potrebbero corrispondere allo spessore della colata di frana mobilizzata in epoche storiche (e oggi quiescente). La superficie di scorrimento dovrebbe venire a giorno all'incirca al piede del Boite.

Al di sotto di tale colata si rinvencono ancora materiali caotici attribuibili a vecchie frane, attive quando le condizioni morfologiche erano molto diverse da quelle attuali (cioè quando l'incisione del Boite era molto più approfondita rispetto all'attuale).

Le misure inclinometriche su questo sondaggio sono ad oggi relative solo alla misura iniziale ("zero" strumentale) e si potranno ottenere maggiori informazioni sul grado di attività di questa frana quando saranno disponibili misure estese perlomeno su un ciclo stagionale.

Il sondaggio con inclinometro SC10, ubicato nella zona del condominio Crignes, non è ancora stato eseguito a causa della mancanza dei permessi necessari per l'accesso nella postazione. I risultati di questo sondaggio (e delle relative misure inclinometriche) potranno fornire ulteriori informazioni su questa zona.

La realizzazione della rotatoria 2 e dell'asse 1 di progetto non comporta modifiche sostanziali della morfologia del terreno: i rilevati della rotatoria sono relativamente contenuti e gli scavi dell'asse 1 molto modesti. Si prevede tuttavia di adottare accorgimenti molto cautelativi con opere di sostegno e di consolidamento dello scavo a valle del condominio di entità decisamente superiore a quelli che si sarebbero resi necessari in condizioni normali. L'impiego di tirantature e di drenaggi è da considerare come l'opzione più adeguata.

Emerge anche l'opportunità di estendere tali interventi a zone esterne alla ristretta fascia di pertinenza stradale (ad esempio con un sistema di trincee drenanti nella zona a monte della rotatoria), ma questo approccio necessita di un coordinamento con l'amministrazione comunale per la gestione dei terreni interessati.

La **zona in sponda sinistra del Boite** merita un'analisi particolare anche se questa appartiene al piede di una frana molto antica da considerare oggi stabilizzata (antica frana di Cortina).

Il tracciato di progetto taglia per un lungo tratto a mezza costa proprio il piede di questo accumulo di frana antico. Le osservazioni geomorfologiche, già commentate in precedenza, fanno riconoscere un orlo di scarpata arretrato rispetto all'attuale corso del Boite (forse legato ad una antica attività erosiva del fiume) con una zona terrazzata a valle del ciglio poco più in alto del Boite. Potrebbe trattarsi di un antico terrazzo alluvionale, ma è verosimile che si tratti di una zolla di un'antica frana roto-traslativa legata alla "battuta" erosiva del vecchio corso del Boite, spinto verso la sponda sinistra dalla colata di Lacedel in sponda destra. Sulla scarpata i materiali (di natura argillosa) mostrano delle irregolarità morfologiche forse riconducibili a fenomeni di creep. A monte del ciglio il versante è regolare, poco acclive e curato a prato.



Foto 9-10 Il piede del versante sinistro del Boite attraversato a mezza costa dal tracciato

L'area indicata dal PAI come P2 ricade invece in una zona coperta da fitta vegetazione anche di alto fusto e quindi non consente un'analisi dei caratteri geomorfologici. L'area vegetata termina a monte con un ciglio arcuato a ridosso di alcune abitazioni. Sul ciglio sono ben evidenti i segni di un movimento rotazionale che ha formato una scarpata arcuata, con lesioni della pavimentazione asfaltata e una zona di abbassamento di alcuni decimetri. Si evidenzia quindi la presenza di un dissesto rotazionale il cui corpo è coperto dalla vegetazione mentre la nicchia di distacco arriva a ridosso delle abitazioni. Il meccanismo è analogo a quanto probabilmente è successo in passato in questo tratto di versante (compreso quello prima descritto) ed è verosimilmente legato ad una antica erosione spondale del Boite che ha portato ad un arretramento della sponda con la formazione di pendenze accentuate, non compatibili con la natura argillosa (e caotica trattandosi di una vecchia frana) dei terreni.



Foto 11 La zona vegetata sulla sponda sinistra del Boite (area P2) Foto 12 La nicchia di frana ai margini dell'edificio

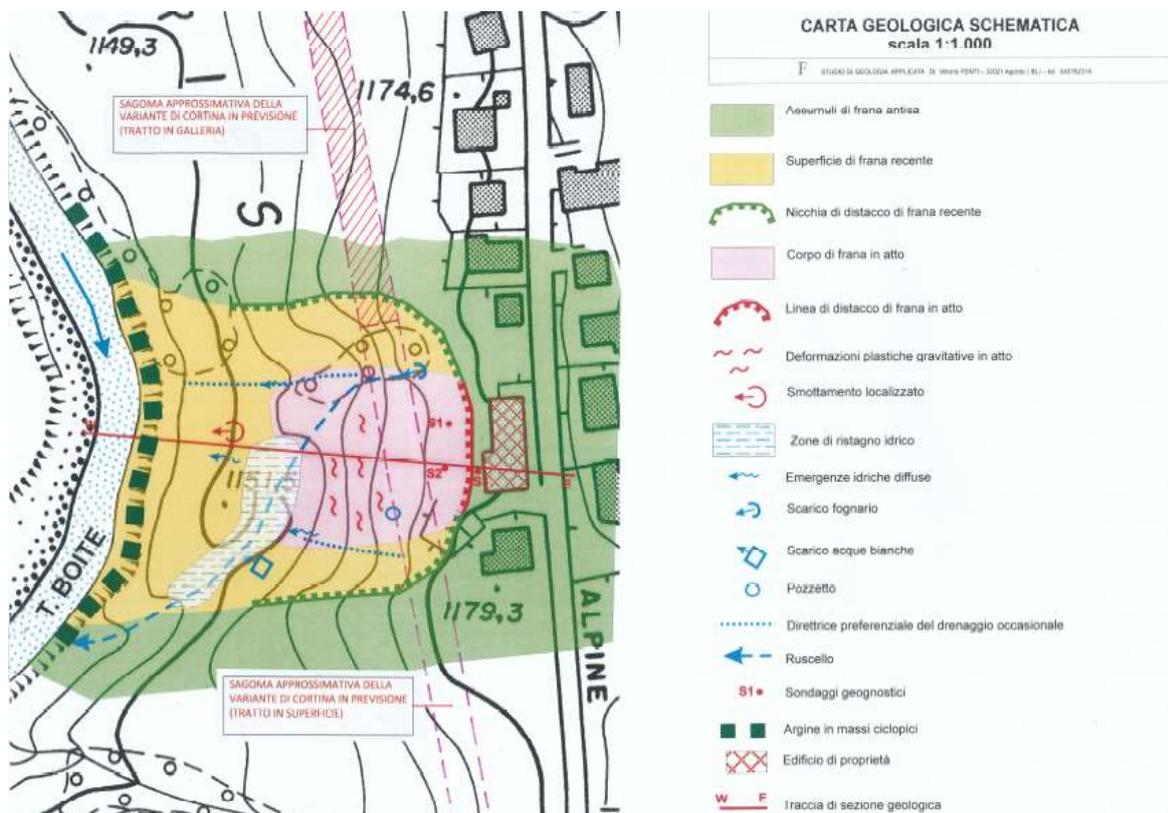


Foto 13 Il ciglio della zona in dissesto vista dal lato Belluno



Foto 14 Uno degli inclinometri installato

In questa area è stato trasmesso dai proprietari uno studio geologico del Dott. Fenti relativo ai fenomeni franosi che hanno interessato questo settore e contenente alcune ipotesi di intervento per la loro stabilizzazione (di cui si riportano alcuni stralci). Lo studio ha previsto anche un monitoraggio con inclinometri. Dalla documentazione della perizia geologica del Dott. Fenti, consulente dei proprietari, si ricava che il dissesto rotazionale si è innescato per riattivazione di un antico movimento franoso (in linea quindi con quanto detto finora) e che ha subito un aggravamento negli ultimi due anni.



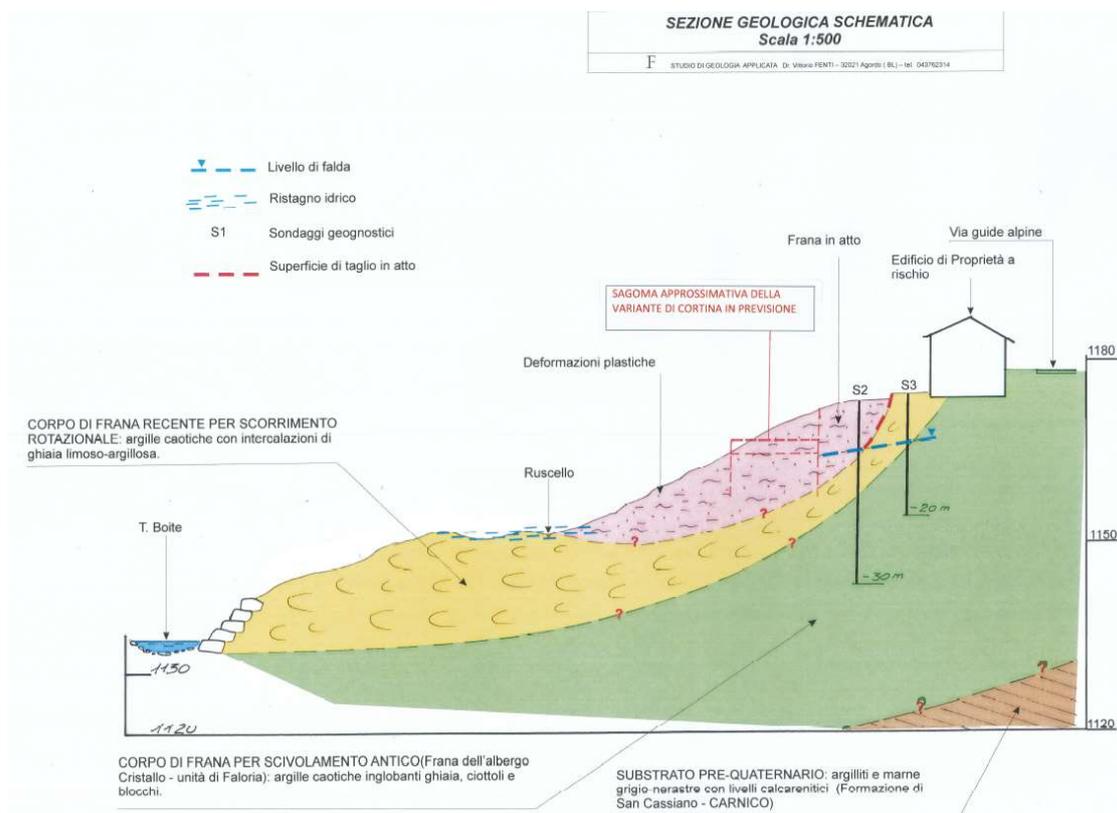
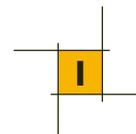


Fig. 30 stralcio cartografico e sezione geologica dello studio del Dott. Fenti

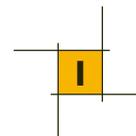
Dei tre sondaggi eseguiti, i due ubicati sulla parte ribassata dal corpo di frana evidenziano la presenza di un cospicuo spessore di materiale di riporto (da 5 a 7m) sovrapposto ai sottostanti terreni argillosi eterogenei appartenenti alle vecchie frane; in profondità i terreni diventano a grana più grossolana, ma con potenti intercalazioni di argille (stratigrafia analoga a quanto finora accertato con le indagini eseguite nelle zone vicine per il presente progetto).

La sezione geologica del Dott. Fenti indica un corpo di frana rotazionale della lunghezza di circa 50m con spessori (forse accertati con un sondaggio) di circa 8m poco a valle del ciglio di distacco e che arriva ad un massimo (ipotizzato) di circa 13m nel tratto mediano (spessori ricavati graficamente). Le verifiche di back analysis riportate nella relazione individuano però una superficie di scorrimento a 5-6m di profondità.

I due sondaggi sul corpo di frana indicano spessori di 5-7m di materiale di riporto ribassati dalla frana (non è da escludere che la presenza di un terrapieno abbia influito negativamente sulla stabilità del pendio).

Le misure inclinometriche non forniscono dati certi, ma sembrerebbero evidenziarsi movimenti superficiali (a 5-6m) e profondi (a 19m); i valori degli spostamenti sono tuttavia troppo piccoli per considerare i dati affidabili.

Nello studio del dott. Fenti sono state rilevate numerose emergenze di acqua al piede della frana e non si può escludere a priori che una cattiva regimazione delle acque superficiali (e forse anche perdite da condutture) possano aver peggiorato le condizioni. Il dott. Fenti suggerisce in effetti di intervenire con "regimazione delle



acque di scarico a valle dell'edificio ed allontanamento delle stesse tramite adeguate tubazioni di scarico". La presenza di livelli piezometrici elevati è indicata come una delle cause predisponenti il fenomeno franoso. Si suggerisce inoltre di realizzare una struttura con micropali disposti "a cavalletto".

Per questa zona il piano delle indagini proposto per il presente progetto ha previsto l'esecuzione di un sondaggio profondo 30m attrezzato con inclinometro (SC2). Il sondaggio è ubicato in asse al tracciato dove si dovrebbero attraversare gli spessori maggiori del corpo di frana. Come detto in precedenza, il sondaggio ha attraversato uno spessore di materiali caotico e poco addensato, riconducibile al materiale mobilizzato dalla recente frana, poco superiore alla decina di metri, quindi in accordo con la ricostruzione del dott. Fenti.

Le soluzioni adottate per la realizzazione del tracciato stradale, che in questo tratto si sviluppa a mezza costa in rilevato, hanno tenuto conto dei risultati di questa indagine.

Si è previsto di fondare il muro di sottoscarpa del rilevato su pali di grande diametro e di inserire una paratia di pali a monte del rilevato anche se gli scavi sono molto modesti o del tutto assenti.

Interventi di drenaggio e di tirantatura sono da ritenersi necessari per il sostegno delle spinte dei terreni e sono da considerare propedeutici alla realizzazione di una profonda bonifica del piano di appoggio del rilevato, necessaria per sostituire la parte più superficiale e rimaneggiata del corpo franoso.

Tale approccio è finalizzato alla realizzazione di un vero e proprio consolidamento della zona in frana, con ovvii benefici per i fabbricati ubicati a monte i quali, nelle condizioni di instabilità accertate, si troverebbero nelle condizioni di dover comunque realizzare un intervento di consolidamento del versante a valle degli edifici. La paratia di pali (di grande diametro e tirantata) prevista in progetto a monte della strada, di fatto raggiungerebbe lo stesso obiettivo delle ipotesi del dott. Fenti, ma con una maggiore affidabilità avendo adottato paratie di pali di grande diametro, di rigidità ben superiore a quella dei micropali.

La profonda bonifica del piano di appoggio del rilevato e la realizzazione di fondazioni su pali per il muro di sottoscarpa, oltre agli interventi di drenaggio, contribuiranno ad aumentare i coefficienti di sicurezza globali e locali del pendio.

Le condizioni geomorfologiche delineate per tutto il tratto a mezza costa, caratterizzate da movimenti di "creep" oltre che da vecchie frane, suggeriscono di estendere all'intero tratto di strada mezza costa gli interventi di sostegno, consolidamento e drenaggio.

Il tratto da considerare critico è l'intero settore della sponda sinistra del Boite che va dalla confluenza del Bigontina fino alla zona finale del tracciato.

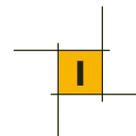
In questo tratto le tre prove penetrometriche hanno individuato terreni scadenti per i primi 5 metri che sono quelli possono essere soggetti a movimenti di pendio, soprattutto in concomitanza dei periodi più piovosi. Per tale motivo si adotteranno particolari cautele nella progettazione della galleria artificiale, con una struttura in grado di sostenere spinte di materiali scadenti. Sono sicuramente da prevedere opere di drenaggio del sottosuolo. Condizioni di equilibrio precario sono da evidenziare in particolare nel tratto di

versante più vicino al Torrente Bigontina. La foto successiva mostra i segni evidenti di un movimento franoso che ha provocato una frana rotazionale di cui rimangono sul terreno i segni del coronamento della frana oltre che indizi dei movimenti subiti. Le evidenze geomorfologiche suggeriscono che questo dissesto possa essere, almeno parzialmente, ancora attivo.

Si tratta della zona rappresentata nelle foto storiche prima commentate e che si ripropongono nel seguito per confronto.



Fig. 31 Confronto della zona di confluenza del torrente Boite nella situazione attuale e in una foto del 1865.



La freccia blu riportata nella foto indica la posizione della spalla in sponda sinistra del nuovo ponte sul Bigontina.

Il fatto che la zona risulti ora coperta da vegetazione (rispetto alle foto storiche) non deve far sottovalutare la criticità di questo settore che verrà sottoposto a scavi importanti per la realizzazione della spalla del nuovo ponte, oltre che a interventi di sostegno e sottoscampa per la realizzazione del successivo tratto a mezza costa. Tale situazione impone una particolare cautela per la realizzazione degli scavi, anche di tipo provvisorio, che dovranno essere adeguatamente sostenuti con opere strutturali.

4.4. Condizioni idrogeologiche del sito

La rete idrografica superficiale principale è costituita dal Torrente Boite e dal suo affluente di sinistra il Torrente Bigontina, entrambi scavalcati dal tracciato con altrettanti ponti. Entrambi i corsi d'acqua scorrono profondamente incisi nei depositi detritici quaternari e costituiscono elementi drenanti rispetto al contesto.

La presenza di materiali a grana fine, almeno nelle porzioni superficiali, non favorisce la presenza di falde acquifere; tuttavia la struttura caotica potrebbe favorire la presenza di circolazioni idriche all'interno di lenti, anche molto estese, di materiali a grana medio-grossa mediamente permeabili. Il deflusso sotterraneo lungo i livelli a maggior permeabilità è comunque condizionato dal drenaggio provocato dalle incisioni torrentizie. In queste lenti poste in profondità possono crearsi acquiferi in pressione rispetto al livello basale corrispondente al corso del Torrente Boite.

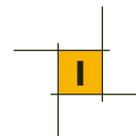
I risultati delle misure piezometriche finora eseguite sono riportati nella tabella successiva.

Piezometro	03/08/2017 prof. (m)	25/8/2017 prof. (m)	20/9/2017 prof. (m)	10/10/2017 prof. (m)	16/10/2017 prof. (m)	24/10/2017 prof. (m)
SC1	9.70	9.70	9.70			
SC3				6.80	6.90	6.80
SC4					8.30	NP
SC5						NP
SC7	20.00	9.00	17.60			

Le misure del piezometro SC7 sono da ritenere dubbie in quanto si riscontrano differenze molto accentuate su periodi molto brevi. Anche l'unica misura eseguita sul piezometro SC5 così come la seconda misura del piezometro SC/, che non ha rilevato la falda, sono da ritenere molto dubbie. Le altre misure indicano livelli idrici relativamente profondi, corrispondenti all'incirca alle quote del torrente Boite.

Per i motivi descritti in precedenza, il controllo dei livelli piezometrico nell'ambito delle analisi di rischio per le condizioni di equilibrio dei versanti è da considerare un elemento imprescindibile per il corretto inserimento delle opere nel territorio.

Indipendentemente dai valori riscontrati con le prime misure piezometriche, è da prevedere comunque l'inserimento di interventi di drenaggio in tutti i tratti in cui il tracciato interseca a mezza costa il pendio.



4.5. Modello sismico

Nell'ambito delle indagini finora eseguita è stata realizzata una prova down-hole nel foro SC6, mentre il foro SC8 è stato attrezzato per la prova, ma essa non è stata ancora eseguita.

La prova eseguita nel sondaggio SC6 mostra un aumento dei valori di Vs abbastanza graduale fino a circa 18-20 m di profondità (con valori compresi tra 100 e 300 m/s circa); quindi si individua un netto cambio di velocità, sia delle onde di taglio che di quelle di compressione. A questa profondità corrisponde in effetti il contatto tra i materiali prevalentemente argillosi e un complesso di ghiaie anche con trovanti e blocchi.

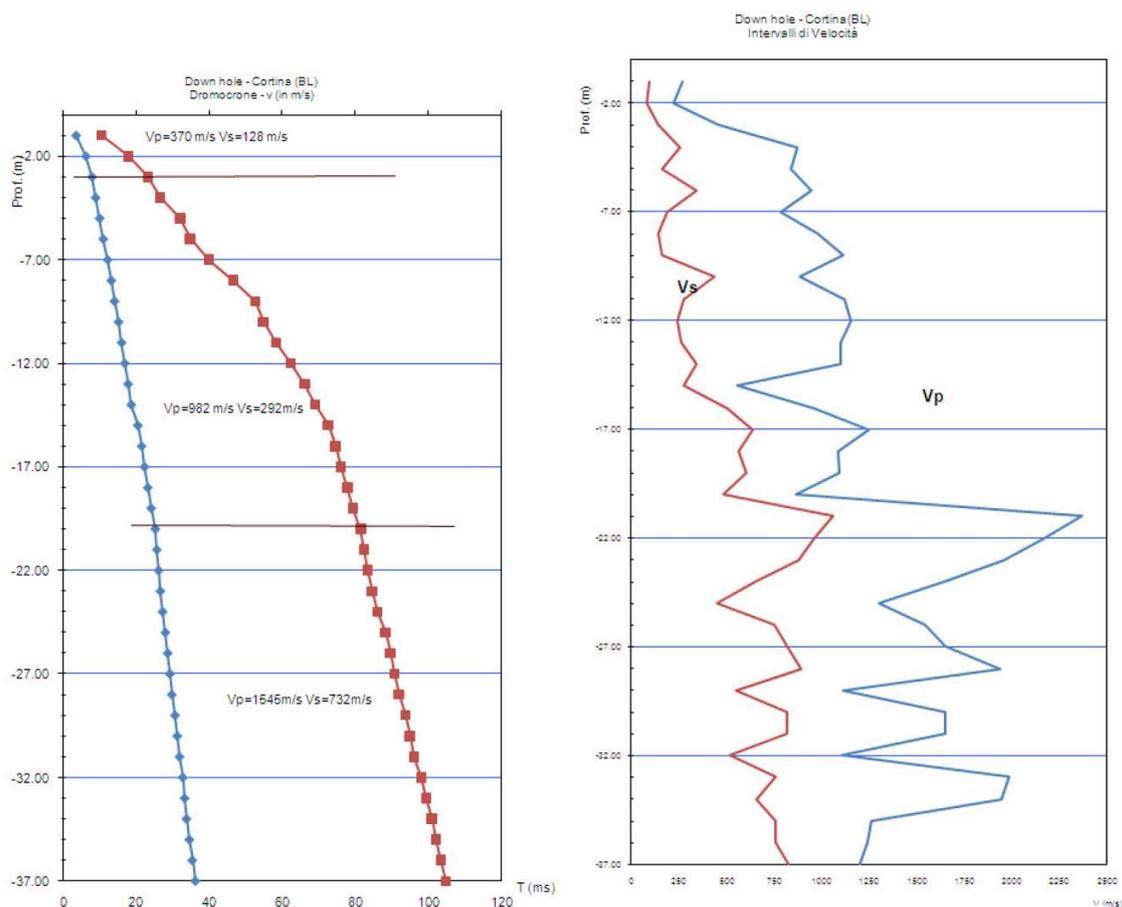
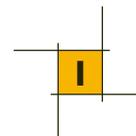


Fig. 32 Prova down-hole nel sondaggio SC6

Il valore di V_{S30} che si ricava da questa prova è di 289 m/s se si riferisce al p.c. e 322 m/s se si riferisce alla profondità di 1m dal p.c..

Il sito può quindi essere classificato in **categoria C** e questa classificazione può essere cautelativamente estesa a tutti i siti di progetto. La **categoria topografica** può essere indicata nella classe **T1**.

Con questi dati potranno ricavarsi i vari spettri sismici di progetto a seconda delle varie condizioni progettuali e delle tipologie di opere.



5. BIBLIOGRAFIA

DATI DI LETTERATURA

APAT *Note Illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 029 Cortina d'Ampezzo.*

APAT IFFI – Baglioni A. (2007) *Analisi del dissesto in veneto e valutazione della pericolosità da frana per la redazione e l'aggiornamento dei Piani di Assetto Idrogeologico. Roma 13-14 novembre 2007*

Bossi G., (2015) *Statistical analysis of the error associated with the simplification of the stratigraphy in geotechnical models.* Tesi di Dottorato di Ricerca in Ingegneria Civile, Ambientale e dei Materiali Ciclo XXVII Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

Bossi G., Marcato G., Pasuto A., Borgatti L. (2014). *Addressing ground lithological variability for numerical modelling through a stochastic approach: the Mortisa landslide case study (Cortina d'Ampezzo, Italy).* GIT – Geology and Information Technology 9a Riunione del Gruppo di Geologia informatica - Sezione della Società Geologica Italiana Montefalco (PG), 16 – 18 giugno 2014

Bossi G., Mantovani M., Frigerio S., Schenato L., Marcato G., Pasuto A. (2016) *A Monitoring Network to Map and Assess Landslide Activity in a Highly Anthropized Area.* Geosciences

Bossi G., Marcato G., Gottardi G. Borgatti L.. (2016) *Using of the Boolean Stochastic Generation method to target field investigations: the Mortisa landslide (eastern Italian Alps) case study.* Geophysical Research Abstracts Vol. 18, EGU2016-7834, 2016 EGU General Assembly 2016

Cola S., Mantovani M., Marcato G., Pasuto A. (2011) *Modelling Mortisa large slow-moving landslide (Northern Italy) through geomorphological analysis.* Geophysical Research Abstracts Vol. 13, EGU2011-7728, 2011 EGU General Assembly 2011

de Thierry M. (1954) *Studio di una frana nella conca di Cortina d'Ampezzo.* Rivista GEOTECNICA 3-93.

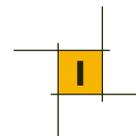
Panizza M, Zardini R. (1986). *La frana su cui sorge Cortina d'Ampezzo (Dolomiti, Italia).* Mem. Sc. Geol. Vol. XXXVIII, pagg. 415-426

Panizza, M., Pasuto, A., Silvano, S., Soldati, M., (1996). *Temporal occurrence and activity of landslides in the area of Cortina d'Ampezzo (Dolomites Italy).* Geomorphology 15, 311 –326.

Panizza, M., Pasuto, A., Silvano, S., Soldati, M., (1997). *Landsliding during the Holocene in the Cortina d'Ampezzo Region, Italian Dolomites.* Palaeoclimate Research 19, 17–31.

Pasuto, A., Siorpaes, C., Soldati, M., (1997). *I fenomeni franosi nel quadro geologico e geomorfologico della conca di Cortina d'Ampezzo (Dolomiti, Italia).* Il Quaternario 10 (1), 75– 92.

Pasuto, A., Schrott, L. (1999). *Temporal Stability and Activity of Landslides in Europe with Respect to Climatic Change (TESLEC).* Geomorphology, vol. 30 (1 – 2). Elsevier, Amsterdam, pp. 1 – 212. Special Issue.



Pasuto, A., Soldati, M., (1999). *The use of landslide units in geomorphological mapping: an example in the Italian Dolomites*. *Geomorphology* 30 (1–2), 53– 64.

Picarelli – AGI (2003). *Occurrence and mechanisms of flow-like landslides in natural slopes and earthfills*. Sorrento, May 14-16, 2003.

Soldati M., Corsini A., Pasuto A. (2003). *Landslides and climate change in the Italian Dolomites since the Late glacial*. Elsevier

Soldati M. (2004). *Geomorphology and Slope Instability in the Dolomites (Northern Italy): from Lateglacial to Recent Geomorphological Evidence and Engineering Geological Applications* 3rd International Congress. Florence Italy 20-28 Agosto 2004

STUDI E INDAGINI IN ZONE LIMITROFE E ALTRA DOCUMENTAZIONE

- ✓ *DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE n. 3669 del 20 novembre 2007 Legge 3 agosto 1998 n 267 Studio della frana di Mortisa (Cortina d'Ampezzo - BL)*
- ✓ *CNR-IRPI (2010). Studio dei movimenti franosi in prossimità degli abitati di Lacedel, Val e Mortisa in Cortina d'Ampezzo (Convenzione tra il Comune di Cortina d'Ampezzo ed il Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica Unità di Padova).*
- ✓ *ALLEGATO A Dgr n. 953 del 5 luglio 2011 CONFERENZA PROGRAMMATICA Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) dei bacini idrografici dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave, Brenta-Bacchiglione dell'Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione. PARERE*
- ✓ *Studio geologico e indagini geognostiche per le verifiche sulla fattibilità della costruzione di un parcheggio interrato in Piazza del Mercato. Dott. Geol. E. Colleselli. Committente: Comune di Cortina d'Ampezzo*
- ✓ *Osservazioni alle controdeduzioni al PAI. 7 febbraio 2011. Prot. 2498 del Comune di Cortina d'Ampezzo. Dott. Geol. E. Colleselli, Dott. Geol. C. Siorpaes*
- ✓ *Relazione Geologica e Geotecnica sui terreni interessati da un dissesto in adiacenza all'edificio sito in Via Guide Alpine, n. 104 a Cortina d'Ampezzo. Dott. Geol. Vittorio Fenti – Dott. Geol. Ennio Chiesurin*