

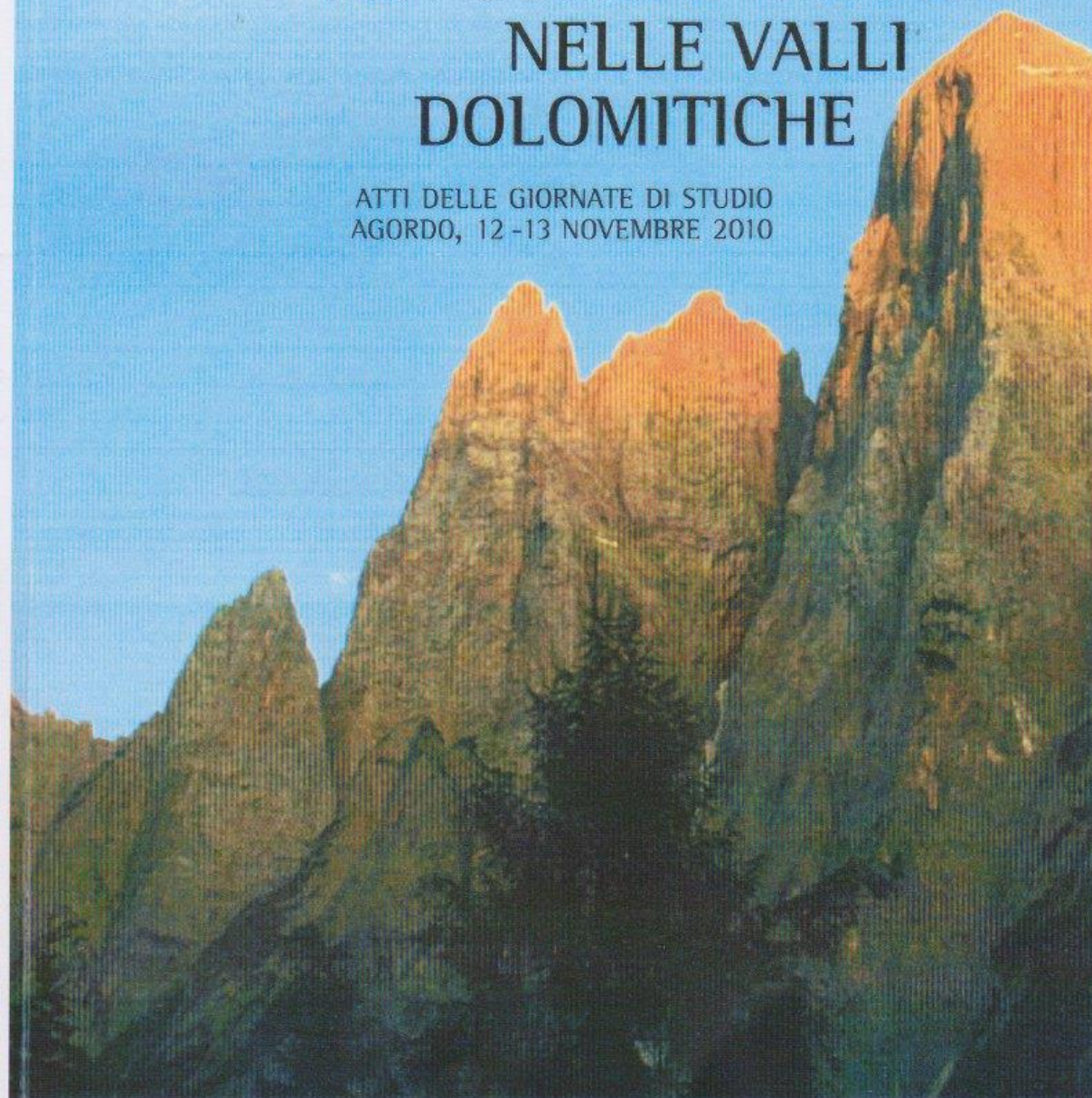
V. FENTI - 2011



Barbara Aldighieri
Bruno Testa

L'ARMONIA FRA UOMO E NATURA NELLE VALLI DOLOMITICHE

ATTI DELLE GIORNATE DI STUDIO
AGORDO, 12-13 NOVEMBRE 2010



INDICE

PRESENTAZIONE.....	pag.	7
<i>Luca Luchetta</i>		
DOLOMITI PATRIMONIO NATURALE DELL'UMANITÀ DOLOMITI UNESCO...	pag.	9
<i>Mario Panizza</i>		
VALUTAZIONE QUANTITATIVA DEI GEOMORFOSITI:		
ESEMPIO "VALLE DI SAN LUCANO"	pag.	21
<i>Alberto Bertini</i>		
VALLE DI SAN LUCANO, ASPETTI GEOMORFOLOGICI.....	pag.	49
<i>Danilo Giordano</i>		
GEOMORFOLOGIA FLUVIALE IN VALLE DI SAN LUCANO:		
IL PROGETTO TEGNAS	pag.	83
<i>Bruno Testa, Barbara Aldighieri</i>		
ECHI SISMICI NELLA VALLE DI SAN LUCANO.....	pag.	113
<i>Grazia Caielli, Roberto de Franco</i>		
LA FLORA ANISICA DELLA VALLE DI SAN LUCANO.....	pag.	131
<i>Evelyn Kustatscher, Danilo Giordano & Alberto Riva</i>		
PALE DI SAN LUCANO:		
ESEMPIO DI IMPORTANZA MONDIALE PER GEOMETRIE DI PIATTAFORMA CARBONATICA E PROBLEMA DELLA DOLOMITIZZAZIONE	pag.	147
<i>Wolfgang Blendinger, Alberto Bertini & Edwin Meissner</i>		
IL MONITORAGGIO DELLE RISORSE IDRICHE IN VENETO:		
L'ATTIVITÀ DI A.R.P.A.V	pag.	187
<i>Giacomo Renzo Scussel, Raffaele Rampazzo</i>		
RISCHIO IDRAULICO NEI CORSI D'ACQUA MONTANI: ESPERIENZE ED INTERVENTI	pag.	197
<i>Alvise Luchetta</i>		
LA CONOSCENZA DEL TERRITORIO: BANCHE DATI E SISTEMI INFORMATIVI TERRITORIALI IL CENTRO SERVIZI TERRITORIALE DI BELLUNO	pag.	207
<i>Giovanni Piccoli</i>		
OPENALP: WEBGIS A INDIRIZZO GEO-TURISTICO PER LA VALORIZZAZIONE DEL PATRIMONIO NATURALE E CULTURALE	pag.	219
<i>Barbara Aldighieri, Luca Luchetta e Bruno Testa</i>		

IL RISCHIO GEOLOGICO INDOTTO DAL CARSISMO NELLE ROCCE GESSIFERE DELLE VALLI DOLOMITICHE BELLUNESI

Vittorio FENTI

Studio Associato di Geologia Fenti e Chiesurin, Agordo (BL)
e-mail: fentigeologia@libero.it

PREMESSA

Ampi settori dell'Agordino e l'intera Regione Dolomitica sono caratterizzati dalla presenza di un substrato di rocce solfatiche che inducono frequenti problemi ad abitati ed infrastrutture.

Nonostante il fenomeno sia abbastanza diffuso, non sembra trovare sempre adeguato riscontro nei tecnici preposti pianificazione territoriale ed alla progettazione stessa delle opere edilizie.

La presente nota intende apportare un contributo, anche se modesto, alla conoscenza di questo singolare fenomeno geologico, allo scopo di sensibilizzare gli addetti ai lavori sui rischi ad esso connesso.

GENERALITÀ

Cenni sull'origine delle rocce solfatiche

Le rocce solfatiche sono costituite in netta prevalenza da gessi ed anidriti, di origine evaporitica, lagunare-costiera o di bacini endoreici.

Tali minerali costituiscono frequenti sequenze di rocce, associate tra loro o a dolomie nerastre, dolomie cariate, argille, marne, calcari marinosi, ecc.

Molto spesso le rocce associate ai litotipi solfatici sono rappresentate da argilliti scure, calcari o dolomie nerastre per la presenza di solfuri e sostanze carboniose che caratterizzano gli ambienti riducenti della sedimentazione originaria (Fig. 1, 2 e 3).

Un'esauriente trattazione su origine, composizione e struttura delle rocce evaporitiche è riportata nei testi di "Sedimentologia" di F. RICCI LUCCHI (1978) e "Rocce e successioni sedimentarie" di A. BOSELLINI *et al.* (1989).



Figura 1 - Complesso evaporitico permiano alla base del Col de Limazei (Valle del Biois).



Figura.2 - Aspetto caratteristico di una sequenza evaporitica (Col de Limazei – Valle del Biois)

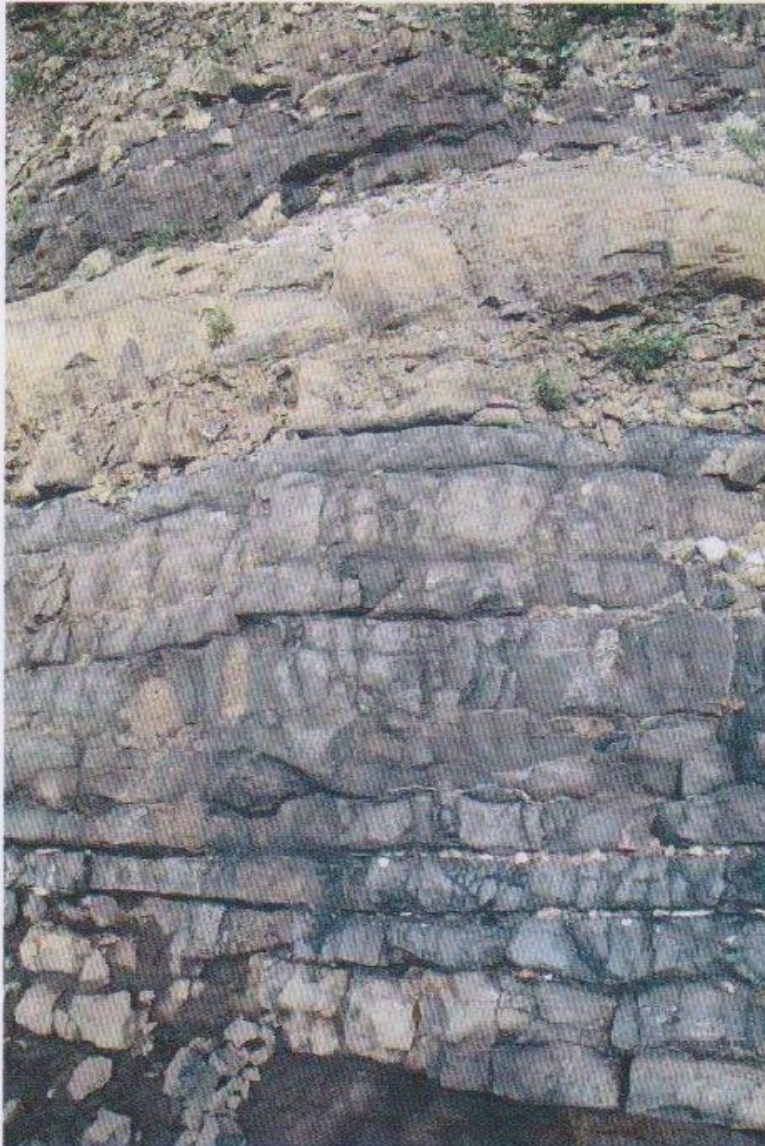


Figura 3 - Calcari bituminosi che chiudono al tetto la sequenza evaporitica permiana (T. Rova, Agordo).

Caratteristiche essenziali di gesso e anidrite

GESSO: $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ – Reticolo: prismatico-monoclinico.

- Peso specifico: $2,35 \text{ g/cm}^3$
- Peso di volume della roccia: $\sim 2,25 \text{ t/m}^3$
- Durezza secondo Mohs: 2
- Colore: biancastro, o grigiastro per impurezze varie.
- Resistenza a compressione semplice: $100\text{-}200 \text{ Kg/cm}^2$ (Fig.4)

ANIDRITE: CaSO_4 – Reticolo: bipiramidale-rombico

Peso specifico: $\sim 2,93 \text{ g/cm}^3$

Peso di volume della roccia: $2,85\text{-}2,90 \text{ t/m}^3$

Durezza secondo Mohs: 3



Figura 4 - Aspetto tipico del gesso saccharoide puro (Agordino).



Figura 5 - Aspetto massiccio dell'anidrite pura (Cadore)

- Colore: biancastro, talora roseo-viola pallido negli ammassi ben cristallizzati.
- Resistenza a compressione semplice: 800-1000 Kg/cm² (Fig.5)

LE ROCCE SOLFATICHE NELL'AGORDINO E NELLA REGIONE DOLOMITICA

Come è noto, i gessi sono rocce caratteristiche della *Formazione a Bellerophon* (Permiano Superiore) che affiora diffusamente nell'Agordino, ove sono accompagnati da calcari bituminosi, calcari marnosi, marne, dolomie cariate, breccie dolomitico-gessifere, ecc.

Le aree di affioramento più note si trovano nella Valle del Biois, ove costituiscono un orizzonte continuo, dal Passo Valles – Passo di S. Pellegrino, a Falcade, Caviola, Vallada.

Vistosi affioramenti si trovano al Passo Valles, nel T. Valles presso Molino, lungo il Rif di Valbona, in località I Marmoi, Sasso della Palazza, lungo il Rif. Marmoladella e il T. Gavon, in loc. Le Marmolade, a Pian di Feder, Le Foche, Val Bodin, Val delle Roe, ecc.

Nel basso Agordino le rocce gessifere permiane affiorano nei dintorni di Frassenè, Voltago ed Agordo.

Nell'alto Agordino affiorano limitatamente nei dintorni di Avoscan, La Sala (S. Tomaso Agordino).

Nel Cadore le rocce gessifere permiane costituiscono parte del substrato di Pieve, Calalzo, Domegge, Lozzo, Vigo e Lorenzago, lungo la Val del Piave.

Abbondanti presso l'abitato di Vallesella.

Ampi affioramenti si trovano in Val Diebba, al Passo di S. Antonio, in Valgrande a nord di Padola (Comelico).

Le rocce solfatiche abbondano anche nella più recente *Formazione di Raibl* (Carnico superiore), ove sono associate ad argille, arenarie, conglomerati e calcari marnosi.

Nell'Agordino le facies solfatiche associate a questa seconda formazione compaiono solo sporadicamente al Passo Duran.

Altrove abbondano, come lungo la valle del T. Rite, a Perarolo di Cadore, alla testata del Rudavoi, al Passo della Mauria, ecc.

Tettonica delle evaporiti gessifere

Come è noto, le evaporiti gessifere, di regola alternate a calcari marnosi, marne, dolomie cariate ed argilliti, costituiscono sequenze fitta-



Figura 6 - A) Evaporiti gessifere permiane ripiegate (Agordino); B) Evaporiti gessifere raibliane ripiegate (Cadore).

mente stratificate ed intensamente ripiegate, caratteristiche dei complessi rocciosi plastici o incompetenti, spesso sede di orizzonti tettonici per scorrimento compressivo o transpressivo. (Fig.6)

EVIDENZE MORFOLOGICHE DELLE ROCCE SOLFATICHE

Gli affioramenti di rocce solfatiche sono rappresentati quasi esclusivamente da facies gessifere (solfato di calcio biidrato).

Ove i gessi affiorano in massa, originano paesaggi calanchiformi, modellati a vallecole e ripide creste in rapida evoluzione morfologica, perché facilmente degradabili, solubili e franosi.

Gli aspetti caratteristici di questa morfologia ruiniforme sono ben visibili in Val Diebba, a Lozzo di Cadore, a Perarolo, al Passo Valles, nei pressi di Molino di Falcade, nel bacino delle Marmolade, in località I Marmoi (il termine dialettale “marmo” stà ad indicare la roccia gessosa pura, bianca come il marmo di Carrara). (Figg.7-8)

La facile degradabilità delle rocce gessifere determina, però, la loro più frequente presenza nei fondovalle, ove sono state facile preda



Figura 7 - Scarpata ruiniforme modellata nei gessi permiani (Valle del Biois).



Figura 8 - Degradazione a calanchi nei gessi permiani (Valle del Biois).

dell'attività demolitrice dei torrenti e dei ghiacciai quaternari. In tali depressioni morfologiche le rocce gessifere sono quasi sempre ricoperte da una potente coltre di terreni sciolti quaternari, quali morene ed alluvioni.

Ne consegue che estese aree a fondovalle, poco inclinate o sub pianeggianti, caratterizzate da terrazzi alluvionali o conoidi di deiezione piatte, morfologicamente favorevoli per gli insediamenti, nascondono un substrato gessifero, suscettibile di carsismo e quindi di dissesto, che si può trasmettere in superficie, a piano di campagna.

Aree di questo genere sono frequenti nella valle del Biois, a S. Tomaso Agordino, Agordo, Voltago, Frassenè, ecc.

Nel Cadore sono frequenti a Perarolo, tra Pieve e Vigo, ad Auronzo, ecc.

Anche sui versanti le rocce gessifere sono spesso ricoperte da coltri moreniche e detritiche, quindi difficilmente riconoscibili.

Nell'Agordino si ricordano i rilievi di Costa delle Formiche, I Zei a nord di Falcade, Malga ai Lach, Dareronch, Sappade, Meneghina, Darecoi, Tabiadon, Costelle, Fagareda, Pisoliva, ecc., ove è difficile identificare in superficie l'esistenza di rocce gessifere (FENTI, 1978-2010; FENTI *et al.*, 2001) (talora è solo la vegetazione arborea stentata che permette di supporre l'esistenza di rocce solfatiche nel sottosuolo).

Rocce solfatiche: gessi o anidriti?

Nella letteratura geologica comune, la *Formazione a Bellerophon* (Permiano Sup.) e la *Formazione di Raibl* (Carnico sup.) risultano costituite da gessi e rocce gessifere associate (argille, calcari, dolomie, marne, ecc.).

Come è noto, sia i gessi che le anidriti possono avere un'origine primaria per sedimentazione evaporitica (precipitazione chimica da una soluzione sovrassatura), ma anche secondaria (il gesso può trasformarsi in anidrite dopo la sua formazione, per diagenesi o per metamorfismo; l'anidrite si può trasformare in gesso per semplice idratazione) (RICCI LUCCHI, 1978).

Normalmente, gli affioramenti superficiali di rocce solfatiche sono costituiti da gesso, cioè da solfato di calcio biidrato, in quanto se l'anidrite originaria viene a contatto con l'acqua, si idrata facilmente, trasformandosi in gesso.

Le numerose indagini effettuate nel corso degli anni nelle valli dolo-



Figura 9 - Aspetto di un banco di anidriti permiane compatte giacenti in profondità, riesumate da recenti scavi.

mitiche hanno dimostrato che le rocce solfatiche originarie, profonde, lontano dal contatto con l'acqua, sono in netta prevalenza costituite da anidrite e scarso gesso (FENTI, 1978-2010; FENTI, 1988-1996).

L'idratazione dell'anidrite

L'anidrite, a contatto con l'acqua, tende ad idratarsi, trasformandosi in gesso, con reazione esotermica e con aumento di volume dal 30 al 60 %, esercitando pressioni elevatissime, incontenibili, sulle rocce al contorno. (Figg. 10-11-12-13-14)

Di conseguenza il gesso subisce una fatturazione e disarticolazione. Se tra i gessi esistono intercalazioni di calcari e dolomie, anche questi subiscono una frammentazione comminuta. La parte superficiale delle rocce solfatiche, sia ricoperte da materiali sciolti o subaffioranti, è sempre molto fratturata.



Figura 10 - Gessi permiani ripiegati, derivanti dall'idratazione di anidridi.

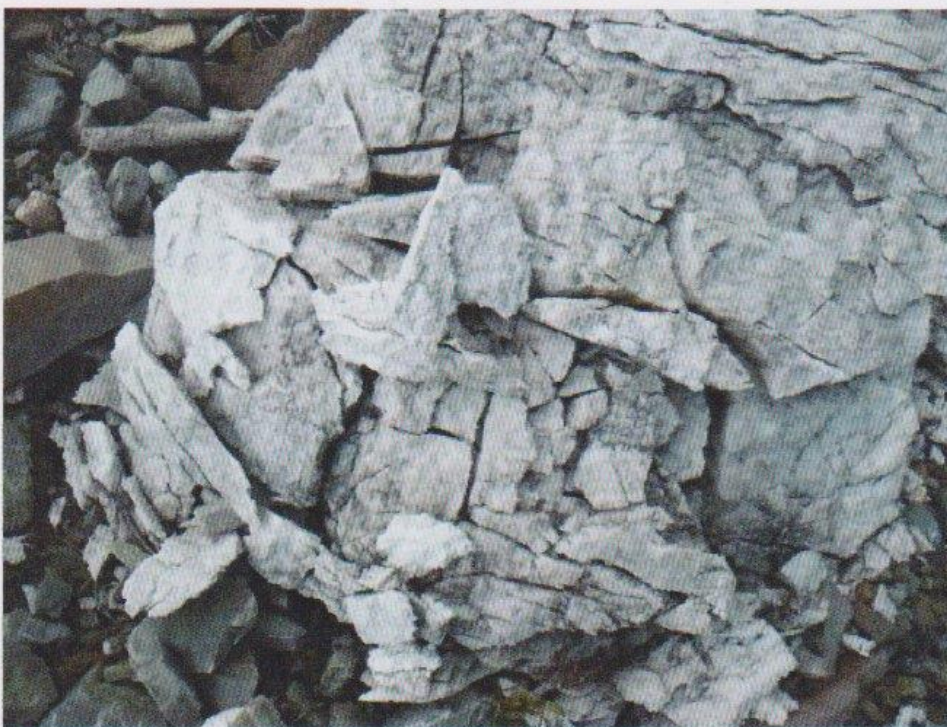


Figura 11 - Gesso frammentario derivante da idratazione di anidrite.



Figura 12 - Gesso frammentario derivante da idratazione di anidrite.



Figura 13 - Versante gessoso originario a monte di Lozzo di Cadore, affetto da estesi dissesti dovuti all'idratazione di anidriti permiane.

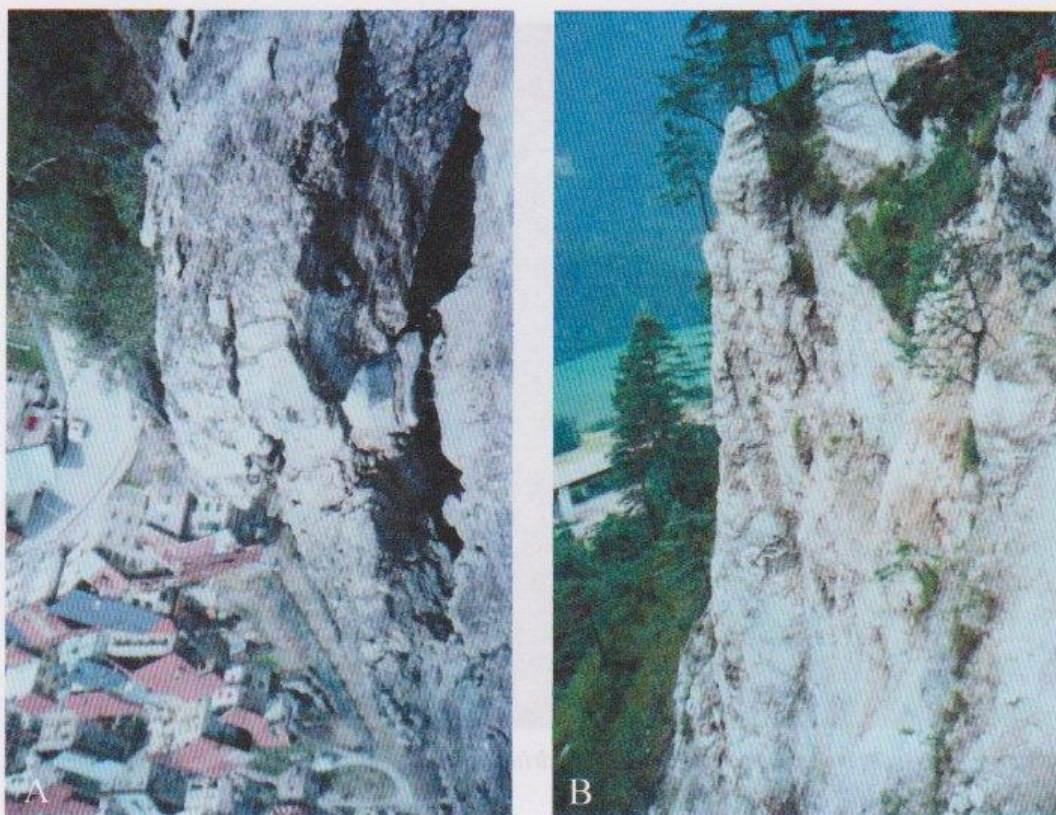


Figura 14 A) e B)- Versante gessoso originario a monte di Lozzo di Cadore, affetto da estesi dissesti dovuti all'idratazione di anidriti permiane, il cui rigonfiamento provocava frequenti dissesti con rischio per l'abitato.

Le acque di circolazione sotterranea nelle rocce solfatiche

Le acque di circolazione sotterranea nelle rocce solfatiche sono spesso ricche in anidride solforosa (SO_2), talora in acido solfidrico (H_2S), gas che si sviluppano presso le sorgenti, ove le acque vengono a giorno, originando il caratteristico odore fetido.

Si osserva, anche, che le sorgenti di acque solfatiche sono spesso accompagnate da più o meno vistosi depositi di travertino, cioè da “calcare di incrostazione”.

Esempi caratteristici sono le sorgenti di Valcozzena (Agordo), di Lagole (Calalzo), dell'Acqua Puzza in Valgrande (a Nord di Padola), ove l'acqua minerale è accompagnata anche da evidenti depositi lattiginosi di zolfo colloidale (FENTI, 1978-2010).

Il processo chimico per cui dalla soluzione di una roccia solfatica si formano incrostazioni calcaree è di seguito schematizzato (a cura del Prof. Luigi Marcuola – ITIM – Agordo).

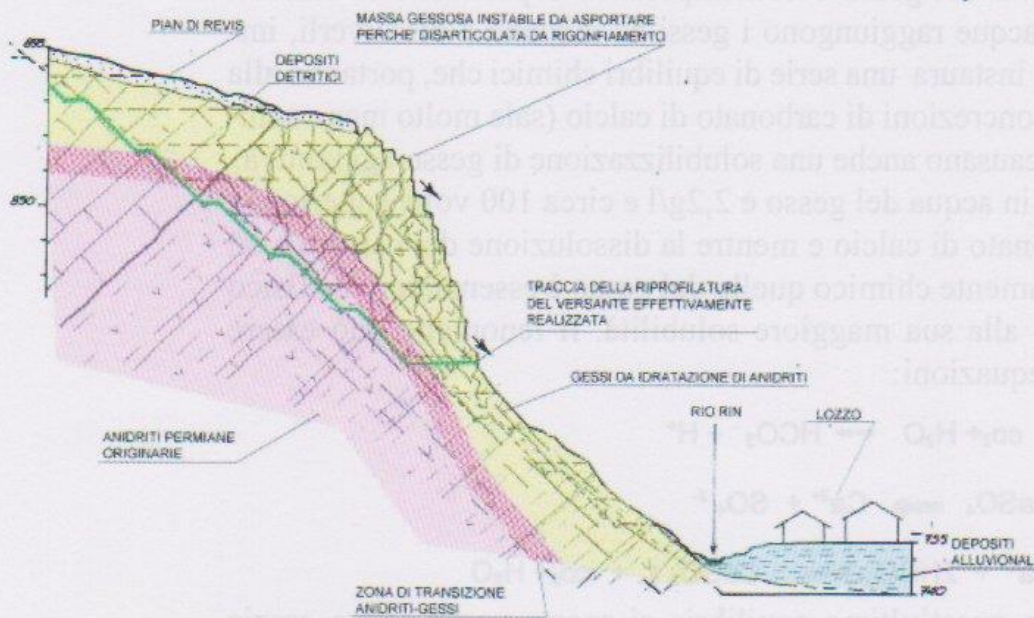


Figura 15 - Complesso evaporitico permiano alla base del Col de Limazei (Valle del Biois).

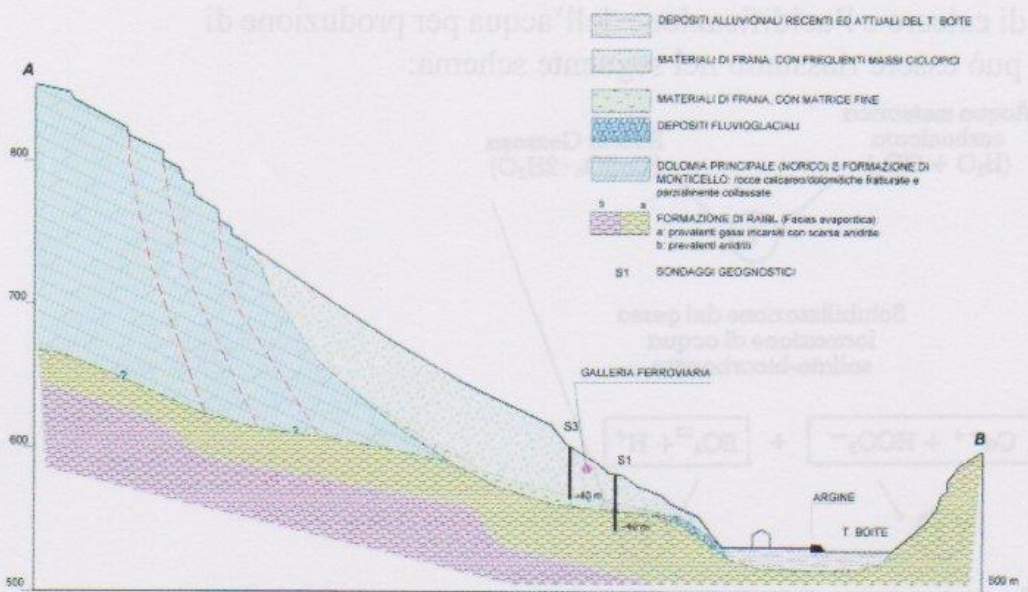
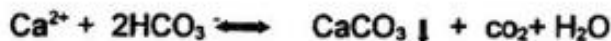


Figura 16 - Aspetto caratteristico di una sequenza evaporitica (Col de Limazei – Valle del Biois).

La presenza di anidride carbonica nelle acque di infiltrazione può causare dissolvimento del gesso e contemporanea deposizione di calcare. Quando queste acque raggiungono i gessi ed iniziano a dissolverli, immediatamente si instaura una serie di equilibri chimici che, portando alla deposizione di concrezioni di carbonato di calcio (sale molto meno solubile del gesso), causano anche una solubilizzazione di gesso aggiuntiva.

La solubilità in acqua del gesso è 2,2g/l e circa 100 volte superiore a quella del carbonato di calcio e mentre la dissoluzione del calcare è un fenomeno prettamente chimico quello del gesso è essenzialmente fisico dovuto appunto alla sua maggiore solubilità. Il fenomeno può essere riassunto nelle equazioni:



In particolare quest'ultimo equilibrio si sposta verso destra grazie alla minore solubilità del calcare rispetto al gesso, alla parziale evaporazione dell'acqua e alla diminuzione della solubilità dell'anidride carbonica in seguito all'aumento della temperatura all'emersione delle acque in superficie. Il risultato finale è quindi la dissoluzione del gesso, la deposizione di calcare e l'acidificazione dell'acqua per produzione di ione H^+ . Tutto può essere riassunto nel seguente schema:

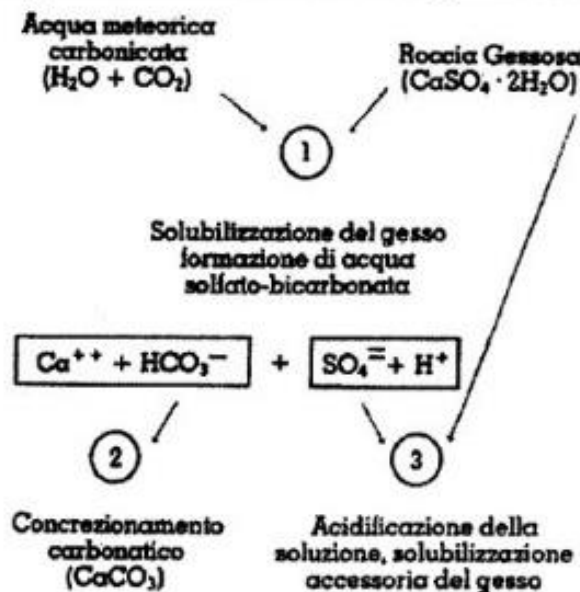


Figura 17 - ???

L'AGGRESSIVITÀ DELLE ACQUE SELENITOSE

La schematizzazione chimica di cui sopra evidenzia anche un altro aspetto: le acque derivanti dalla soluzione delle rocce solfatiche sono sempre più o meno “selenitose”, cioè aggressive dei cementi normali perché acide per la presenza degli ioni H^+ e SO_4^- (COLLEPARDI *et al.*, 2010; DESIO, 1973).

Se queste acque vengono a contatto prolungato con opere in calcestruzzo normale (fondazioni di edifici, ponti, rivestimenti di gallerie, ecc.) le possono gravemente danneggiare (COLLEPARDI *et al.*, 2010) in quanto il cemento si può trasformare progressivamente in una poltiglia incoerente (il rimedio consiste nell'adozione di cementi antiaggressivi).

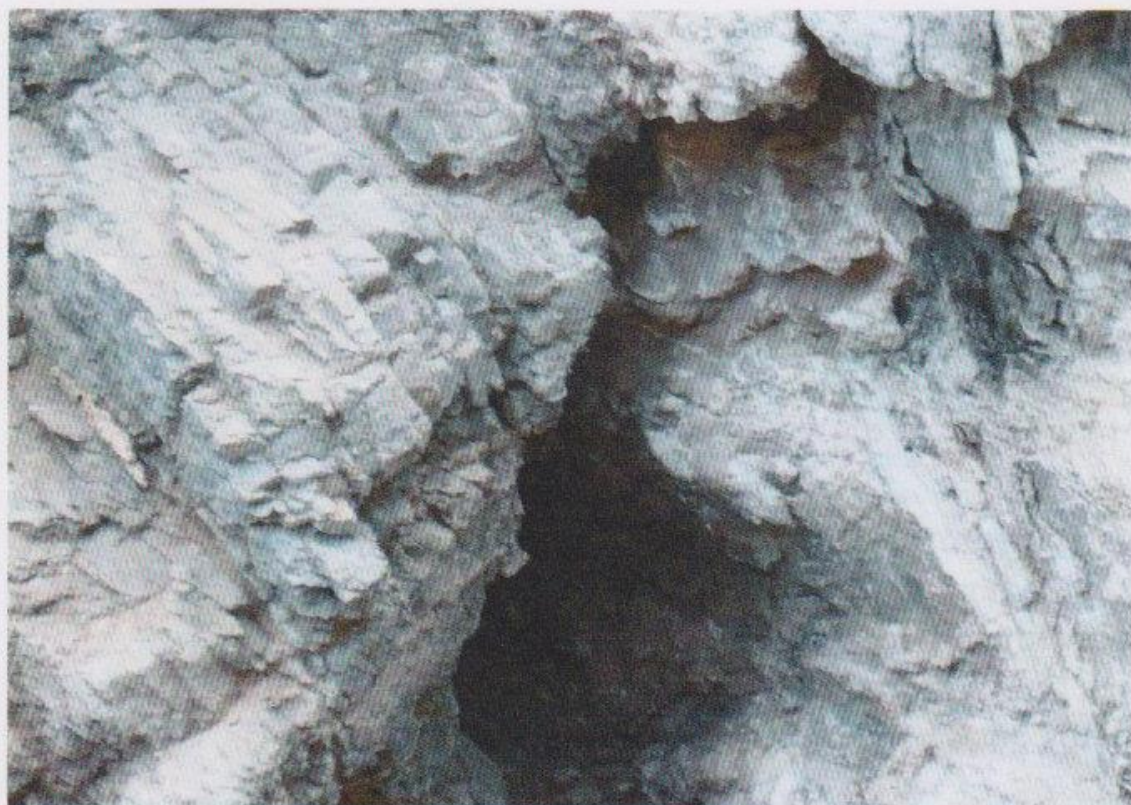
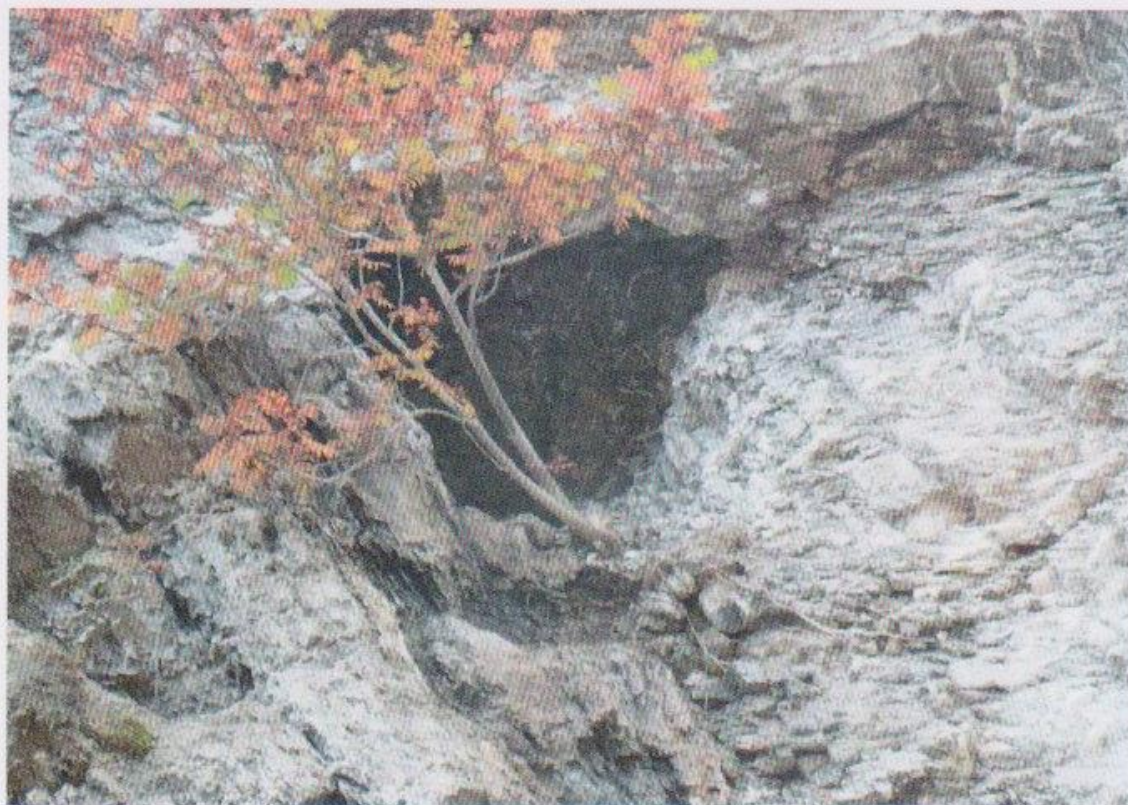


Figura 18 - Esempi di cavità da dissoluzione in gessi permiani (Val del Biois)

IL CARSISMO NEI GESSI

Come già affermato, i gessi sono normalmente affetti da un'intensa fatturazione, causata dalle forti pressioni indotte dall'idratazione delle rocce anidritiche preesistenti.

La fratturazione permette un'attiva circolazione idrica che allarga le fessure, per soluzione e per erosione. Si vengono così a creare innumerevoli cavità carsiche e cavernosità, ubicate a varie profondità nel substrato, lungo le direttrici di maggiore circolazione idrica.

L'evoluzione delle cavernosità dipende dal regime idrogeologico, dal complesso andamento delle vie idriche sotterranee, dall'abbondanza locale di rocce meno solubili associate ai gessi (argilliti, arenarie, dolomie, calcari, ecc.).

Quando il gesso giace al di sotto della falda acquifera, si può verificare una soluzione laminare, con asportazione di massa generalizzata. (Fig.18)

Date le scadenti caratteristiche di resistenza geomeccanica dei gessi, in genere non si formano grandi cavernosità ma piuttosto un fitto reticolo di piccole cavità, che progressivamente cedono, o crollano improvvisamente, sotto il peso della volta.

Se la copertura sciolta è assente o presenta uno spessore modesto, in superficie si formano vere e proprie doline di sprofondamento. Casi di questo genere sono numerosissimi al di fuori delle aree urbane (ad esempio Costa dei Zei e I Lac a Nord di Falcade, Darecoi presso Sappade, Costelle e Forzela a nord di Feder, dintorni di Lagazzon, Passo di S. Antonio, versante a nord di Padola, ecc.) (FENTI V., 1988-1996; FENTI V. *et al.*, 2001).

Se la zona presenta una spessa copertura sciolta, questa viene inghiottita dalla cavità in modo progressivo, originando talora solo un lieve avvallamento del piano di campagna.

Molto spesso si forma un vero e proprio "sfornellamento" o crollo rimontante fino in superficie, ove si viene a creare un inghiottitoio localizzato, subverticale, tronco-conico, rovesciato, o subcilindrico verticale. (Le differenti geometrie sono conseguenti anche alle diverse caratteristiche geotecniche dei terreni di copertura) (Figg. 19-20-21).

La fenomenologia è, comunque, assai variabile da luogo a luogo.

Sono noti innumerevoli casi di sprofondamento, di dimensioni e ve-

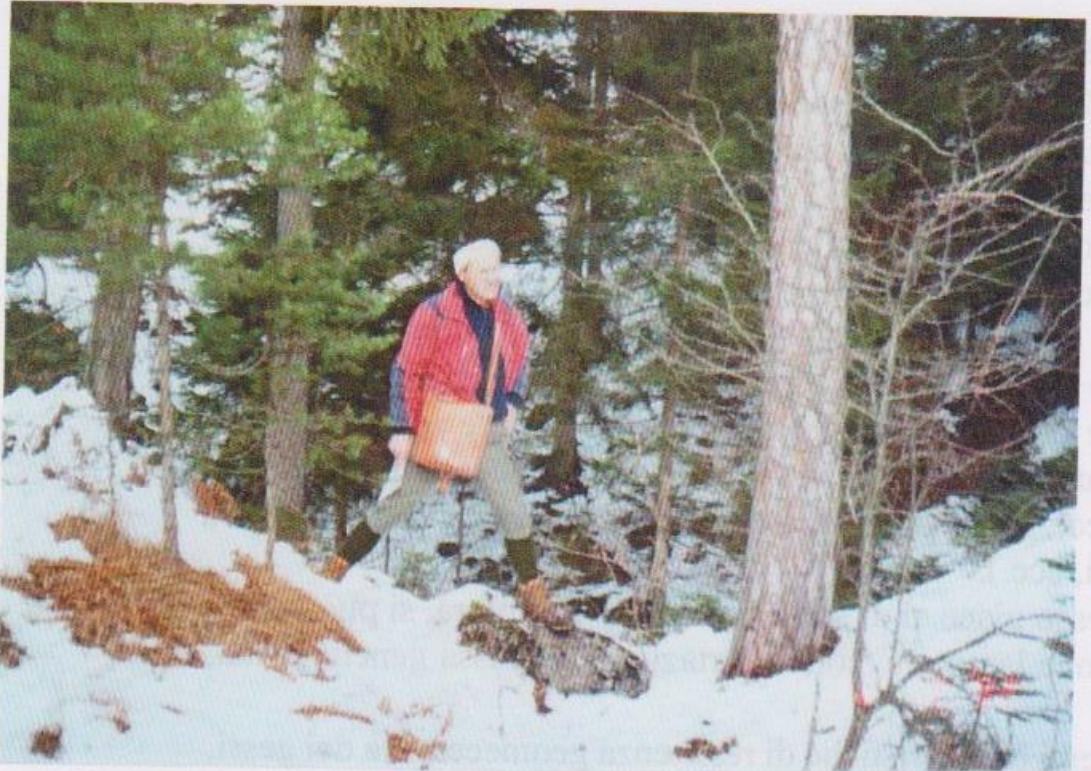


Figura 19 - Grande vecchia dolina sul versante sud del M. Zucco, sulla verticale della nuova galleria ferroviaria.



Figura 20 - Vecchia dolina a Forchiade (S. Tomaso Agordino).



Figura 21 - Subsidenze doliniformi nell'abitato di Agordo.

locità diverse, in numerosi punti della conca agordina (Agordo, Voltago, Frassenè), della Valle del Biois (Falcade, Caviola, Pisoliva, Andrich, ecc.), del Cadore (Vallesella, Domegge).

In genere, ove la copertura sciolta mostra un rilevante spessore, non si intravedono direttamente in superficie i segni del cedimento delle cavità carsiche, perché il lento assestamento del materiale su un'estesa zona di forma tronco-conica può mascherare il fenomeno, limitandone gli effetti superficiali.

Un attento esame della morfologia locale, se non troppo alterata dal rimodellamento antropico, permette, spesso, di percepire il fenomeno.

Sono, però, noti molti casi in cui anche con rilevante spessore della copertura (ad esempio ad Agordo, con oltre 70 m di copertura sciolta) si vengono a creare veri e propri "camini di collasso" circoscritti in superficie ("Sinkhole").

La velocità dei fenomeni

La velocità di soluzione dei gessi con formazione di cavernosità sotterranee è bassa e di solito comporta tempi lunghi dell'ordine di decenni o secoli.



Figura 22 - Sprofondamento improvviso di cavità carsica nei gessi permiani (Canes di Falcade il 30/04/1986).

La velocità di sprofondamento è, però, variabilissima, dipendendo anche da altri fattori (spessore e consistenza della copertura, presenza di altre rocce lapidee associate ai gessi).

Normalmente il cedimento di cavità doliniformi avviene nell'ordine dei centimetri all'anno.

Sono, però, noti allo scrivente numerosi casi di sprofondamento improvviso (nel corso di qualche ora) di centinaia di metri cubi di terreno precedentemente indisturbato (Vallada, Andrich, Rio delle Roe, Canes di Falcade, Pisoliva, ecc.)

Numerose grandi doline si formarono in pochi anni a Vallesella in seguito alla formazione del bacino lacustre artificiale di Pieve di Cadore.

Uno sprofondamento improvviso si formò il 2 gennaio 1916 sulla conoide alluvionale del T. Ostera, nell'abitato di Villapiccola ad Auronzo (CASATI *et al.*, 1982).

Da segnalare l'improvvisa scomparsa (il 13/07/1980) del laghetto carsico di Cestella nei pressi del Passo del Zovo, corrispondente al ristagno idrico sul fondo di una dolina in gessi con copertura di morene limoso-argillose.

Uno sprofondamento di circa 200 m³ di terreno per cedimento improvviso di una cavità carsica nei gessi si verificò la notte del 30/04/1986 sulla strada comunale Canes-Le Coste a Falcade (Fig. 22).

Evoluzione dei camini di collasso e delle doline

Nell'Agordino sono noti alcuni camini di collasso abbastanza circoscritti, ubicati in aree urbane, la cui evoluzione è continua da decenni, anche se piuttosto lenta.

Le depressioni a piano di campagna talora non subiscono apprezzabile evoluzione, perché vengono periodicamente colmate con inerti dai proprietari dei fondi.

Il richiamo del terreno al contorno del camino tende progressivamente ad allargare la cavità che assume una forma tronco-conica a piano di campagna. La tendenza evolutiva in superficie è naturalmente l'allargamento delle cavità, con rischio per eventuali edifici vicini. In presenza di vere e proprie doline tronco-coniche vegetate, talora con piante d'alto fusto erette, senza distorsioni apprezzabili, si ha la sensazione di un'apparente stabilità e di un esaurimento del fenomeno di cedimento carsico.

Pur tuttavia in tutti i casi in cui tali zone sono state oggetto di edificazione, gli edifici hanno subito danni, a volte irreversibili, innescati talora anche decenni dopo la loro costruzione. (FENTI, 1978-2010)

Ciò testimonia la continua evoluzione del fenomeno carsico e la sua pericolosità.

Danni indotti dai dissesti carsici ad abitati e infrastrutture

In letteratura esistono alcuni casi di gravi danni indotti dal cedimento carsico del substrato solfatico su edifici ed infrastrutture.

Al riguardo è d'obbligo ricordare l'inservibilità della diga del lago Kastel in Val d'Ossola, nel 1955, causata dalla soluzione di gessi ed anidriti del substrato metamorfico (DESIO, 1973).

Limitandosi al territorio bellunese è importante ricordare la subsidenza della centrale idroelettrica di Pelos di Cadore sul greto del Piave negli anni '70 ed i gravi dissesti dell'abitato di Vallesella indotti dai gessi incarsiti della Formazione a Bellerophon, in seguito alla formazione del bacino artificiale di Pieve di Cadore.¹

Nell'Agordino sono noti i dissesti di Andrich (Vallada Agordina) ove numerosi edifici sono fessurati e distorti per cedimento della coltre detritica che ricopre i gessi permiani incarsiti.

¹ Il contenzioso che ne seguì fu oggetto di un'abbondante documentazione scritta da parte dei tecnici incaricati dalle parti in causa.



Figura 23 - Vecchio edificio di Andrich (Vallada Agordina) recentemente abbattuto perché pericolante da cedimento carsico.

Ivi frequentemente si formano inghiottitoi e camini di collasso. Un vecchio edificio è stato recentemente abbattuto perché le ampie lesioni ne minavano la stabilità (Fig. 23).

Numerosi edifici lesionati si trovano a Canes di Falcade ove si registrano anche alcuni improvvisi sprofondamenti del terreno per cedimento di cavità carsiche.

A Marmolada di Falcade i sondaggi effettuati nei terreni di fondazione di un condominio deformato e lesionato hanno rivelato l'esistenza di un'ampia cavità carsica, in evoluzione attiva, soggiacente ad una spessa coltre alluvionale (il volume stimato della cavità era ben superiore al volume dell'edificio sovrastante) (FENTI, 1978-2010) (Fig. 24).

Recenti edifici lesionati da cedimento carsico si trovano a Pisoliva (Canale d'Agordo) e ad Agordo.

Alcuni decenni fa una casa d'abitazione è stata abbattuta perché resa pericolante dalle lesioni indotte da cedimento carsico a Voltago Agordino. L'elenco potrebbe dilungarsi (Fig. 25).

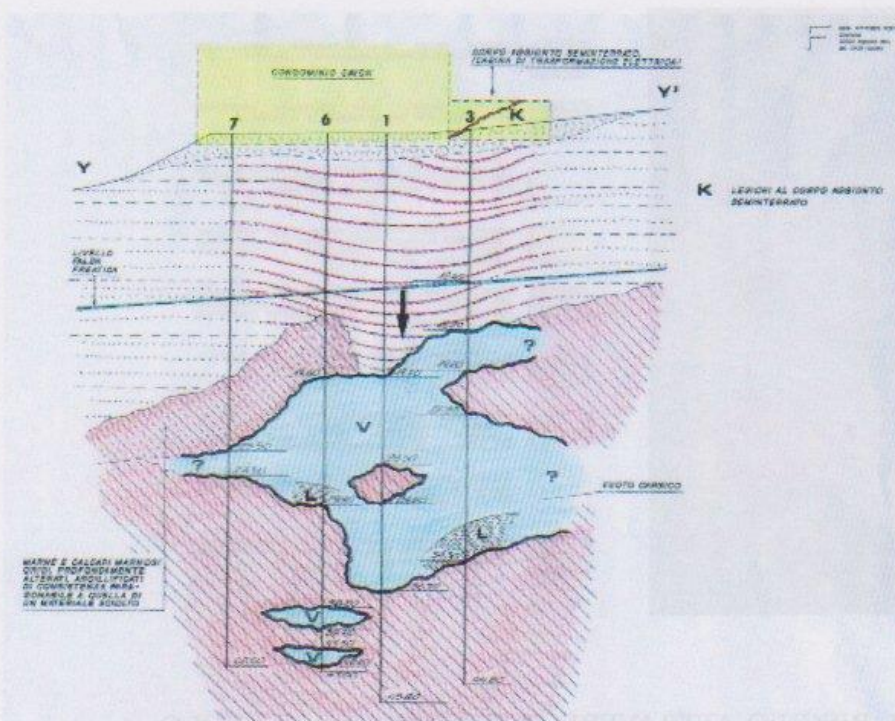


Figura 24 - Esempio di studio geologico per un Piano regolatore con indicazione delle aree soggette a dissesto carsico in terreni gessosi.

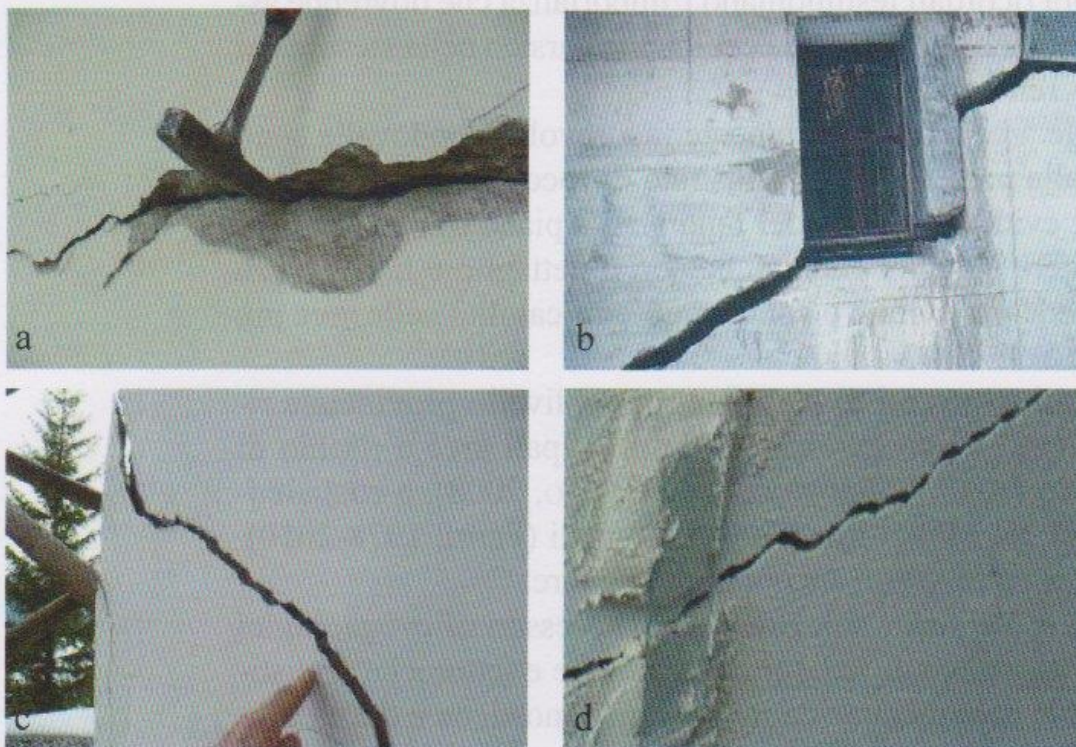


Figura 25 a), b), c) e d) - Esempi di gravi lesioni ad edifici recenti, affetti da dissesti per cedimento carsico.

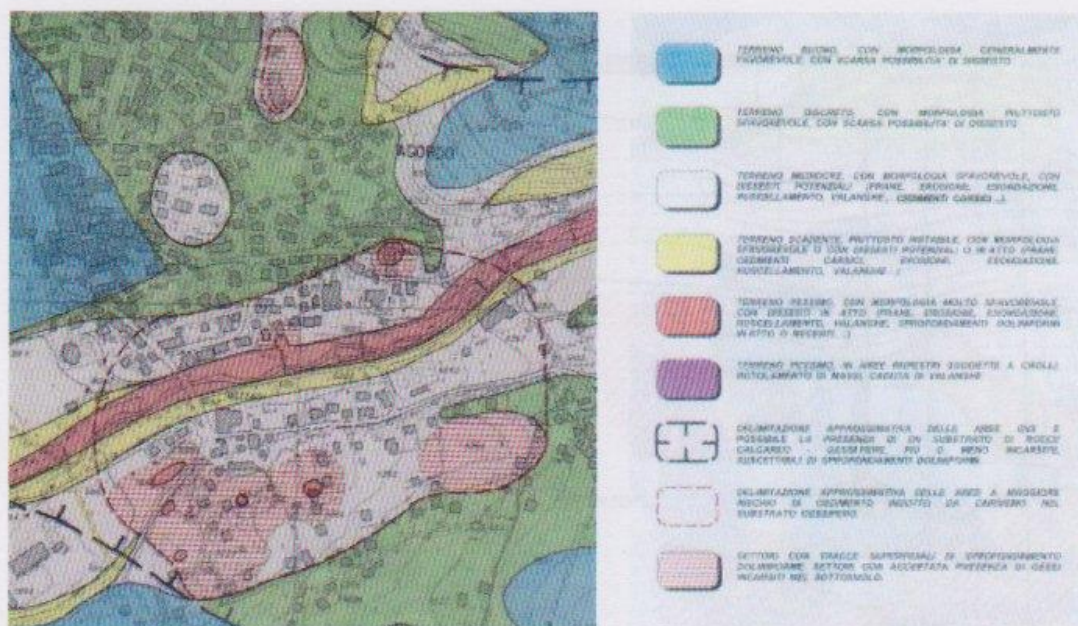


Figura 26 - ????

LA PREVENZIONE DEL RISCHIO ATTRAVERSO LE CONOSCENZE GEOLOGICO-TERRITORIALI

I dissesti sopra ricordati testimoniano l'importanza che dovrebbe assumere la prevenzione del rischio da cedimento carsico nella stesura dei Piani di Assetto Territoriale (PAT).

Giacchè molte aree morfologicamente favorevoli a fondovalle sono caratterizzate dalla presenza di un substrato di rocce gessifere incassate, spesso senza evidenza alcuna dei fenomeni a piano di campagna, è necessario svolgere indagini geologiche con il dettaglio e la diligenza che il caso richiede per evitare o contenere l'edificabilità nelle aree più pericolose.

In verità alcuni strumenti di pianificazione a livello provinciale riportano, anche se in modo incompleto, le principali aree a rischio di cedimento carsico (AA.VV. PROVINCIA DI BELLUNO, 2008), e così alcuni studi geologici per i Piani Regolatori Comunali (FENTI, 1978-2010). (Fig. 26). Ma al riguardo resta ancora molto da fare.

Il problema non è di facile soluzione: sono necessari rilievi geologici di dettaglio, ricostruzione di sezioni stratigrafiche e tettoniche realistiche, possibilmente documentate da indagini geognostiche e dal catasto storico dei dissesti carsici e di altre conoscenze pregresse (sondaggi, scavi, interventi di consolidamento, ecc.).

Le indagini consigliabili sui terreni di fondazione dei nuovi edifici o di altre opere edilizie in progetto

Alla luce delle nuove *Norme Tecniche per le Costruzioni* (DM 14/01/2008), per ogni opera edilizia è richiesta la ricostruzione dettagliata del Modello geologico e del Modello geotecnico del sottosuolo.

In particolare, il progetto delle opere si articola nelle seguenti fasi:

1. Caratterizzazione e modellazione geologica del sito;
2. Scelta del tipo di opera o d'intervento e programmazione delle indagini geotecniche;
3. Caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce e definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo;
4. Descrizione delle fasi e delle modalità costruttive;
5. Verifiche della sicurezza e delle prestazioni;
6. Piani di controllo e monitoraggio.

Tutto ciò considerato, nei casi in cui le opere edilizie in progetto ricadano nelle aree ove è documentata o solo presunta la presenza di rocce solfatiche nel sottosuolo, sono consigliabili le seguenti fasi di indagine:

- Analisi geomorfologica di dettaglio per identificare eventuali tracce di camini di collasso o di subsidenze generalizzate. (Il buon senso consiglia di mantenersi ad una adeguata distanza di sicurezza da tali zone).
- Esecuzione di sondaggi geognostici a carotaggio continuo, spinti fino ad intercettare il substrato roccioso ed attraversarlo su uno spessore tale da poter verificare la natura del sottosuolo e l'esistenza o meno di cavità carsiche. In qualche caso l'indagine può essere assai impegnativa perché la copertura sciolta quaternaria può avere spessori rilevanti (ad Agordo sono noti cedimenti carsici in gessi con oltre 70 m di copertura sciolta) (Figg. 27).
- È consigliabile che il carotaggio nei terreni sciolti di copertura venga accompagnato da prove penetrometriche dinamiche in foro (tipo SPT) allo scopo di verificare la variazione dello stato di addensamento con la profondità (normalmente nei terreni sciolti indisturbati la resistenza penetrometrica aumenta in profondità all'aumento del carico litostatico. Nei casi ove, invece, sia in atto un cedimento



Figura 27 - Aspetti superficiali di sink-hole in copertura sciolta spessa oltre 70 m con substrato gessoso incarsito (Agordo).

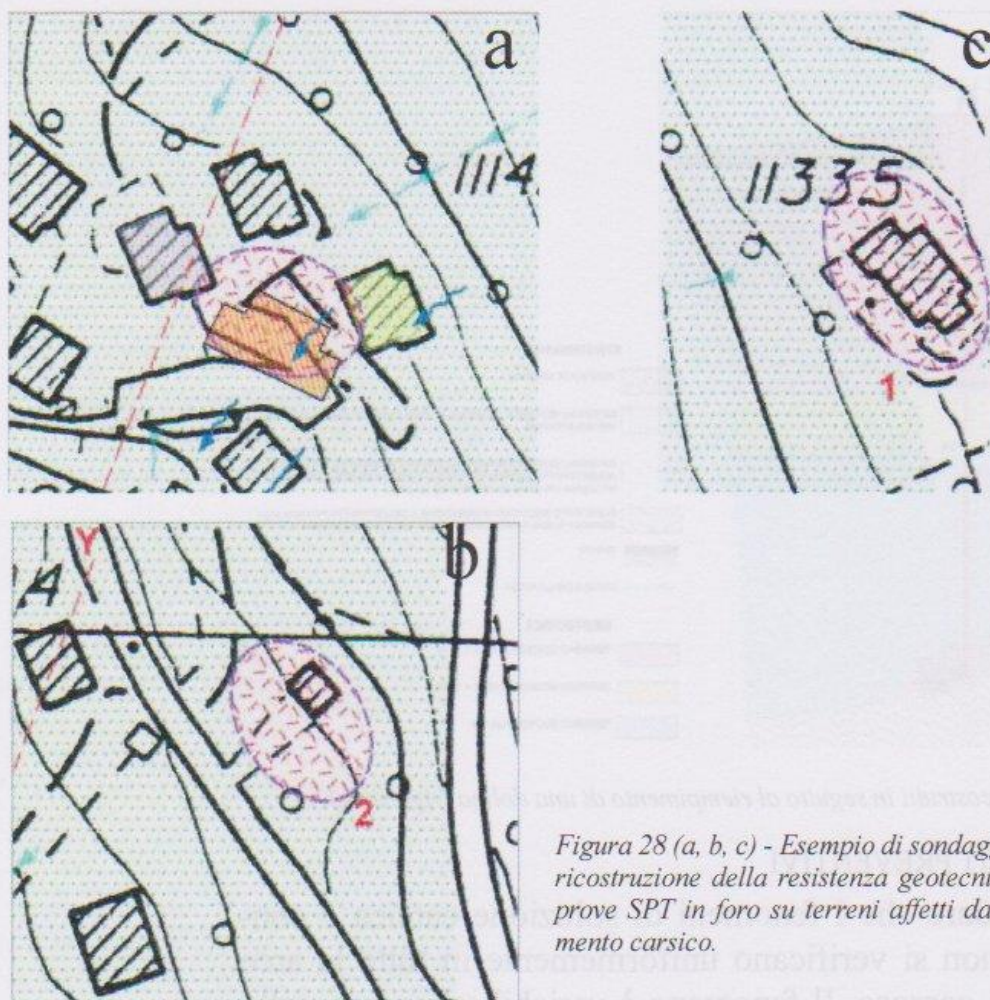


Figura 28 (a, b, c) - Esempio di sondaggi con ricostruzione della resistenza geotecnica da prove SPT in foro su terreni affetti da cedimento carsico.

carsico profondo, i terreni sciolti di copertura risultano allentati. Il fenomeno può essere identificato dalla riduzione della resistenza penetrometrica all'aumentare della profondità) (Fig. 28).

Si ricorda che il solo adempimento formale alle norme, con l'esecuzione di indagini geognostiche di limitata profondità in aree ove nel sottosuolo è presunta l'esistenza di gessi incarsiti, può essere inutile o deviante. Infatti sono frequenti i casi in cui i gessi incarsiti a rischio di cedimento sono ricoperti da una spessa coltre di terreni sciolti dotati di buone caratteristiche geotecniche e ciò può indurre i progettisti a sottovalutare o del tutto ignorare il rischio di dissesti, in quanto il pericolo latente è localizzato a profondità superiore a quella indagata.

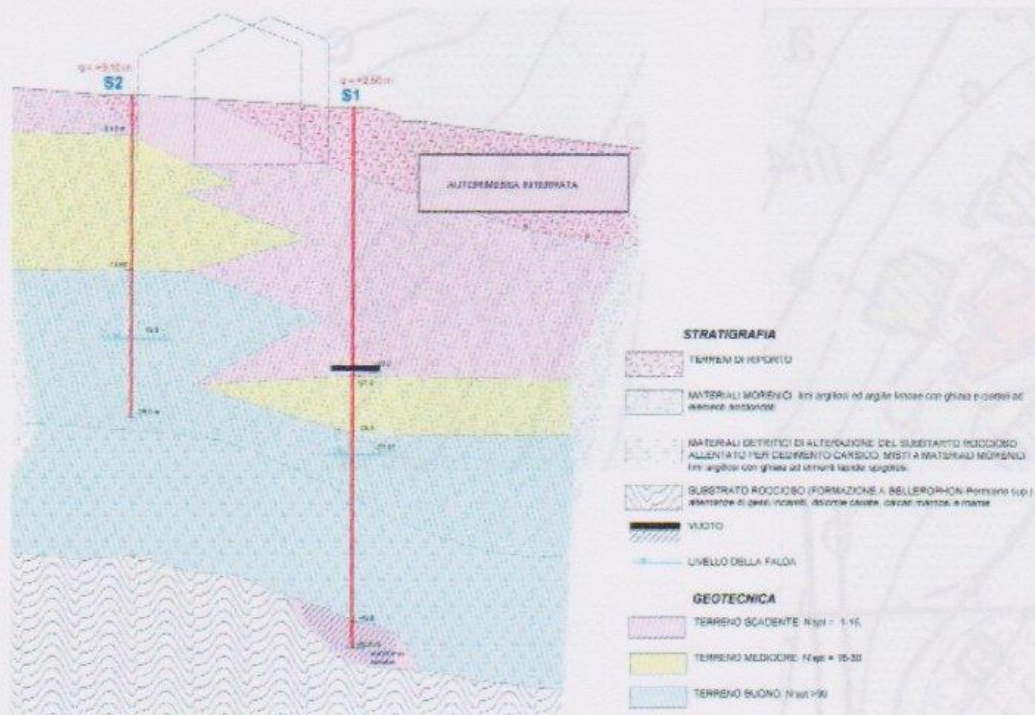


Figura 28 - Esempi di edifici costruiti in seguito al riempimento di una dolina (Agordina).

ESEMPI DI INTERVENTI PREVENTIVI

È necessario ricordare che i fenomeni di soluzione carsica e conseguente cedimento non si verificano uniformemente in tutte le aree dotate di un substrato gessoso. Il fenomeno è variabilissimo, sia nello spazio che nel tempo, e con geometrie differenti. È tuttavia consigliabile adottare le precauzioni tecniche più corrette in tutti i casi in cui un edificio sia previsto in una zona genericamente caratterizzata dalla presenza di un substrato gessoso, in assenza di manifestazioni superficiali di dissesto o con lievi tracce di subsidenza diffusa.

In questi casi sono da attendersi cedimenti differenziali dei terreni di fondazione, con lesioni più o meno gravi all'edificio.

Per ridurre il rischio di tale dissesto, o evitarlo, è necessario predisporre strutture di fondazione indeformabili, tipo platea o telaio di travi rigide in cemento armato, in modo che l'assestamento dell'edificio avvenga in blocco, senza lesioni.

Nel caso di strutture edilizie piuttosto grandi o complesse, è consigliabile frazionare l'opera in corpi di fabbrica contenuti, separati da giunti tecnici, in modo che gli assestamenti differenziali avvengano tra

blocchi distinti, senza lesioni.

(La realizzazione di fondazioni indeformabili è un intervento preventivo di costo contenuto e buona efficacia).

Nei casi in cui a piano di campagna siano ben visibili inghiottitoi, vecchie doline o depressioni doliniformi circoscritte, è consigliabile realizzare l'opera in progetto a congrua distanza da tali fenomeni, perché la normale evoluzione del dissesto è accompagnata spesso anche da un ampliamento planimetrico della subsidenza (che può pericolosamente coinvolgere l'opera stessa).

(Purtroppo, numerose volte si è assistito allo sciagurato riempimento di intere doline ed alla costruzione di edifici sul riporto, con le prevedibili conseguenze del caso (FENTI, 1978-2010) (Fig. 28).

ESEMPI DI INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO

Nei casi in cui i tecnici siano chiamati a predisporre interventi di consolidamento di edifici affetti da lesioni riconducibili a cedimento carsico, è necessaria una indagine dettagliata della natura del sottosuolo a mezzo di sondaggi geognostici a carotaggio continuo, spinti fino al substrato incarsito, in modo da verificare stratigrafie, geometrie e modalità del dissesto.

Talora è opportuna la predisposizione di fessurimetri sulle lesioni per un adeguato periodo di monitoraggio, in fase pre-operativa, operativa e post-operativa.

Il consolidamento di edifici lesionati da cedimento carsico è un problema di non facile soluzione e comunque assai differente da caso a caso.

A puro titolo esemplificativo si riportano alcuni esempi di tecniche adottate, non sempre risolutive del dissesto.

- Costruzione di un anello continuo di sottofondazione rigido. In qualche caso l'anello di sottofondazione è stato integrato da un'"ala" in c.a. per meglio distribuire il carico dell'edificio al contorno.
- Idem, come sopra, integrato da micropali molto inclinati (oltre i 45°) in modo da trasmettere il carico dell'edificio ai terreni indisturbati al contorno (tecniche costose, praticabili solo in presenza di un contorno di terreni stabili).
- Iniezioni di cementi antiaggressivi nelle cavità carsiche profonde. L'intervento è difficilmente attuabile in considerazione dell'inco-

gnita dello sviluppo e delle dimensioni delle cavità carsiche (in genere ragguardevoli).

- Iniezioni di resine espansive nei terreni di fondazione allo scopo di ricostruire una “soletta” di sottofondazione poco deformabile. L'intervento potrebbe avere risvolti positivi se realmente si riuscisse a ricostruire una soletta continua poco deformabile e durevole per un tempo accettabile. Ma ciò è assai difficile, se non improbabile.
- Consolidamento tramite micropali verticali, profondi, intestati sul fondo stabile delle cavità carsiche. L'intervento, molto impegnativo, può essere realizzato, previa ricostruzione dettagliata del modello del sottosuolo, a mezzo di numerose indagini geognostiche.

Altre tecniche, ibride tra quelle sopra riportate, possono essere attuate. In genere i costi sono elevati e le garanzie di successo variabili da caso a caso.

Normalmente si ottiene solo un rallentamento del regime delle deformazioni indotte dal cedimento carsico. (Questo, però, può tradursi in un fatto assai positivo per la committenza).

CONCLUSIONI

Sono state descritte le caratteristiche essenziali del fenomeno dello sprofondamento carsico in rocce gessifere, dissesto molto frequente nell'area dolomitica, abbastanza conosciuto, ma spesso sottovalutato, che induce rischio e danni agli edifici.

La presente nota vuole solo apportare un modesto contributo alla conoscenza dei problemi ad esso connessi, con l'auspicio che si possa arrivare ad una perimetrazione corretta delle aree pericolose, così da prevenire o contenere i danni conseguenti.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

BOSELLINI A., MUTTI E. & RICCI LUCCHI F. (1989). *Rocce e successioni sedimentarie*, UTET (Torino).

CASATI P. et al. (1982). *L'acqua nel gruppo del Popera (Dol. Orientali)*. St. Tr. Sc. Nat. Vol. 59, Trento.

COLLEPARDI S. et al. (2010). Degrado del calcestruzzo per attacco solfatico. ENCO Engineering Concrete. Info@encosrl.it (Ponzano Veneto – TV).

DESIO A. (1973). *Geologia applicata all'ingegneria*. HOEPLI (Milano).

FENTI V. (1978-2010). *Numerosi studi geologici e relazioni su progetti di opere in*

zone con rocce gessose incarsite. Inediti, Agordo (Belluno).

FENTI V. (1988-1996). *Studi geologici e relazioni di progetto e D.L. sugli Interventi di rimozione delle masse instabili in destra del Rio Rin incombenti su Lozzo di Cadore. Inediti, Agordo (Belluno).*

FENTI V., FENTI L. & CHIESURIN E. (2001). *Studi geologici sui bacini del T. Tegosa e T. Rova di Framont (con carte allegate). "Controllo versanti Alpini". Fondazione Angelini. Centro Studi sulla Montagna (Belluno)*

PROVINCIA DI BELLUNO (2008). *Carta delle fragilità del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Belluno).*

RICCI LUCCHI F. (1978). *Sedimentologia – Parte III – CLUEB – Bologna*

FENTI V. (1979). *La stabilità dei versanti in "Progetto difesa del suolo". Piano generale di sviluppo economico. Inedito. Comunità Montana Agordina (Agordo – BL).*

Carta geologica delle tre Venezie (1940), scala 1:100.000, F° 12 Pieve di Cadore.

Carta geologica delle tre Venezie (1941), scala 1:100.000. F° 23 Belluno

Carta geologica d'Italia (1970), scala 1:100.000, F° 11 Marmolada

Carta geologica d'Italia (1971), scala 1:100.000, F° 4-13, M. Cavallino-Ampezzo.

Carta geologica d'Italia (1977), scala 1:50.000, F° 028 Marmolada