

Geologia dell'Ambiente

4/2019

ISSN 1591-5352

Periodico trimestrale della SIGEA
Società Italiana di Geologia Ambientale



Poste Italiane S.p.a. - Spedizione in Abbonamento Postale - D.L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n° 46) art. 1 comma 1 - DCB Roma





Società Italiana di Geologia Ambientale (SIGEA) - Sezione Lazio

Con il Patrocinio di
MIUR **ISPRA**
 Ufficio Scolastico Regionale del Lazio Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

4° CONCORSO FOTOGRAFICO

SCOPRI E FOTOGRAFA IL PATRIMONIO GEOLOGICO DEL LAZIO



> La SIGEA Sezione Lazio, al fine di promuovere la conoscenza e la valorizzazione dei siti di interesse geologico (geositi) e i paesaggi geologici della Regione Lazio, bandisce la quarta edizione del concorso fotografico rivolto agli studenti delle scuole medie superiori del Lazio.

> La partecipazione al concorso è **totalmente gratuita**. Possono partecipare tutti studenti delle scuole medie superiori del Lazio che sono interessati a condividere le emozioni ricevute attraverso la rappresentazione di uno degli aspetti dei "paesaggi geologici" della regione; riprese a volte estemporanee e inattese, spesso realizzate durante passeggiate o lavori di rilevamento, quando si prova un forte desiderio di non perdere quella forma, quel cromatismo, quel bel gioco bizzarro ed irripetibile di forme ed ombre che solo la natura riesce a creare.

> Saranno premiate 15 foto e agli autori delle tre foto più rappresentative dello spirito del concorso sarà offerto un buono acquisto di euro 100 (cento/00).

> Le foto dovranno essere inviate entro il **30 aprile 2020** seguendo le istruzioni disponibili su www.sigeaweb.it ed ogni partecipante potrà presentare un numero massimo di 5 foto.

Regolamento e modalità di partecipazione: www.sigeaweb.it

Segreteria organizzativa del concorso: [Marina Fabbri](mailto:Marina.Fabbri@sigeaweb.it), [Maurizio Lanzini](mailto:Maurizio.Lanzini@sigeaweb.it) - lazio@sigeaweb.it

Con la collaborazione di **ZANICHELLI**



Società Italiana di Geologia Ambientale (SIGEA) - Sezione Puglia

Con il Patrocinio
MIUR **ISPRA**
 Ufficio Scolastico Regionale per la Puglia - Direzione Generale Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

6° CONCORSO FOTOGRAFICO

SCOPRI E FOTOGRAFA IL PATRIMONIO GEOLOGICO DELLA PUGLIA



> La SIGEA Sezione Puglia, al fine di promuovere la conoscenza e la valorizzazione dei siti di interesse geologico (geositi) e i paesaggi geologici della Regione Puglia, bandisce la sesta edizione del concorso fotografico rivolto agli studenti delle scuole medie superiori della Puglia.

> La partecipazione al concorso è **totalmente gratuita**. Possono partecipare tutti studenti delle scuole medie superiori della Puglia che sono interessati a condividere le emozioni ricevute attraverso la rappresentazione di uno degli aspetti dei "paesaggi geologici" della regione; riprese a volte estemporanee e inattese, spesso realizzate durante passeggiate o lavori di rilevamento, quando si prova un forte desiderio di non perdere quella forma, quel cromatismo, quel bel gioco bizzarro ed irripetibile di forme ed ombre che solo la natura riesce a creare.

> Saranno premiate 15 foto e agli autori delle tre foto più rappresentative dello spirito del concorso sarà offerto un buono acquisto di euro 100 (cento/00).

> Le foto dovranno essere inviate entro il **30 aprile 2020** seguendo le istruzioni disponibili su www.sigeaweb.it ed ogni partecipante potrà presentare un numero massimo di 5 foto.

Regolamento e modalità di partecipazione: www.sigeaweb.it

Segreteria organizzativa del concorso: [Magda Gallo Maresca](mailto:Magda.Gallo@sigeaweb.it), [Oronzo Simone](mailto:Oronzo.Simone@sigeaweb.it) - foto.paesaggi.puglia@gmail.com

Con la collaborazione di **ZANICHELLI**

AVVISO DI PAGAMENTO DELLA QUOTA SOCIALE 2020

Il Consiglio Direttivo ha confermato anche per il 2020 la quota associativa di € 30,00 da versare entro il 31 marzo con le seguenti modalità:

- versamento su conto corrente postale **n. 86235009**
- bonifico bancario o postale,
 codice IBAN: **IT 87 N 07601 03200000086235009**
 (Banco Posta)
 intestato a: Società Italiana di Geologia Ambientale,
 Roma, riportando i dati del socio iscritto e la causale del versamento.

Per aderire alla **Sigea** è sufficiente compilare la scheda di iscrizione, scaricabile dal sito web www.sigeaweb.it e versare la quota associativa

Società Italiana di Geologia Ambientale

Associazione di protezione ambientale a carattere nazionale riconosciuta dal Ministero dell'ambiente, della tutela del territorio e del mare con D.M. 24/5/2007 e con successivo D.M. 11/10/2017

PRESIDENTE
Antonello Fiore

CONSIGLIO DIRETTIVO NAZIONALE
Lorenzo Cadrobbi, Franco D'Anastasio (*Segretario*),
Daria Duranti (*Tesoriere*), Ilaria Falconi,
Antonello Fiore (*Presidente*), Sara Frumento,
Fabio Garbin, Enrico Gennari, Giuseppe Gisotti
(*Presidente onorario*), Gioacchino Lena,
Luciano Masciocco, Michele Orifici (*Vicepresidente*),
Vincent Ottaviani (*Vicepresidente*),
Paola Pino d'Astoro, Livia Soliani

Geologia dell'Ambiente
Periodico trimestrale della SIGEA

N. 4/2019

Anno XXVII • ottobre-dicembre 2019

Iscritto al Registro Nazionale della Stampa n. 06352
Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 229
del 31 maggio 1994

DIRETTORE RESPONSABILE
Giuseppe Gisotti

COMITATO SCIENTIFICO
Mario Bentivenga, Aldino Bondesan, Giancarlo
Bortolami, Giovanni Bruno, Giuseppe Gisotti,
Giancarlo Guado, Gioacchino Lena,
Giacomo Prosser, Giuseppe Spilotro

COMITATO DI REDAZIONE
Fatima Alagna, Federico Boccalaro, Giorgio Cardinali,
Francesco Cancellieri, Valeria De Gennaro, Fabio
Garbin, Gioacchino Lena, Maurizio Scardella

REDAZIONE
Sigea c/o Fidaf - Via Livenza, 6 00198 Roma
tel. 06 5943344
info@sigeaweb.it

PROCEDURA PER L'ACCETTAZIONE DEGLI ARTICOLI

I lavori sottomessi alla rivista dell'Associazione, dopo che sia stata verificata la loro pertinenza con i temi di interesse della Rivista, saranno sottoposti ad un giudizio di uno o più referees

UFFICIO GRAFICO
Pino Zarbo (Fraserighe Book Farm)
www.fraserighe.it

PUBBLICITÀ
Sigea

STAMPA
Tipolitografia Acropoli, Alatri (FR)

La quota di iscrizione alla SIGEA per il 2020 è di € 30 e da diritto a ricevere la rivista "Geologia dell'Ambiente".

Per ulteriori informazioni consulta il sito web all'indirizzo www.sigeweb.it

Sommario

- Le tracce della glaciazione nelle Alpi Apuane e nell'Appennino settentrionale
MARCO BASTOGI 2
- La Rupe di San Leo: analisi del dissesto idrogeologico e misure per la mitigazione del rischio
CLAUDIO CORRADO LUCENTE 10
- Un mondo di pietra. Costruzioni e manufatti litici a secco nel paesaggio del Carso, Istria e Dalmazia
CARLO NICOTRA 26



A questo numero è allegato il supplemento digitale degli atti del convegno *Il patrimonio geologico: dallo studio di base al geoturismo sostenibile* tenuto a Sasso di Castalda (Pz) il 26-27 aprile 2018 scaricabile all'indirizzo web www.sigeweb.it/supplementi.html

In copertina: Il ghiacciaio della Marmolada a 2700 metri d'altezza. Con il passare degli anni le dimensioni di questo ghiacciaio si stanno riducendo a causa del riscaldamento globale (ph. Paolo Di Stefano).

Le tracce della glaciazione nelle Alpi Apuane e nell'Appennino settentrionale

The traces of glaciation in the Apuan Alps and the Northern Apennines

Parole chiave: glacialismo, Alpi Apuane, Appennino settentrionale, glaciazione würmiana

Key words: glacialism, Apuan Alps, northern Apennines, würmian glaciation

I GHIACCIAI DELLE ALPI APUANE E DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE

È difficile oggi poter immaginare che un tempo anche le Alpi Apuane e l'Appennino furono interessati dal fenomeno delle glaciazioni.

Si tratta di ghiacciai certamente più piccoli di quelli che si sono sviluppati nell'arco alpino dove le tracce, grazie alle quote più elevate, sono decisamente molto più sviluppate, tuttavia anche questi ghiacciai minori hanno lasciato chiari segni indelebili del loro passaggio.

Nel Quaternario tra 2 milioni e 10.000 anni fa, si verificarono energetiche oscillazioni climatiche con lunghi periodi freddi nei quali un quarto delle attuali terre emerse fu ricoperto da ghiaccio. Anche le vette più elevate dell'Appennino furono interessate dal fenomeno.

I primi studi sul glacialismo dell'Appennino settentrionale sono riferiti alle Alpi Apuane.

Carlo De Stefani (1881, 1883, 1887) parlò per primo dei depositi morenici dell'Appennino e di bacini lacustri di origine glaciale. Poi lo seguì Federico Sacco (1891 e 1892) con una sua memoria sui depositi morenici dell'Appennino settentrionale e la prima sintesi (1893) nella quale si accenna anche alle dimensioni che furono raggiunte da questi ghiacciai.

Domenico Zaccagna (1898) realizzerà una cartina geologica nella quale sono rappresentati i depositi morenici del parmense e del reggiano.

Le tracce glaciali che troviamo nelle Alpi Apuane e nell'Appennino settentrionale sono da attribuire all'ultima fase würmiana che ha interessato questi rilievi tra 10.000-110.000 anni fa, dando gli ultimi "colpi di pennello" al paesaggio montano così come lo conosciamo oggi.

Solo in pochissimi casi, la presenza di depositi morenici cementati e direttamente coperti da altri depositi morenici sciolti, oppure spessori morenici di consistenza particolarmente rilevante

ed anomala, fanno supporre il contributo di una precedente glaciazione come osservò per primo l'Ing. Domenico Zaccagna nel 1898.

L'erosione glaciale ha modellato le sommità delle montagne ed ancora oggi si riconoscono circhi glaciali, valloni dai profili arrotondati dai ghiacciai e depositi morenici frontali e longitudinali che contribuiscono a disegnare un paesaggio molto simile a quello alpino.

L'area glaciale, nella catena Apuana, si localizzava nella fascia a quota maggiore, in corrispondenza del versante nord orientale, più freddo, mentre per l'Appennino Settentrionale sul versante nord. Le tracce si sono conservate dove l'acclività è minore ed è quindi stato possibile il maggior accumulo della neve e conseguentemente una più lunga conservazione dei ghiacci che da questa hanno avuto origine.

Per l'Appennino Settentrionale, l'acclività minore riguarda il versante Emiliano dove gli strati della formazione del flysch arenaceo presentano assetto a franapoggio; in Apuane è invece il versante nord orientale a presentare la minore inclinazione.

I motivi per i quali le tracce glaciali non sono poi così particolarmente rappresentate in queste aree montane di bassa latitudine, dipende probabilmente dal fatto che il fenomeno si è manifestato all'apice dell'evento climatico terminando poco tempo dopo, quando le mutate condizioni climatiche determinarono la loro scomparsa; il periodo di esistenza è stato così talmente breve che anche le impronte che oggi ritroviamo sono molto poco accentuate.

In Apuane le zone più tipiche sono in particolare tra il Pizzo d'Uccello ed il Monte Sumbra, poi ci sono le aree di Arni (tra Passo del Vestito e l'Altissimo), l'area compresa tra il Monte Corchia e le Panie ed infine, in tempi più recenti, è stata riconosciuta come glaciale anche la zona più occidentale tra il Monte Borla ed il Monte Sagro.



Figura 1. Ricostruzione degli antichi ghiacciai delle Alpi Apuane - Valle di Arni delle Gobbie e della Turrite Secca (da Braschi, Del Frio e Trevisan 1986 - elaborazione da Google Earth)

Il primo ad accertare l'antica esistenza di un ghiacciaio nelle Apuane, fu il Professor Antonio Stoppani (1824-1891), nel giugno del 1872, mentre in compagnia dell'amico Ing. Emilio Spreafico percorreva la valle di Arni. La notizia della scoperta, fu pubblicata lo stesso anno, nei Rendiconti del Regio Istituto Lombardo con il titolo *"Nota sull'esistenza d'un antico ghiacciaio nelle Alpi Apuane"*. Il fatto acquisisce ancora più importanza se si considera che questa è stata la prima scoperta per l'Italia peninsulare.

La morena occupa la valle del Canale della Gobbie ai piedi del Monte Altissimo. Il deposito glaciale è costituito da una massa caotica di clasti eterogenei soprattutto di marmo e subordinatamente di dolomia "grezzoni" e scisti porfirici, immersi in una matrice a granulometria medio fine.

Anche il Professor Iginò Cocchi (1827-1913), insigne geologo e paleontologo dell'Istituto di Studi Superiori Pratici e di Perfezionamento di Firenze che nel 1924 sarà trasformato in Università, aveva manifestato, quasi contemporaneamente a Stoppani, il sospetto che le Alpi Apuane una volta fossero state interessate dai ghiacciai esaminando la zona di Campocatino presso Vagli (1872).

Le tracce del primo ghiacciaio riconosciuto si trovano nell'alta valle della Turrîte Secca (Valle di Arni), poco a valle del paese di Campagrina (Fig. 1) e sono testimoniati da estesi depositi di massi spigolosi, talvolta cementati tra loro ad indicare un periodo glaciale precedente a quello würmiano.

Stoppani così gli descriverà: - ... "la fronte del ghiacciaio, delineata dalla morena, cioè da un gran cumulo di sassi quasi tutti di bianco marmo, che accenna a sbarrare tutta la valle d'Arni..."

Questi "sassi", se esaminati attentamente, mostrano le tipiche striature determinate dall'azione abrasiva provocata dal ghiaccio in movimento. L'antico ghiacciaio raggiungeva le pendici del Monte Altissimo, del Pelato, il Passo del Vestito, il Monte Macina, il Monte Fiocca fino al Fosso del Fatonero.

Il ghiacciaio si divideva in due rami: quello che occupava la valle delle Gobbie (lungo circa 2 km) e quello principale che seguiva l'asse del Turrîte Secca (circa 3,7 km). Giunti poco più a valle di Campagrina, i due rami si riunivano in un unico fronte lasciando il loro carico di depositi morenici.

Il "circo glaciale", ovvero la depressione semi circolare dominata da ripide pareti rocciose e parzialmente sbarrata a valle da una soglia più o meno marcata, è



Figura 2. Il monte Fiocca e Sumbra con i loro circhi glaciali (bacino dei fossi Fatonero e Anguillaia). Foto Francesco Mantelli CAI Valdarno Inferiore

la forma glaciale più comune che si può osservare (Fig. 2).

In Appennino settentrionale questi antichi siti sono spesso sede di modesti laghetti che raccolgono per lo più acque piovane; la soglia, per i laghetti posti alle quote più alte è quasi sempre rappresentata dalla "testata" degli strati la cui continuità è stata interrotta proprio dall'esarazione dell'antico corpo glaciale, in altri casi (generalmente a quote inferiori), sono i cordoni morenici formati nelle fasi di ritiro del ghiacciaio a formare la soglia.

In Apuane le selle o passi che qui assumono la denominazione di "foci" (Focolaccia, Foce Giovo, Foce di Mosceta), costituiscono le così dette "soglie di trasfluenza glaciale" che permettevano alle masse o correnti glaciali di attraversare i versanti presso gli spartiacque ribassandoli; in casi più rari si sono formate "soglie di diffluenza" (Passo del

Vestito, Foce Pianza), dove il ghiaccio si biforcava formando due lingue distinte.

In Apuane, anche se decisamente insolite, sono presenti valli glaciali dalla tipica forma concava ad "U", come nel caso di Orto di Donna e della val Serenaia e le "conche glaciali" tra cui Mosceta, Fociomboli e Campocatino (Figg. 3, 4 e 5).

Poco diffuse sono le "rocce montonate", ovvero le tipiche forme rocciose convesse modellate dal passaggio della massa di ghiaccio con i frammenti rocciosi in essa inglobati (Fig. 6).

Particolarmente spettacolari sono le docce glaciali che si possono osservare a nord di Vinca, sotto al Pizzo dell'Aquila (Fig. 7). In questo caso la morfologia si è potuta conservare grazie alla permeabilità indotta dal fenomeno carsico che si è sviluppato nei marmi liassici ed ha impedito il ruscellamento lungo il canale con la conseguente erosione che si sarebbe altrimenti sviluppata.



Figura 3. La forma ad "U" della val Serenaia - ghiacciaio di Gramolazzo (elaborazione da Google Earth)



Figura 4. La cresta sottile (arête) sul versante meridionale del Monte Sumbra. Si tratta di una morfologia dovuta all'esorazione delle testate di due circhi adiacenti (foto Francesco Mantelli CAI Valdarno Inferiore)



Figura 5. La conca glaciale di Campocatino (foto archivio Marco Bastogi)

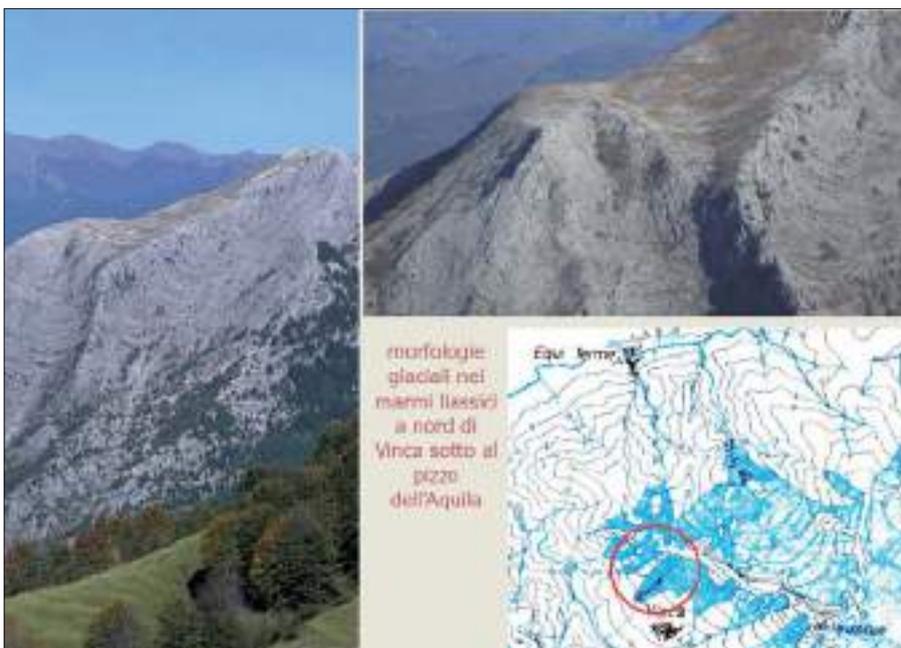


Figura 6. Ricostruzione degli antichi ghiacciai delle Alpi Apuane – I canali sotto il pizzo dell'Aquila a NW di Vinca (da Braschi, Del Freato e Trevisan 1986 – foto archivio CAI)



Figura 7. Roccia "montonata" presso la torbiera di Fociomboli (foto archivio Marco Bastogi)

Tra le forme di deposito che possiamo trovare, sia in Apuane che nell'Appennino, le più diffuse sono le morene. In generale è possibile distinguerle dal detrito per l'eterogeneità e la scarsa classazione dei materiali: si tratta, in Apuane, di una mescolanza di massi e detrito carbonatico in matrice fine originata da rocce scistose, mentre in Appennino, di detrito arenaceo in matrice argillo-sabbiosa.

Tra le morene più diffuse in Apuane, quelle "frontali". Ce ne sono di ben riconoscibili in diverse vallate interne, particolarmente spettacolare è quella presso il canale del Libardo a Gramolazzo. Più rare sono le morene laterali (versante sud ovest del Monte Corchia) o quelle dovute alle fasi di progressivo ritiro del ghiacciaio per il quale un esempio particolarmente esemplare è offerto dall'anfiteatro morenico della conca di Campocatino.

Si possono trovare massi di enormi dimensioni trasportati dal ghiacciaio (massi erratici) che talora, se formati da marmo, sono stati oggetto di attività estrattiva. Ben noti sono quelli della valle dell'Edron e quelli della valle di Gramolazzo.

Nel 1986, Braschi S., Del Freato P. e Trevisan L. effettuano per le Alpi Apuane, una ricostruzione della distribuzione degli antichi ghiacciai. La ricostruzione si basa sulle testimonianze glaciali fino ad allora individuate ed è ancora oggi valida. Essa amplia considerevolmente le prime ipotesi degli studiosi di fine '800 che avevano individuato dodici ghiacciai (De Stefani 1890).

Vediamo adesso quali erano i più importanti centri glaciali ed in particolare quelli che hanno lasciato le tracce più significative.

GHIACCIAIO DI GRAMOLAZZO (Fig. 8)

Era il ghiacciaio più esteso con il suo fronte che scendeva fino alla quota di m 600, in corrispondenza dell'omonimo

paese. Occupava una superficie di circa 12 kmq per una lunghezza massima di circa 6 km. In esso confluivano i ghiacci del bacino compreso tra Pizzo d'Uccello, monte Grondilice, monte Cavallo ed il monte Pisanino; attraverso la "sella" di Minucciano inoltre, una breve lingua trasfluiva in direzione nord.

Gli accumuli morenici sono particolarmente estesi presso la confluenza tra i torrenti Acquabianca e Gramolazzo, tuttavia oggi risultano in parte coperti dai depositi di frana.

IL GHIACCIAIO DI GORFIGLIANO (FIG. 9)

Discendeva dal bacino compreso tra il monte Pisanino, il Cavallo e la Tambura, più ad oriente del ghiacciaio di Gramolazzo. Il ghiacciaio di lunghezza di poco inferiore ai 6 km, occupava una superficie di circa 8 kmq. Il fronte e la sua quota erano talmente vicino a quello del ghiacciaio di Gramolazzo che non si può escludere la possibilità che in certi momenti siano stati uniti.

GHIACCIAIO DEL SOLCO DI EQUI

Scendeva dalla cresta del Pizzo d'Uccello e si dirigeva lungo la valle in direzione nord ovest. Il ghiacciaio fino a qualche anno fa ufficialmente sconosciuto, era comunque stato ipotizzato esistente da De Stefani nel 1890 senza tuttavia averne prove certe. Anche il Prof. Cocchi, ipotizzò l'origine glaciale di un masso localizzato nel Solco di Equi noto localmente con il nome "Paiolo".

La lunghezza di questo ghiacciaio non eccedeva i 2,5 km ed aveva un fronte a quota 400, particolarmente più basso rispetto a tutti gli altri ghiacciai apuani. Questa singolarità dipendeva dal fatto che il margine meridionale è costituito da una ripidissima e lunga parete che riparava, mantenendo in ombra, il ghiacciaio esposto a nord. Ancora oggi, una striscia di neve si mantiene fino all'arrivo dell'estate e sulle carte topografiche la zona viene indicata con il toponimo "Cantoni di neve vecchia".

IL GHIACCIAIO DI VAGLI (FIG. 10)

È certamente il ghiacciaio che ha lasciato le tracce migliori. Copriva Campocatino dove ha prodotto la tipica forma a conca perfettamente rotondeggiante. La massa di ghiaccio localizzata ai piedi del Roccandagia, scese il ripido pendio in direzione di Vagli di Sopra proseguendo per il canale del Gruppo e lungo il fosso Tambura dove si sarebbe unita alla "lingua glaciale" proveniente dal monte Tambura. I depositi della morena frontale raggiungono il lago di



Figura 8. Ricostruzione degli antichi ghiacciai delle Alpi Apuane – Il ghiacciaio di Gramolazzo delimitato dalla dorsale compresa tra Pizzo d'Uccello, monte Grondilice, monte Cavallo e monte Pisanino. Dalla "sella" di Minucciano, una breve lingua trasfluiva in direzione nord (da Braschi, Del Frio e Trevisan 1986 - elaborazione da Google Earth)



Figura 9. Ricostruzione degli antichi ghiacciai delle Alpi Apuane - Il ghiacciaio di Gorfigliano (da Braschi, Del Frio e Trevisan 1986 - elaborazione da Google Earth)



Figura 10. Ricostruzione degli antichi ghiacciai delle Alpi Apuane – Il ghiacciaio di Vagli. Ai piedi del Roccandagia copriva Campocatino per poi discendere il ripido versante verso Vagli (da Braschi, Del Frio e Trevisan 1986 - elaborazione da Google Earth)

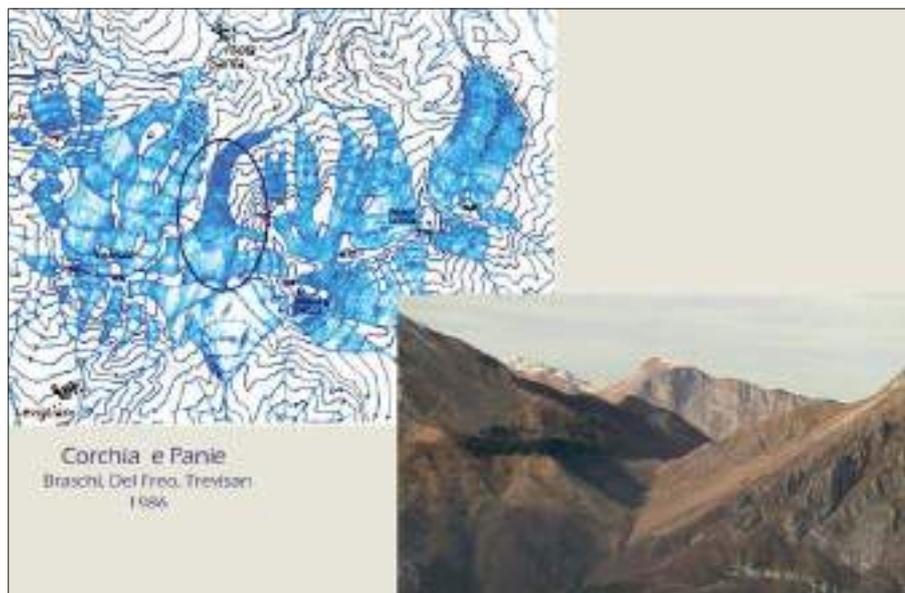


Figura 11. Ricostruzione degli antichi ghiacciai delle Alpi Apuane – Il ghiacciaio Mosqueta. Ai piedi del versante orientale del M. Corchia ed occidentale della Pania della Croce (da Braschi, Del Freato e Trevisan 1986 – foto archivio Bastogi)

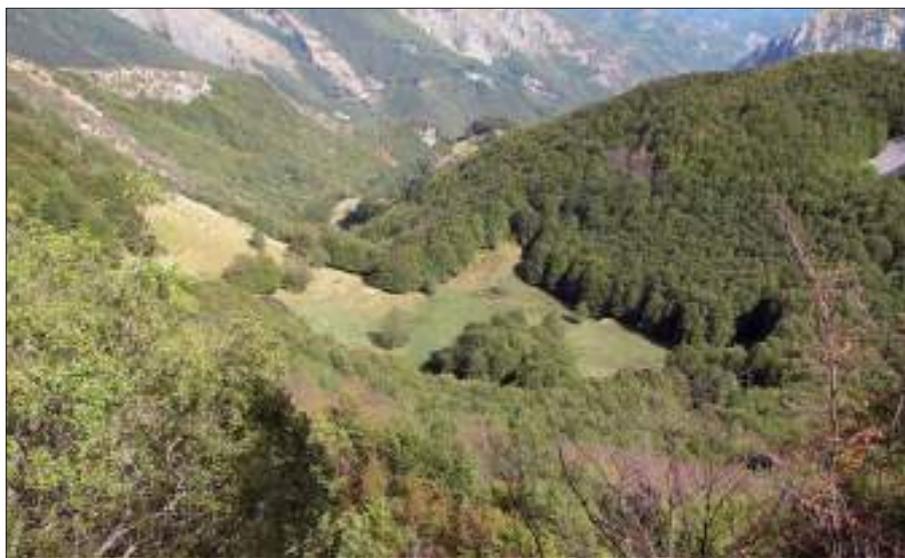


Figura 12. La torfiera di Fociomboli. La forma tipicamente circolare denota il suo passato glaciale. È la torfiera più importante delle Apuane; l'esarazione ha raggiunto il basamento Paleozoico impermeabile. (Foto archivio CAI)



Figura 13. Ricostruzione degli antichi ghiacciai delle Alpi Apuane – Il ghiacciaio di Campo Cecina. Il più occidentale dei ghiacciai apuani, tra il Monte Sagro ed il Monte Borla (da Braschi, Del Freato e Trevisan 1986 – elaborazione da Google Earth)

Vagli di Sotto a quota 550, fondendosi con i depositi morenici del ramo principale che discendeva dal monte Fiocca e dal Monte Sumbra, percorrendo la valle dell'Arnetola. Il ghiacciaio raggiungeva i 6 km circa di lunghezza ed occupava un'area di circa 8 kmq.

A Campocatino, l'ampia cerchia regolare di massi che delimita l'area concava presso il lato orientale (lato di valle), costituisce certamente, per le Alpi Apuane, l'esempio migliore di morena. La perfetta conservazione dei depositi morenici, dipesa dall'assenza di interferenza erosiva dovuta ai corsi d'acqua, mostra chiaramente l'alternanza tra lento ritiro ed avanzamento del ghiacciaio.

IL GHIACCIAIO DELLA FOCE DI MOSCETA (Fig. 11)

La Foce di Mosqueta raccoglieva i ghiacciai che scendevano dal versante orientale del monte Corchia e da quello occidentale della Pania della Croce. A Foce di Mosqueta sono ancora oggi osservabili depositi morenici che determinano una tipica morfologia ondulata. Dalla sella di Mosqueta, una lingua scendeva verso nord fino a quota 700 m s.l.m. ed un'altra più ampia, verso sud fino a quota 800 s.l.m..

IL GHIACCIAIO DI PUNTATO (Fig. 12)

Il regolarissimo circo glaciale posto a nord est del M. Corchia (torbiera di Fociomboli), presenta in vicinanza, depositi glaciali perfettamente conservati che occupano i versanti del canale delle Fredde e della Val Terreno in direzione della Turrite Secca, indicando l'antico percorso glaciale. L'antico ghiacciaio scendeva dal versante nord del Corchia e da quello est del monte Freddone e raggiungeva Isola Santa.

Il ghiacciaio si divide a metà circa del suo cammino a causa di un interposto rilievo a circa metà del suo percorso.

Attorno a Puntato sono evidenti diversi accumuli morenici di forma concentrica ad indicare stadi successivi del ritiro glaciale. Qui sono anche evidenti tracce di arrotondamento dei massi ad opera del ghiaccio che raggiunse un'estensione di 2,3 km.

La particolarità di Fociomboli cioè il motivo per cui si è formata la zona umida più importante delle Apuane, sta nel fatto che il ghiacciaio ha scavato le rocce carbonatiche (dolomie), raggiungendo il sottostante basamento paleozoico impermeabile, costituito da "scisti porfirici". La conca colmata nel tempo da sedimenti lacustri e torbosi (circa quattro metri di spessore), costituisce la

più grande torbiera delle Alpi Apuane nella quale si conservano emergenze floricole endemiche di estremo interesse fisiogeografico come la Pinguicola, una pianta carnivora.

IL PICCOLO GHIACCIAIO DEI PADULI

A Pian di Lago, all'inizio del canale delle Fredde, si trovano tracce di un piccolo, ma molto preciso circo glaciale. In questo caso, la "conca", non è bordata da accumuli morenici. Le prove del passaggio del ghiacciaio sono date dai pochi frammenti e massi erratici calcarei su un substrato di rocce scistose. Questa vedretta ebbe comunque una estensione di non oltre un chilometro.

IL GHIACCIAIO DI CAMPO CECINA

(Fig. 13)

Era il ghiacciaio localizzato più ad occidente tra quelli Apuani, ad ovest di monte Borla. Lingue glaciali si staccavano dall'altipiano ondulato di Campo Cecina e dai monti circostanti in direzione nord e sud, congiungendosi con i ghiacci provenienti dal versante ovest del monte Sagro.

Per l'Appennino settentrionale esiste uno studio analogo a quello svolto da Braschi S., Del Frio P. e Trevisan L.. In questo caso lo studio è stato svolto dal Professor Ugo Losacco nel 1982. Losacco integrerà indagini svolte in anni precedenti per esaminare l'Appennino settentrionale sotto il profilo morfologico e paleogeografico. In particolare Losacco, suddividendo l'Appennino settentrionale in gruppi montuosi distinti, descrive con dettaglio gli aspetti glaciologici del crinale montano, rilevando, per la prima volta, l'estensione dei depositi morenici.

Tra il passo della Cisa ed il passo di Lagastrello, la dorsale compresa tra i gruppi del monte Marmagna (m 1.852 s.l.m.) e del monte Sillara (m 1.861 s.l.m.), si rialza. Si tratta della unità orografica posta alla testata delle ampie vallate del Parma e del Cedra nell'Appennino Parmense (Fig. 14).

È questa l'area dell'Appennino settentrionale in cui i fenomeni glaciali si sono maggiormente sviluppati anche se come per le Apuane, i ghiacciai avevano sempre modeste dimensioni. Si trattava di ghiacciai di altipiano o vallivi, relegati alla stretta fascia montana più elevata; nessuno di questi ha mai raggiunto i 10 km di estensione.

I più importanti dell'Appennino settentrionale furono proprio quelli della val di Parma (8 km di lunghezza) e della val Cedra (lunghezza 7,5 km). Sulla ba-

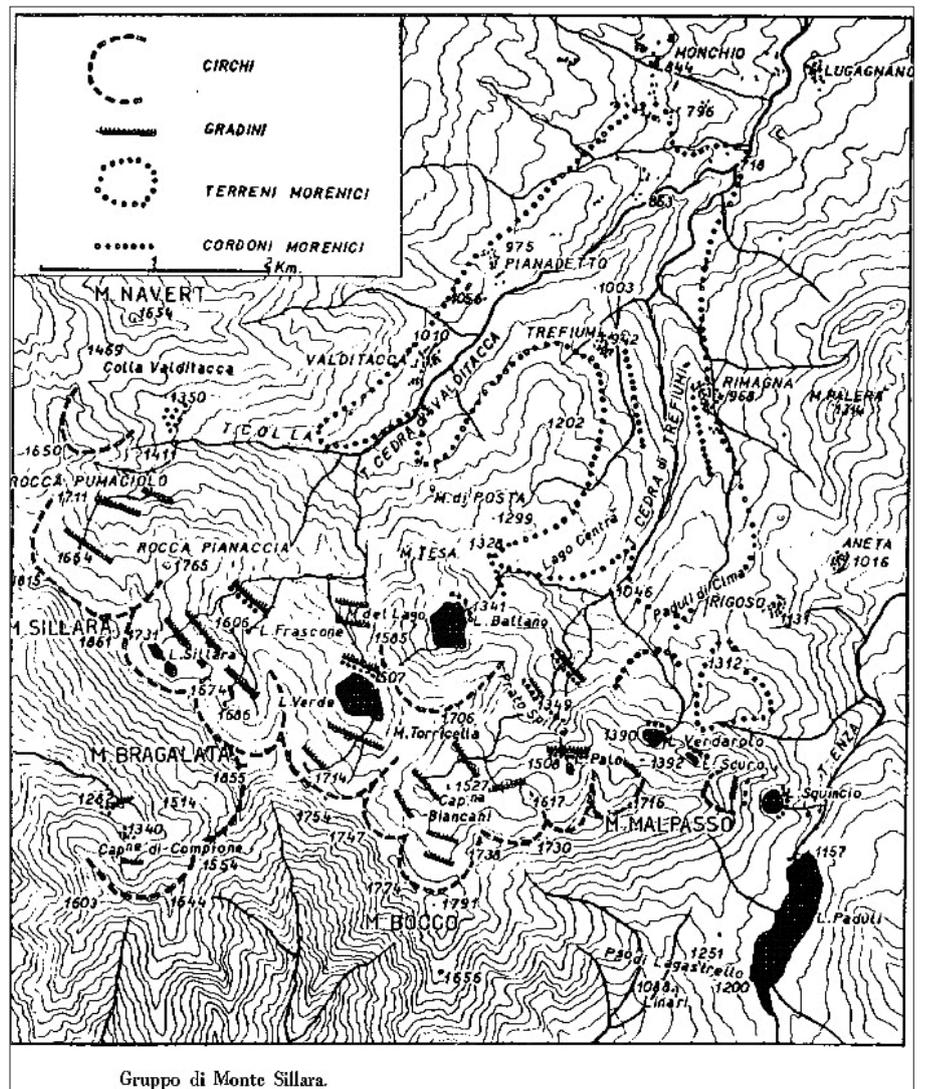


Figura 14. Rilievo glaciologico tra il Monte Navert ed il Passo di Lagastrello (gruppo di Monte Sillara) da Losacco 1982

se della posizione dei depositi morenici laterali si stima che il ghiacciaio della val di Parma avesse raggiunto una potenza di 250 metri.

Proprio in questo tratto appenninico tra la val Cedra e la val di Parma, presso il monte Navert (m 1.654 s.l.m.), sono stati riconosciuti depositi morenici più antichi del Würm. La singolarità di questi depositi fu sottolineata già da Domenico Zaccagna nel 1898 che per primo gli attribuì ad una diversa glaciazione: "...i cumuli morenici coprenti i dossi più elevati sono da attribuire alla morena più antica del ghiacciaio e quei cordoni lacustri sono formati invece da glaciazioni più recenti".

L'attribuzione ad un glacialismo precedente, rissiano, si fonda esclusivamente sullo spessore particolarmente imponente ed anomalo che presenta il deposito che farebbe pensare, in caso contrario, ad un ghiacciaio dalle dimensioni non comparabili con quelli stimati per l'ultimo periodo glaciale nella medesima area geografica.

Nel tratto di catena considerato, affiora quasi esclusivamente la forma-

zione arenacea del Macigno con assetto monoclinale degli strati, diretti verso nord est con inclinazioni comprese tra 20° - 40° (Fig. 15).

Un assetto decisamente favorevole a trattenere le nevi, mentre l'orientamento verso nord, ha permesso il mantenimento della copertura nevosa per tempi più lunghi così da permettere la formazione dei ghiacci.

Con il tempo e molto lentamente, le masse di ghiaccio si sono mosse lungo il pendio provocando la frammentazione delle sottostanti arenarie che hanno originato le tipiche conche sospese che oggi possiamo osservare (Fig. 16).

Se l'alimentazione nivale è ben sostenuta dal circo si genera una lingua glaciale che scende lungo la valle.

La coalescenza dei circhi glaciali presenti in questo tratto appenninico, assieme alla notevole abbondanza di depositi morenici, fa ritenere, a differenza dalla catena Apuana, l'esistenza di un'ampia fascia glaciale contigua. La quantità di acqua disponibile nella fase del disgelo è stata decisamente abbondante e per la morfologia ad altipiano,

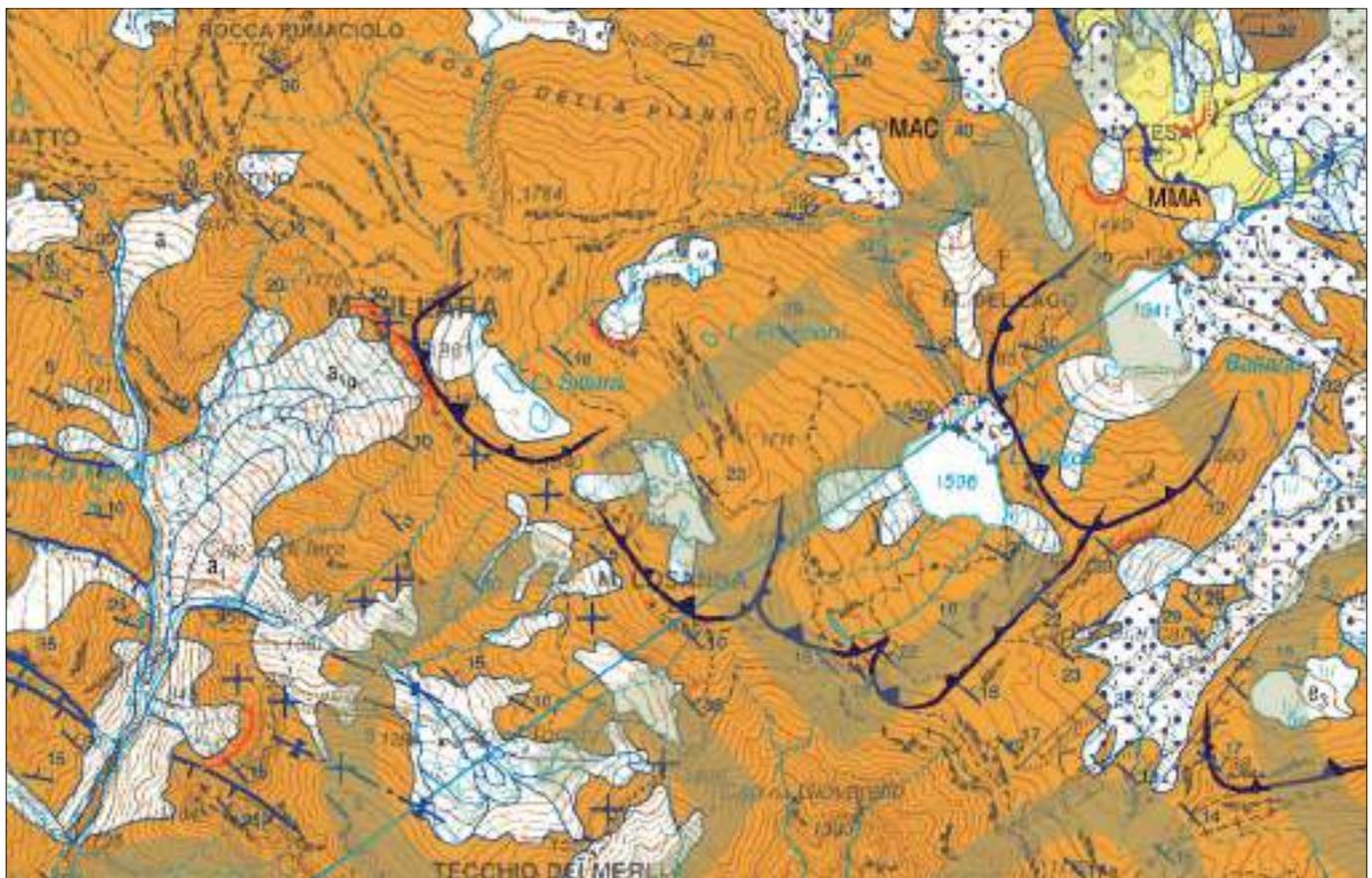


Figura 15. Stralcio tratto dalla nuova Carta Geologica (F. 234 Fivizzano), della zona di crinale compresa tra Monte Sillara ed il passo di Lagastrello. Si nota con colorazione prevalente la formazione arenacea del Macigno, l'assetto degli strati e la giacitura dei circhi glaciali



Figura 16. Un piccolo circo glaciale presso il Monte Malpasso (Appennino Parmense) (foto archivio Marco Bastogi)



Figura 17. Cavitazioni prodotte a seguito dello scioglimento dei ghiacciai (foto Francesco Mantelli CAI Valdarno Inferiore)

le acque di fusione subglaciale che scorrevano in pressione tra letto roccioso e ghiaccio, si sono distribuite su una superficie ampia senza concentrarsi. Si sono verificati così molti fenomeni di cavitazione per lo più di modeste dimensioni (da pochi centimetri a qualche decimetro) determinati dall'azione erosiva del materiale granulare liberato dai ghiacci e trasportato dalle acque che con moti vorticosi hanno scavato il substrato roccioso producendo cavità globulari ancora oggi facilmente visibili percorrendo i sentieri (Fig. 17). In alcuni casi nella cavità è ancora possibile ritrovare

l'elemento detritico ben arrotondato che l'ha determinata.

In Apuane, la diversa conformazione orografica rispetto a quella dell'Appennino, ha condizionato la distribuzione della copertura glaciale che spesso è delimitata in ambiti più contenuti così che queste forme erosive risultano meno diffuse. In conseguenza della fusione dei ghiacci, aree glaciali circoscritte in cui le acque si sono potute concentrare, hanno talvolta determinato fenomeni erosivi di cavitazione analoghi, ma di diversa scala dimensionale.

Lungo il corso dei torrenti Anguillaia e Fatonero, sul versante meridionale dei



Figura 18. "Marmite dei Giganti" lungo il fosso Fato-nero (versante meridionale del Monte Fiocca-Apuane), prodotte a seguito dello scioglimento dei ghiacciai (foto archivio CAI)



Figura 19. I laghi Sillara ed il Lago Verde. Appennino parmense. La posizione dei laghetti in corrispondenza di circhi glaciali (immagine elaborata da Google Earth)

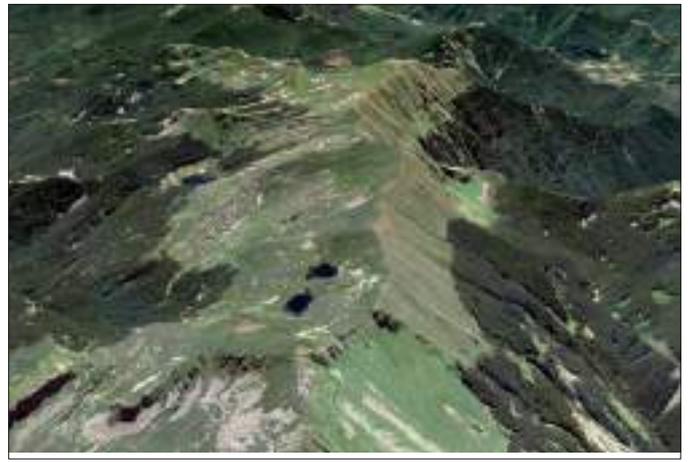


Figura 20. Il crinale appenninico presso il Monte Sillara. Si noti sul versante Emiliano le testate degli strati esposte dopo l'esarazione glaciale (immagine elaborata da Google Earth)



Figure 21-22. I laghi della Valmasque, Alpi Marittime francesi ed il lago Martini nell'Appennino parmense (foto archivio Marco Bastogi)

monti Sumbra e Fiocca, l'azione delle acque con il loro moto vorticoso ed il carico detritico liberato dallo scioglimento del ghiaccio, ha prodotto quelle spettacolari forme, accentuate anche dal fenomeno carsico, denominate "marmitte dei giganti"; le loro dimensioni rendono evidentemente conto, della abbondanza di acqua che si è concentrata nella modesta vallecchia sottostante gli antichi circhi glaciali, provocando queste grandi e spettacolari cavità di erosione e corrosione (Fig. 18).

La particolare struttura dell'Appennino settentrionale, il cui crinale separa due distinti assetti giaciturali degli strati: il versante toscano è più ripido per la presenza delle testate degli strati che immergono contro il pedio (reggipoggio) ed il versante emiliano con gli strati che inclinano nella stessa direzione del pendio (franapoggio), ha determinato sul lato settentrionale interessato dal fenomeno glaciale la formazione di nu-

merose depressioni dovute all'esarazione glaciale in cui le acque di ruscellamento si raccolgono dando luogo ad un paesaggio caratterizzato da una miriade di piccoli laghetti taluni dei quali temporanei (Figg. 19 e 20).

Una morfologia di questi invasi che mostra una perfetta convergenza con certi laghi della Alpi dove l'azione glaciale ha evidentemente agito con maggior vigore, lasciando tuttavia svelare la comune genesi (Figg. 21 e 22).

BIBLIOGRAFIA

- BASTOGI M. (2010), *Anche le Apuane avevano i loro ghiacciai*. Alpinismo Fiorentino, Annuario 2010 Sez. CAI Firenze pp. 40-43.
- BRASCHI S., DEL FREO P., TREVISAN L. (1986), *Ricostruzione degli antichi ghiacciai sulle Alpi Apuane*. Atti Soc. It. Ac. Nat. Mem. serie A, 93 pp. 203-219.
- COCCHI I. (1872), *Del terreno glaciale nelle Alpi Apuane*. Boll. del R. Comit. Geol. It., Vol. III, pp. 187-197, Firenze.

DE STEFANI C. (1890), *Gli antichi ghiacciai delle Apuane*. Boll. del Club Alpino Italiano vol. XXIV, N. 57.

DE STEFANI C. (1883), *I laghi dell'Appennino settentrionale*. Boll. del Club Alpino Italiano n. XVII, pp. 99-140.

FEDERICI P.R. (1977), *Tracce di glacialismo prewürmiano nell'Appennino parmense*. Riv. Geogr. It. vol. 84 pp.205-216.

LOSACCO U. (1983), *Gli antichi ghiacciai dell'Appennino settentrionale. Studio morfologico e paleogeografico*. Atti Soc. dei Nat. e Mat. di Modena, v. 113, Mucchi, Modena.

SACCO F. (1893), *Lo sviluppo glaciale nell'Appennino settentrionale*. Boll. Club Alpino Italiano XXVII, pp. 263-282.

SACCO F. (1927), *Gli studi glaciologici in Italia. Relazione e bibliografia*. Cons. naz. di Ricerche Comit. Geod. e Geofis., Roma.

STOPPANI A. (1872), *Sull'esistenza di un antico ghiacciaio nelle Alpi Apuane*. Atti della Soc. It. di Sc. nat. vol. xv. Rendiconti del R. Istituto lombardo di sc. e let. S. vol. V, p.733.

ZACCAGNA D. (1898), *Nuove osservazioni sui terreni costituenti la zona centrale dell'Appennino adiacente all'Alpe Apuana*. Boll. R. Com. Geol. It., vol. 29 pp. 83-97 e 174-248.

La Rupe di San Leo: analisi del dissesto idrogeologico e misure per la mitigazione del rischio

Claudio Corrado Lucente
Geologo, funzionario dell'Agenzia regionale per la sicurezza del territorio e la protezione civile, Servizio Area Romagna - Regione Emilia-Romagna
E-mail: claudio.lucente@regione.emilia-romagna.it

The San Leo rock cliff: landslide risk analysis and mitigation

Parole chiave: San Leo, rupe, dissesto idrogeologico, rischio idrogeologico, mitigazione del rischio

Key words: San Leo cliff, slope instability, landslide risk, risk mitigation

1. INTRODUZIONE

L'abitato di San Leo, nel cuore della valle del Marecchia (Regione Emilia-Romagna, entroterra riminese, Fig. 1), con la sua storica fortezza sorge su una rupe rocciosa isolata e circondata da terreni argillosi. L'area su cui insiste l'abitato di San Leo è storicamente nota per il succedersi di numerosi e, a volte, disastrosi eventi franosi, riportati in documenti storici o dedotti da rappresentazioni pittoriche che mostrano una rupe di San Leo diversa e ben più estesa rispetto ad oggi (vedi sintesi in Benedetti *et al.*, 2011; Nesci & Guerra, 2013).

L'esposizione al dissesto, legata alla sua conformazione geomorfologica, accomuna l'abitato di San Leo a tanti altri borghi storici medievali dell'Italia che hanno dovuto misurarsi nel corso dei secoli con disastrosi fenomeni franosi: Orvieto, Civita di Bagnoregio, Todi, per citare solo alcuni degli esempi più noti.

L'ultimo crollo, in ordine di tempo, avvenuto a San Leo (febbraio 2014) si aggiunge alla lunga serie di fenomeni franosi che continuano a minacciare l'integrità dell'ammasso roccioso e con esso la sicurezza della città di San Leo e della sua maestosa fortezza.

Riconosciuto lo stato di elevato rischio idrogeologico a seguito di alcuni crolli che hanno interessato la fortezza e la strada di accesso all'abitato (1930-1949), San Leo è stato dichiarato "abitato da consolidare" ai sensi della L. 445/1908 con D.P.R. 217 del 18 gennaio 1951. Dal 2004, con adozione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) Marecchia-Conca (oggi assorbito dall'Autorità distrettuale del fiume Po), tutta la fascia di territorio attorno alla rupe di San Leo è perimetrata, ai sensi della L. 267/1998, come area a rischio idrogeologico molto elevato. A conferma dello stato di attenzione che San Leo ha richiamato su di sé, sono state avanzate in passato alcune Proposte di Legge per la salvaguardia e la tutela

di San Leo, che tuttavia non hanno mai concluso il proprio iter.

Per la mitigazione del rischio, negli ultimi settant'anni sono stati eseguiti diversi interventi di consolidamento delle pareti rocciose, in particolare lungo la parete sud, sede dell'abitato e della via di accesso all'abitato stesso e lungo la parete est, nel settore occupato dalla fortezza. Alla fine degli anni '70, gli interventi per la mitigazione del rischio hanno riguardato anche le aree ai piedi della rupe, con l'intento di ridurre l'azione erosiva dei fossi Campone e Seripa e impedire lo scalzamento alla base della rupe, che è stato all'origine dei grandi crolli come in occasione della frana del 2014. Nonostante gli interventi eseguiti nel passato, più o meno recente, il grado di rischio idrogeologico che caratterizza la rupe di San Leo rimane ancora elevato.

Il grande crollo "febbraio 2014" rappresenta un fatto nuovo nella gestione del rischio dell'intera rupe di San Leo

poiché prima di tale evento, il versante nord non era ritenuto una zona a rischio alla stessa stregua dei versanti sud (abitato e via di accesso all'abitato) ed est (fortezza e via di accesso alla fortezza), poiché gli elementi a rischio si limitavano al depuratore e, marginalmente, alla strada circonvallazione di San Leo. Oggi invece, avendo la frana generato un arretramento del ciglio della rupe tale da avvicinarsi alle abitazioni civili, anche il lato nord ha assunto una connotazione di rischio elevato.

Dopo i primi interventi di mitigazione del rischio eseguiti a fasi alterne tra il 1949 e il 2008, con il crollo del 2014 la Rupe di San Leo è stata oggetto di un approfondito studio multidisciplinare che ha visto e vede l'impiego di diverse tecniche di indagine e di monitoraggio per la prevenzione e la mitigazione del rischio idrogeologico.

L'approfondimento conoscitivo è stato fondamentale nella gestione dell'emergenza.

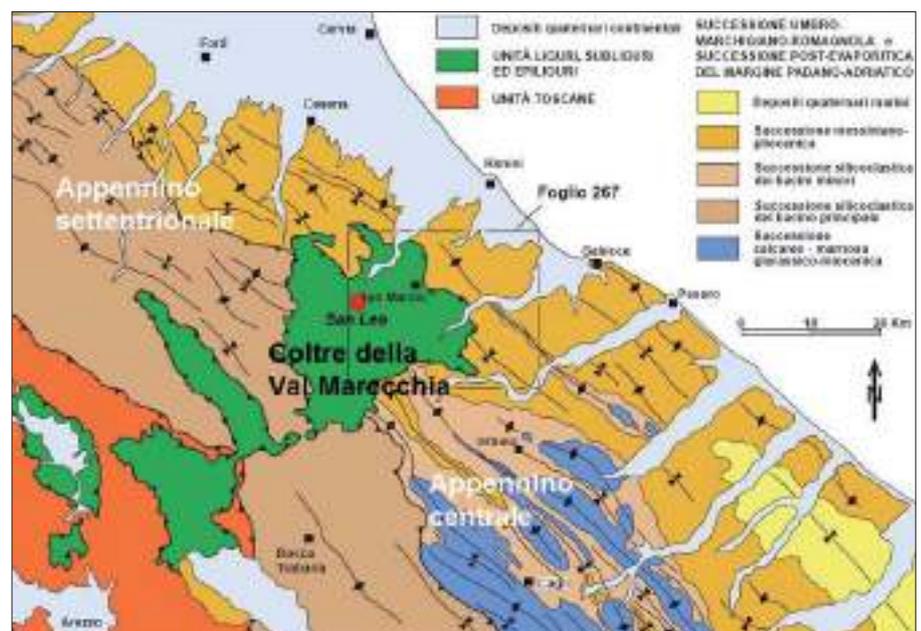


Figura 1. Schema geologico dell'area del Montefeltro, dove sorge il borgo medioevale di San Leo (in evidenza). La Rupe di San Leo rappresenta un piccolo lembo all'interno della Coltre della Val Marecchia. La coltre è avanzata da SW a NE sormontando unità geologiche via via più recenti. San Leo ricade all'interno del Foglio 267 "San Marino" scala 1:50.000, progetto CARG

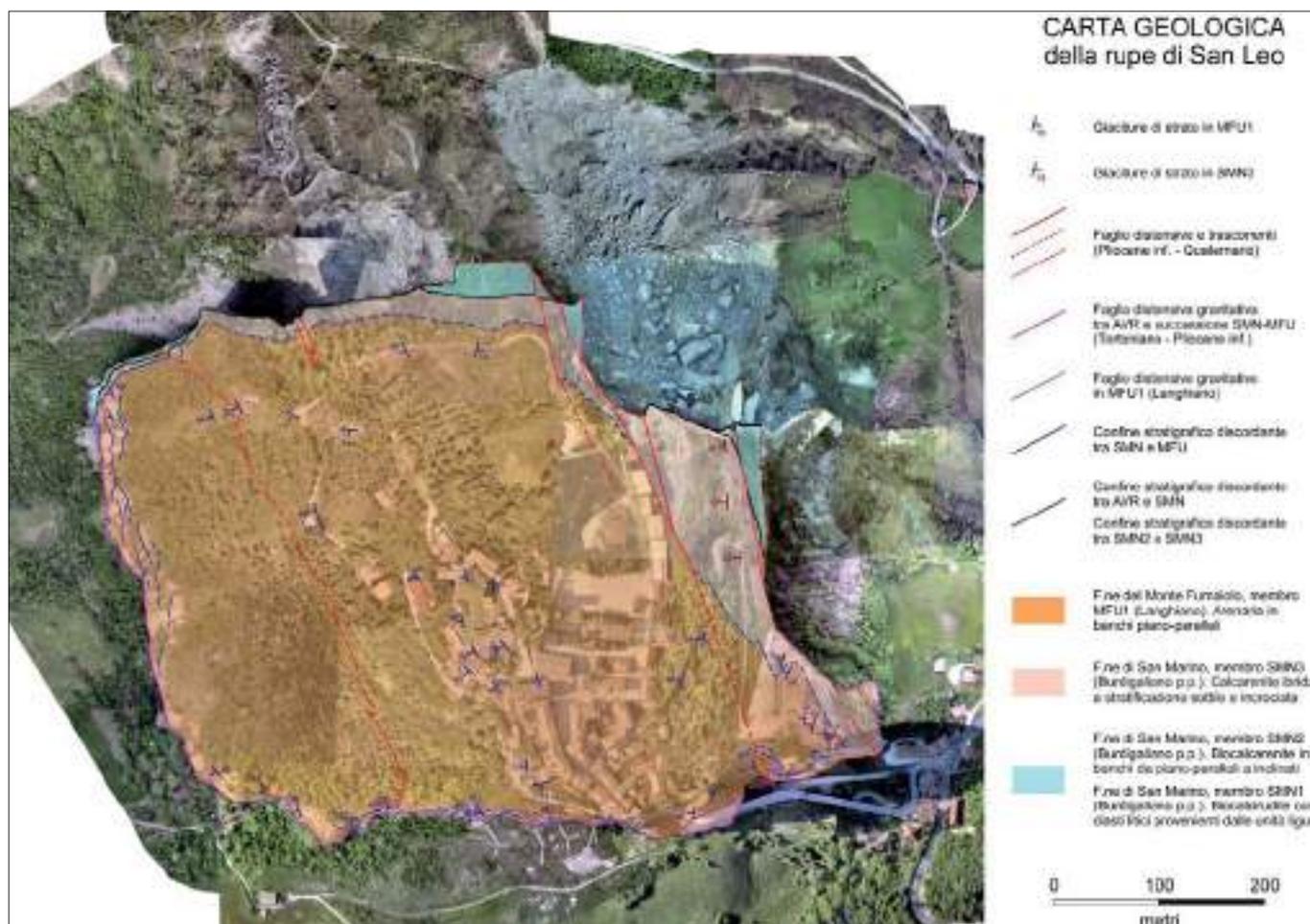


Figura 2. Carta geologica di dettaglio della Rupe di San Leo su base orto-fotogrammetrica (da Landuzzi et al., 2018)

genza all'indomani del crollo, fornendo gli elementi necessari per la definizione degli scenari di rischio e la formulazione del piano di emergenza di protezione civile. Inoltre, sulla base degli studi condotti in questi anni è stato possibile definire un modello geologico della rupe, riconoscere e descrivere i principali sistemi di discontinuità, risalire alle cause del dissesto e ai cinematismi che governano l'instabilità dell'ammasso roccioso. Le conoscenze sinora acquisite sono risultate indispensabili per la programmazione e la progettazione di ulteriori interventi di mitigazione del rischio, alcuni dei quali già realizzati altri in fase di realizzazione e di progettazione. Comunque alcuni aspetti necessitano ancora di ulteriori approfondimenti.

Nelle pagine seguenti sono illustrate le caratteristiche geologiche e geomorfologiche della Rupe di San Leo e il dissesto idrogeologico che ne consegue e, per la prima volta, viene fornita una rassegna completa degli interventi che sono stati realizzati per il consolidamento e la mitigazione del rischio idrogeologico negli ultimi settanta anni. L'obiettivo è quello di fornire un inquadramento generale su San Leo, forse meno noto di altri casi simili (vedi Orvieto o Civita di Bagnoregio) ma non meno interessante e per certi versi unico.

2. GEOLOGIA

La Rupe di San Leo è situata all'interno di una vasta area del Montefeltro in cui affiora la ben nota "Coltre della Val Marecchia" (Ruggeri, 1958) costituita da unità geologiche appartenenti ai due domini paleogeografici Ligure ed Epiligure (Fig. 1). Si tratta di una coltre tettonica e/o gravitativa, la cui messa in posto è avvenuta durante la formazione della catena appenninica sovrappendosi, in posizione alloctona, sulla successione umbro-marchigiano romagnola, in posizione autoctona (Ricci Lucchi, Ori, 1985; De Feyter, 1991; Conti, 1994; Conti, Tosatti, 1996; Roveri *et al.*, 1999; Lucente *et al.*, 2002).

Le unità Liguri sono costituite principalmente da terreni argillosi, marnosi e silicei e sono intensamente deformati per via della strutturazione tettonica subita durante l'orogenesi appenninica. Attraverso una discordanza stratigrafica d'importanza regionale (Ricci Lucchi, 1986), le unità liguri sono coperte da rocce sedimentarie, note come unità epiligure, la cui deposizione è avvenuta durante la traslazione della Coltre Ligure giungendo, nel corso delle varie fasi di avanzamento, a occupare l'attuale posizione geografica (Fig. 1).

La Rupe di San Leo è costituita da rocce appartenenti alle unità epiliguri;

si riconoscono due distinte formazioni geologiche: la F.ne di San Marino, prevalentemente calcarea, e la F.ne di Monte Fumaiolo, prevalentemente arenacea (Fig. 2). La F.ne di San Marino affiora sostanzialmente nella porzione nord-orientale della placca caratterizzando la parete est e nord della rupe. La F.ne di Monte Fumaiolo occupa, invece, la porzione sud-occidentale della placca, caratterizzando, per gran parte, la parete ovest e sud della rupe e la sommità della stessa (Lucente, 2015). Nell'insieme l'assetto stratigrafico mostra un'immersione verso sudovest. Il substrato argilloso su cui poggia la rupe appartiene invece alle Argille Varicolori, formazione basale delle unità liguri in Alta Val Marecchia, intensamente deformata e caotica, dalla tipica struttura "scagliosa".

Una recente revisione geologica della Rupe di San Leo (Landuzzi *et al.*, 2018) ha consentito di riconoscere nel dettaglio le diverse unità litostratigrafiche di cui è costituito l'ammasso roccioso e le argilliti sottostanti, mettendo in evidenza gli spessori e i rapporti geometrici fra le diverse unità e le principali dislocazioni tettoniche. I principali elementi geologici, oltre che nella carta geologica di Fig. 2 sono ben sintetizzati nei *line-drawings* delle pareti roccioso

che circondano la rupe, perfettamente esposte (Figg. 3, 4).

Facendo riferimento alla stratigrafia riportata nella cartografia regionale (vedi Foglio 267 San Marino, scala 1:50.000), a San Leo la F.ne di San Marino è rappresentata da tre distinti membri litostratigrafici: SMN1, SMN2 e SMN3; mentre la formazione di F.ne di Monte Fumaiolo è rappresentata dal solo membro MFU1 (Fig. 3).

Il membro SMN1, non differenziato in carta per ragioni di scala, affiora solo alla base delle pareti NNE e NNW della Rupe per uno spessore di circa 3 m ed è costituito da un singolo livello di biocalciruditi con abbondante contenuto macrofossilifero e sporadici clasti derivati dalle unità liguri. Si presenta con stratificazione indistinta e aspetto massivo.

Il membro SMN2 è costituito da biocalcareniti in banchi di color grigio chiaro, da piano-paralleli nella parete Nord, spigolo NE (Fig. 3a) a variamente inclinati nella parete Nord, spigolo NW (Fig. 3b). I banchi, caratterizzati da un accenno di stratificazione piano-parallela, sono separati da strati arenitici

leggermente più scuri. In alcuni banchi della parete NNE è visibile anche una stratificazione incrociata di ordine inferiore. Nella Rupe di San Leo lo spessore delle biocalcareniti in banchi è massimo presso lo spigolo NE (circa 100 m) e diminuisce progressivamente allo spigolo NW (circa 40 m).

Il membro SMN3 della Rupe è costituito da calcareniti ibride in strati da sottili a spessi, a volte obliterati da un'intensa bioturbazione. In SMN3 numerosi corpi sedimentari di spessore da metrico a decametrico si sono sovrapposti e/o giustapposti determinando una stratificazione incrociata a grande scala. Nella Rupe lo spessore di SMN3 presenta un massimo assoluto di circa 100 m presso lo spigolo SE, che si riduce a zero nella parete W, dove la F.ne di Monte Fumaiolo poggia in discordanza su SMN2 (Fig. 3b). Questi sedimenti sono organizzati in strati medi e spessi, con laminazione incrociata a basso angolo. Tra gli elementi carbonatici delle calcareniti prevalgono i frammenti di fossili. Il progressivo aumento della frazione non carbonatica e prevalentemente glauconitica segna il passaggio

alla soprastante Formazione di Monte Fumaiolo.

A San Leo affiora solo il primo membro della F.ne di Monte Fumaiolo (MFU1; Figg. 2 e 3) dei due individuati nell'area tipo (cfr. Cornamusini *et al.*, 2009). Il membro MFU1 è costituito da banchi e strati amalgamati di arenarie miste/ibride e calcari arenacei a stratificazione piano-parallela, obliqua a basso angolo. Livelli di marne sabbiose bioturbate e fossilifere sono intercalate alle arenarie. La composizione delle arenarie è di tipo misto-ibrido, data da granuli carbonatici e silicoclastici, oltre ad abbondanti granuli di glauconite che conferiscono alla roccia un colore grigio-verdastro.

Oltre alla marcata variazione laterale di spessore delle diverse unità litostratigrafiche, è interessante notare i relativi contatti stratigrafici che sono marcatamente discontinui e discordanti (Landuzzi *et al.*, 2018). Tale complesso assetto geologico, osservato lungo le pareti che circondano la rupe, è frutto dell'azione di strutture tettoniche sin- e postsedimentarie che hanno agito in momenti diversi.



Figura 3. a) Lo spigolo NE della parete Nord, prima del crollo 2014 (foto Guerra 2011), dove è possibile apprezzare l'intera successione epiligure affiorante a San Leo. In parete affiorano un membro SMN1 sottile e discontinuo, un potente SMN2, stratificato a banchi e un membro SMN3 di spessore variabile (membri della F.ne di San Marino); nei pendii sommitali della rupe affiora il membro MFU1 della F.ne di Monte Fumaiolo. Il contatto SMN2 – SMN3 è discordante. L'intera successione affiorante è dislocata da una gradinata di faglie distensive immergenti a WSW (da Landuzzi *et al.*, 2018). b) Lo spigolo NW della parete in cui si osserva il contatto tra il membro MFU1 della F.ne di Monte Fumaiolo e i membri SMN2 e SMN3 della F.ne di San Marino e la presenza di faglie distensive listriche (faglie in crescita) nella F.ne di Monte Fumaiolo.

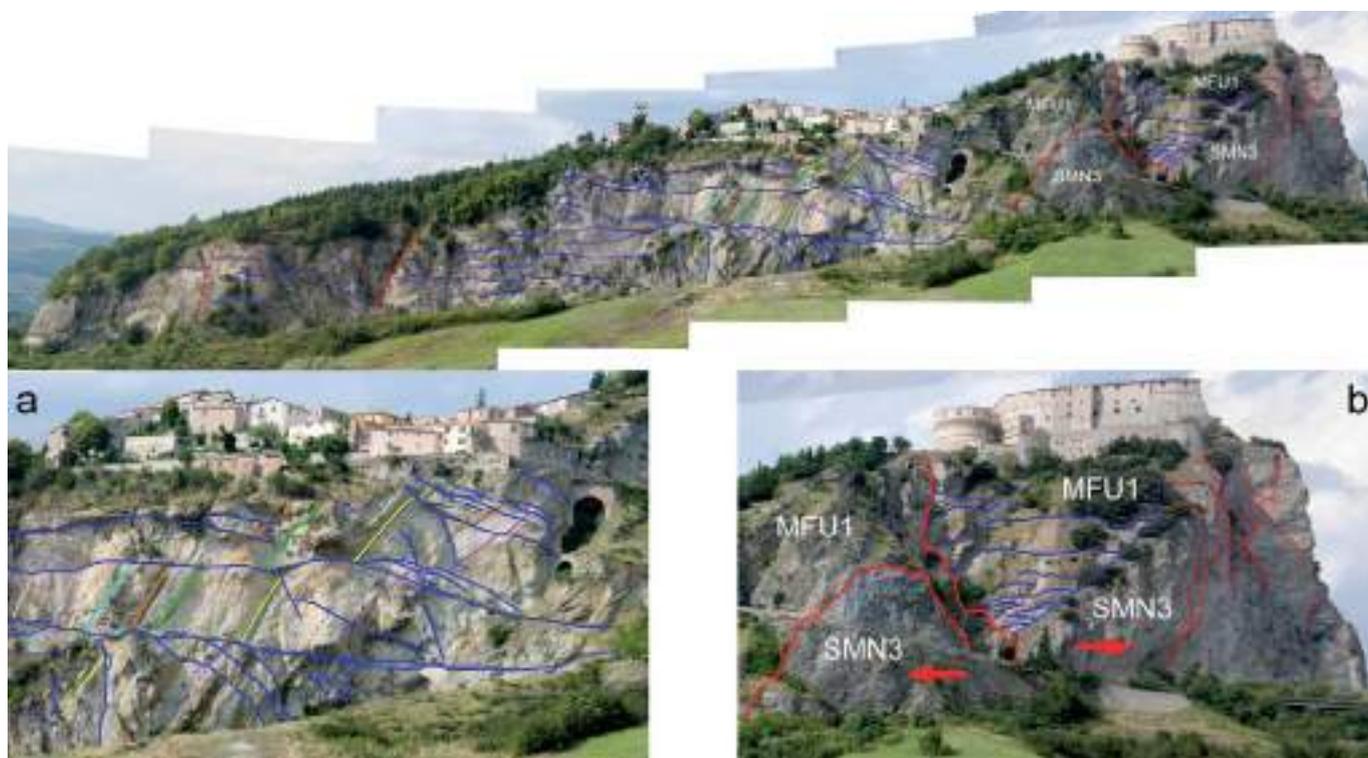


Figura 4. Dalla spigolo di SW della Rupe alla porta del paese, la base della parete S coincide col contatto tettonico tra unità liguri e MFU1. In parete l'insieme embriciato di faglie gravitative scollate alla base di MFU1 assume la massima evidenza (dettaglio a). Dalla porta del paese allo spigolo SE ricompare il membro SMN3, ma il contatto tra quest'ultimo e MFU1 è parzialmente mascherato da una faglia trascorrente destra (dettaglio b) (da Landuzzi et al., 2018)

Nella Rupe di San Leo, il membro MFU1 è interessata da un sistema embriciato di faglie distensive (vedi faglie listriche, con configurazione in crescita, nello spigolo NW della placca, Fig. 2), controllato da una superficie di scollamento principale situata alla base della Formazione stessa. L'origine di queste faglie è gravitativa e sin-sedimentaria (attribuibile come età al Langhiano), ed è probabile che l'intero sistema facesse parte della testata di un grande frane sottomarina. La direzione media delle faglie è SSE-NNW. L'immersione e l'inclinazione delle faglie variano in funzione delle rotazioni che le stesse hanno subito, in almeno due fasi successive. La prima fase è sin-sedimentaria e dipende dall'effetto "domino" generato dal movimento delle faglie, mentre la seconda fase è postsedimentaria. Entrambe le fasi di rotazione hanno provocato un basculamento verso SW delle faglie, col risultato di ridurne l'inclinazione e in certi casi d'invertirne l'immersione da ENE a WSW (Fig. 4) (Landuzzi et al., 2018).

La base della Rupe di San Leo coincide col contatto tra le unità liguri e la successione epiligure, che è stratigrafico solo alla base delle pareti NNE e NNW (Fig. 3a), mentre è tettonico alla base di tutte le altre pareti. Dove non è stato dislocato da faglie successive, il contatto tettonico si presenta come una rampa immergente verso NE, che ribassa verso NE l'intera successione epiligure e parte delle sottostanti unità liguri (Fig. 5,

linea magenta). La rampa è facilmente interpretabile come parte di una faglia distensiva listrica, probabilmente scollata alla base della coltre della Val Marecchia e riconducibile alla messa in posto gravitativa della coltre stessa (postsedimentaria, databile Tortoniano - Pliocene inf.). Lo scorrimento rotazionale su questa faglia concava ha provocato il basculamento verso SW dell'intera successione epiligure.

Un ultimo gruppo di faglie postsedimentarie e databili Pliocene sup. - Attuale dislocano il contatto tra le unità liguri e la successione epiligure dopo lo scorrimento rotazionale lungo la faglia basale. Nella parete nord della rupe è ben evidente una regolare gradinata di faglie distensive ribassanti a WSW (Fig. 3) con rigetti massimi di qualche decina di metri (Landuzzi et al., 2018). La direzione prevalente di queste faglie distensive è NNW-SSE e l'inclinazione è di circa 70°.

Sono, infine, particolarmente interessanti per il loro scorrimento trascorrente destro, le rare faglie avente direzione E-W. La più evidente e documentata di queste faglie è quella che corre dallo spigolo SE della Rupe fin quasi alla porta d'ingresso del paese, affiancando la parte alta della F.ne di San Marino (lembo S) alla parte bassa della F.ne di Monte Fumaiolo (lembo N). Nel tempo, con l'erosione, l'unità affiorante nel lembo S è stata ridotta a un esile diaframma, una specie di "paravento" calcareo che

nasconde la parte bassa della F.ne di monte Fumaiolo (Fig. 4). Al momento i rapporti cronologici tra faglie distensive e faglie trascorrenti non sono noti, anche se la presenza di faglie trans-tensive sembra suggerire una relativa contemporaneità dei due tipi di scorrimento.

3. GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA

La placca rocciosa di San Leo, che si eleva ad una quota di 590 m s.l.m., assume una forma rettangolare lunga 600 m, in direzione ovest-est e larga 500 metri, in direzione nord-sud (Fig. 2). Le pareti rocciose ai margini della rupe si presentano subverticali e in alcuni casi aggettanti, con altezze che raggiungono i 100 metri.

La superficie del costone roccioso mostra una generale pendenza verso ovest a cui si sovrappongono altri motivi morfologici: in particolare, una cresta con

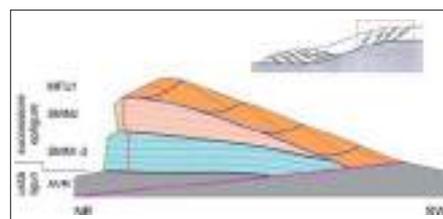


Figura 5. Schema tettono-stratigrafico non in scala della Rupe di San Leo. Nella parte meridionale della Rupe una faglia distensiva a basso angolo, di origine gravitativa ha accostato la successione epiligure alle unità liguri. La base stratigrafica della successione epiligure si vede solo nel tetto della faglia, cioè nella parte settentrionale della Rupe. La successione completa è composta dalla F.ne di San Marino (membri SMN1-2 e SMN3) e dalla F.ne del Monte Fumaiolo (membro MFU1; da Landuzzi et al., 2018)

pendici regolari, allungata in direzione NNW-SSE, sulla cui sommità sorgono la Pieve e la Basilica e una depressione morfologica allungata in direzione NNW-SSE, confinata tra la suddetta cresta a ovest e la regolare scarpata che termina sul ciglio est della rupe, dove sorge la fortezza. Verosimilmente, la depressione appena descritta è da imputare a dislocazioni tettoniche di natura distensiva ben evidenti sulla parete nord della rupe.

Le argille sottostanti su cui insiste l'ammasso roccioso di San Leo, sono profondamente incise dai fossi Campone e Seripa (Fig. 6).

Il Fosso Campone comincia a delinarsi alla quota di 550 m. s.l.m., poco

zione regressiva) che danno origine ad una coltre di materiale rimaneggiato e destrutturato con spessori variabili che assumono valori importanti nel fondovalle. La colata principale che caratterizza l'asse vallivo del fosso Campone, dove si raggiungono i massimi spessori, si suddivide sostanzialmente in due rami principali, che si fondono lungo il versante nord della rupe: la testata del primo ramo si sviluppa in corrispondenza della strada provinciale sul fianco est della rupe, la testata del secondo ramo si sviluppa a ridosso della strada Fornace. La colata principale, alimentata dai rami laterali, arriva a interessare la sponda del Rio Maggio (Fig. 6).

Le acque che precipitano sulla placca rocciosa in parte fluiscono per ruscellamento, convogliate di preferenza lungo l'impluvio che taglia in due la placca e lungo il versante ovest ed in parte si infiltrano attraverso le fratture che pervadono l'ammasso roccioso.

Alcune emergenze sono state riscontrate sulla sommità della rupe, sia a nord che a sud della rupe, ai piedi della dorsale morfologica su cui sorge il duomo. Si tratta in ogni caso di sorgenti a carattere effimero. Viceversa al contatto tra i calcari e le argilliti si notano numerosi punti di emergenza d'acqua localizzati ai piedi delle pareti rocciose e/o in corrispondenza di giunti e facce di roccia fratturata, alcune delle quali mostrano un regime perenne. Sono particolarmente significative alcune sorgenti sul versante nord concentrate alla base della parete, sede del crollo del 2006, e una sorgente perenne sotto lo spigolo SW della rupe). Diverse emergenze sono state rinvenute anche sotto il materiale della coltre detritica superficiale (Ribacchi, 1987).

Sul piano idrogeologico la placca rocciosa gioca un ruolo essenziale con importanti ripercussioni sulla stabilità dell'ammasso roccioso. Per effetto della intensa fratturazione, la placca rocciosa è dotata di una elevata permeabilità secondaria. Le acque che si infiltrano nella roccia, veicolate dalle fratture, vengono accumulate alla base in corrispondenza del substrato argilloso che funge da battente impermeabile. In tal modo si favorisce la saturazione delle argille, producendo il loro deterioramento con notevoli effetti destabilizzanti. L'Università di Bologna (referente prof. L. Borgatti) sta conducendo da alcuni anni uno studio sulle condizioni idrauliche dell'ammasso roccioso attraverso un modello di infiltrazione agli Elementi Finiti calibrato sulla base delle sorgenti presenti e monitorate e riprendendo dati ed informazioni prodotte in passato da Ribacchi, Tommasi (1988). Confrontando la posizione della superficie piezometrica con le quote della rupe in corrispondenza dello spigolo nord-est, è stato osservato che l'eventuale falda resta confinata sempre al piano campagna e quindi interessi soprattutto la porzione inferiore della rupe e non le principali discontinuità lungo i versanti. In corrispondenza di eventi meteorici estremi, tuttavia, non può essere esclusa a priori la possibilità che qualcuna di queste discontinuità possa riempirsi e quindi possa essere soggetta a pressioni idrauliche sfavorevoli alla stabilità.

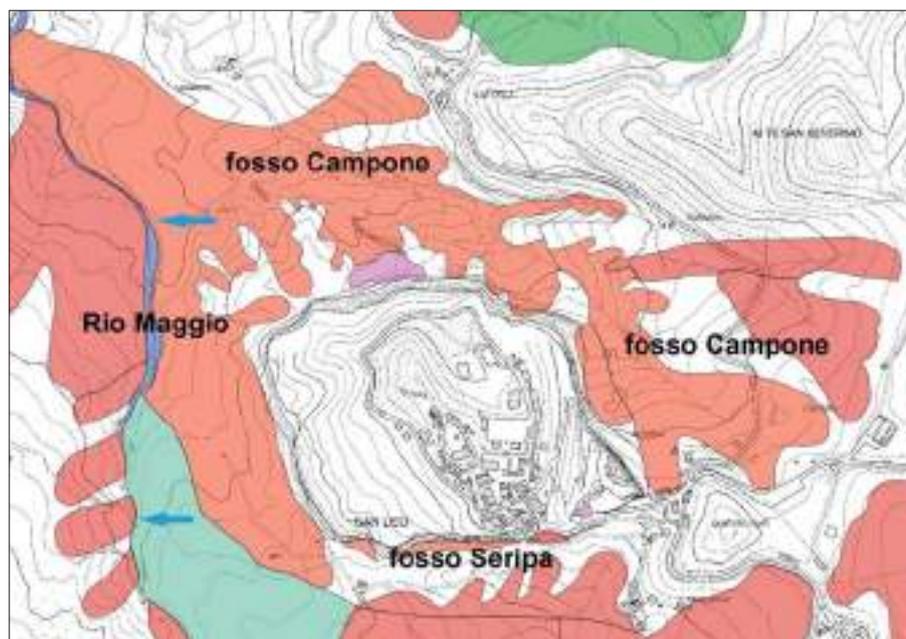


Figura 6. Stralcio della Carta dell'inventario del dissesto della Regione Emilia-Romagna (aggiornamento 2012) in cui si apprezzano le frane attive (in rosso) nelle argilliti che circondano la placca rocciosa di San Leo. I fossi Campone e Seripa che si sviluppano ai piedi della rupe e confluiscono nel Rio Maggio, incidono le argilliti. Particolarmente articolata è la situazione lungo il fosso Campone dove diversi rami confluiscono in un corpo di frana principale che insiste sul Rio Maggio

a valle della strada provinciale e con uno sviluppo in direzione circa nordovest. Costeggiando il lato est e il lato nord della rupe di San Leo, il fosso confluisce nel torrente Rio Maggio. Il fosso versa in uno stato di accentuato disequilibrio e la sua marcata attività erosiva con progressivo approfondimento del livello di base costituisce un elemento chiave nell'evoluzione morfologica dell'area e nell'innescarsi di dissesti di versante. Tutto il bacino "Campone" mostra una morfologia piuttosto tormentata con vaste zone in forte erosione di tipo calanchivo, ancora evidente nonostante le modifiche morfologiche ad opera dell'uomo nel corso di interventi di stabilizzazione dell'area. Esso è caratterizzato da franamenti diffusi sia lungo l'asse vallivo principale sia lateralmente per effetti di richiamo lungo vallecicole calanchive (in evolu-

Il bacino del Fosso Seripa, si sviluppa lungo il lato sud della rupe a formare una vallecicola stretta e a tratti confinata tra la parete rocciosa a strapiombo (verso nord) e una piccola dorsale di argille varicolori affioranti (a sud). Presenta uno sviluppo longitudinale di circa 440 metri in direzione circa est-ovest e confluisce, come il fosso Campone, nel Rio Maggio. La colata del fosso Seripa si sviluppa all'altezza dell'ingresso della città e viene alimentata principalmente dai smottamenti che si verificano sulla sponda destra e dai crolli di blocchi dalla rupe in sinistra idrografica. La colata sembra attualmente in una fase di stasi, anche grazie agli interventi, di stabilizzazione e di raccolta delle acque, eseguiti nel recente passato, dopo che erano state documentate diverse fasi di riattivazione tra il 1969 e il 1979 (Ribacchi, 1987).

L'importanza di questo fenomeno è tuttavia da ritenersi modesta in quanto molte fratture si presentano aperte e quindi rappresentano vie di drenaggio preferenziale e veloce delle acque meteoriche (L. Borgatti, comunicazione personale).

4. IL DISSESTO IDROGEOLOGICO

4.1. CENNI STORICI

A causa del contesto geologico e geomorfologico in cui si colloca, la Rupe di San Leo presenta una forte predisposizione al dissesto idrogeologico. Su tutto il perimetro della rupe sono presenti segni di testimonianza di frane di varia entità che vanno dal semplice distacco di piccole porzioni di roccia aggettante al crollo di cospicue masse rocciose con conseguente arretramento del fronte (Benedetti *et al.*, 2011).

Sulla scorta della documentazione storica disponibile, è possibile ricostruire l'evoluzione del dissesto idrogeologico che ha interessato San Leo negli ultimi 400 anni. Gran parte delle prime documentazioni riguardano il lato nord della rupe. La testimonianza più straordinaria è senz'altro rappresentata dal noto dipinto del 1626 di Francesco Mingucci, che messo a confronto con immagini recenti evidenzia l'enorme massa di rupe crollata nell'arco di poco meno di 400 anni (Fig. 7), a cominciare, pare, da un primo crollo importante che fu causa della scomparsa della cosiddetta "Porta di Sotto".

Anche di recente il lato nord della rupe è stato interessato da importanti fenomeni franosi. L'evento del 2006 ha visto il crollo di circa 50.000 m³ di roccia, causando danni all'impianto fognario e di depurazione al servizio della città di San Leo.

La massa di detriti che si era riversata improvvisamente sui terreni argillosi sottostanti nel bacino del Fosso Campone aveva innescato una lunga colata di terra (Fig. 8), che, a sua volta, nella discesa verso valle aveva provocato la riattivazione di uno scivolamento di terra per sovraccarico e innesco di sovrappressioni nella preesistente coltre detritica.

Il crollo del 2014 è stato ancora più imponente interessando un'ampia porzione dell'ammasso roccioso pari ad un volume di 330.000 mc, lungo un fronte largo circa 160 metri per un'altezza di circa 100 metri (Fig. 8). In sommità si è registrato un arretramento del ciglio di circa 30 metri. A seguito del collasso

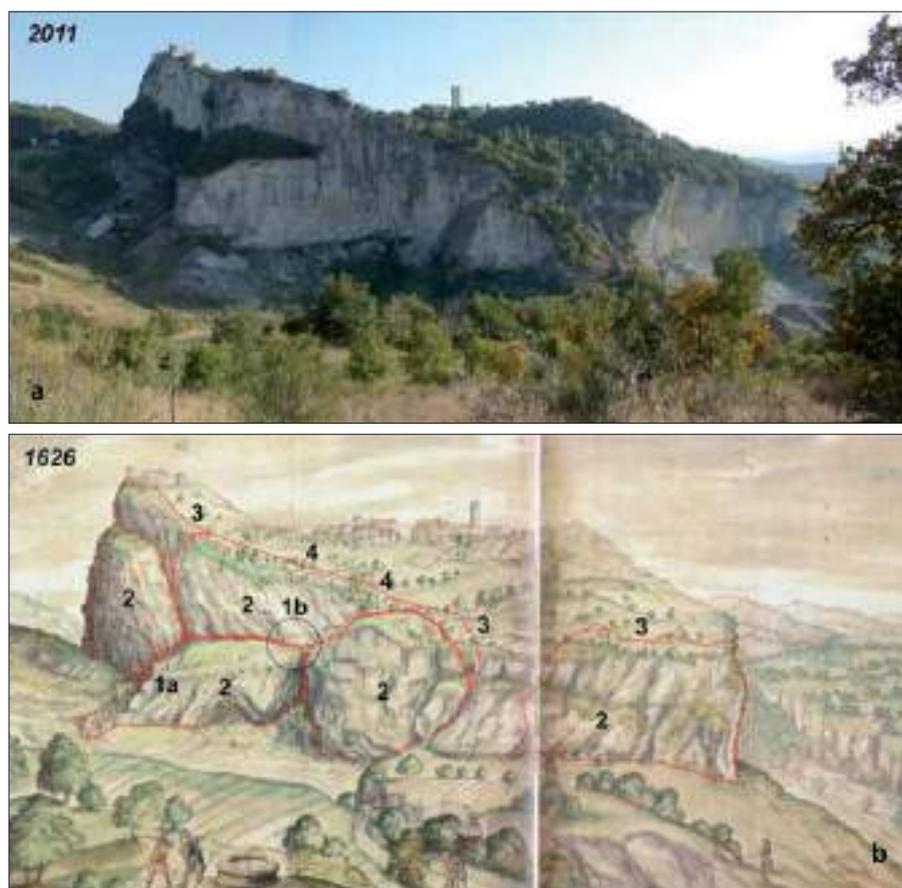


Figura 7. a) Lato nord della rupe prima del crollo 2014. b) Aquerello di Mingucci del 1626. 1a: Porta di Sotto; 1b: ponte; 2: larga porzione di terreno franata; 3: attuale bordo della placca; 4: quartieri scomparsi. Si noti, dal confronto, le parti crollate della rupe originaria del XVII secolo. (da Benedetti *et al.*, 2011). Il confronto tra le due immagini è piuttosto eloquente sui volumi di roccia che sono franati nell'arco di 4 secoli

della massa rocciosa il detrito si è propagato (*block and debris avalanche*) con violenza lungo la valle del fosso Campone per un tratto di 400 metri, sollevando una gigantesca nuvola di polvere e proiettando blocchi di roccia per centinaia di metri. La coltre di detrito è arrivata a colmare parte della valle del fosso Campone per una superficie di 60.000 m² con blocchi ciclopici di notevoli dimensioni (Lucente, 2015). La

massa detritica ha ricoperto gran parte delle opere di contenimento realizzate nel recente passato (1978-1988) lungo la valle del fosso Campone, provocando in alcuni casi la totale disintegrazione della struttura in gabbioni. Nei giorni successivi al crollo l'enorme massa detritica più prossima alla parete si è mostrata sostanzialmente stabile salvo piccole colate superficiali molto localizzate. Diversamente, nella parte terminale del



Figura 8. Foto panoramica scattata da elicottero dopo il crollo 2014 nello spigolo NE della rupe visibile in primo piano. Il crollo ha generato un'estesa e potente coltre di detrito che ha invaso gran parte della valle del fosso Campone. Sulla destra, sempre lungo il lato nord della rupe, si apprezza il crollo del 2006 con una lunga lingua di detrito che si sviluppa ai piedi della parete per colamento successivo al crollo

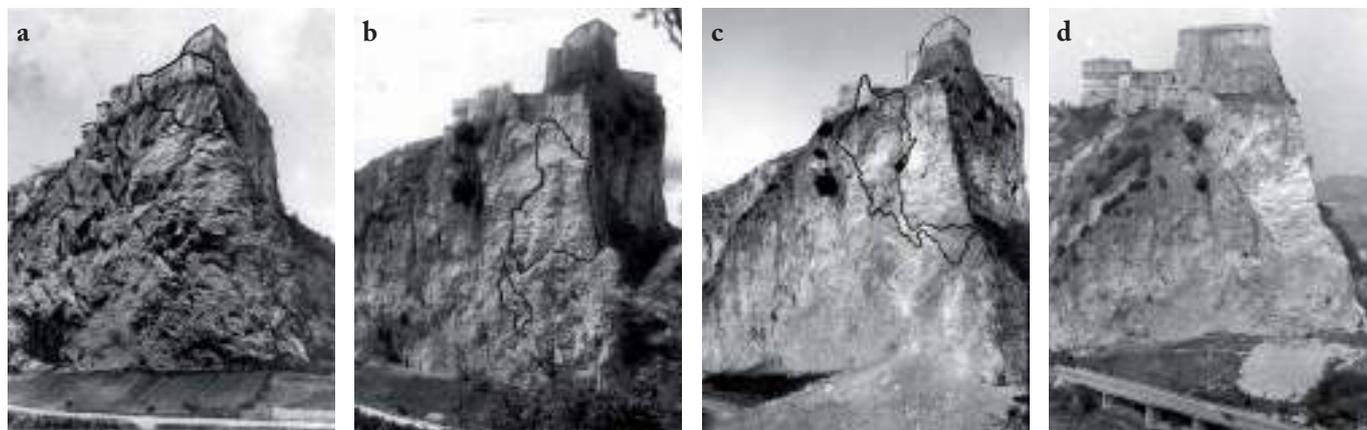


Figura 9. Sequenza storica (1930-1962) di una serie di crolli che hanno interessato lo spigolo sud-est della rupe, interrompendo a più riprese la strada di accesso alla città e coinvolgendo la fortezza (foto da Lembo-Fazio et al., 1998). Nella foto d) si vede in primo piano il ponte costruito a seguito del crollo riportato nella foto c)

detrito verso valle, lungo l'asse del fosso Campone, analogamente a quanto osservato nell'evento del 2006, si è registrato un movimento gravitativo manifestatosi subito dopo il catastrofico crollo ed imputabile all'impatto della massa detritica e alle sovrappressioni createsi nei terreni argillosi presenti, saturi ed alterati. Si tratta sostanzialmente di una riattivazione di accumuli detritici preesistenti che caratterizzano tutto l'asse vallivo e le valli calanchive laterali del fosso Campone.

Anche per i lati est e sud sono disponibili documenti storici che testimoniano una serie di dissesti che hanno interessato l'ammasso roccioso. La stessa fortezza ha subito direttamente gli effetti di importanti crolli avvenuti in un recente passato, dal 1930 al 1962 (Fig. 9; in Lembo-Fazio et al., 1998) che hanno coinvolto parti della struttura del castello, in corrispondenza dello spigolo sud-est della rupe e determinato un temporaneo isolamento dell'abitato per interruzione dell'unica via di accesso. Dalla documentazione fotografica è evidente l'evoluzione morfologica della parete in seguito ai diversi fenomeni di crollo. Diversi crolli sono documentati anche nel settore sottostante la porta di accesso all'abitato, che hanno determinato nel tempo uno strapiombo di oltre 10 metri nella sovrastante parete. Si registra fra l'altro la totale distruzione per frana dell'antica strada di accesso alla cittadina che si arrampicava dal fosso Seripa all'antica "Porta di Sopra" con un tortuoso percorso a tornanti su muraglioni ad arco i cui resti sono ancora visibili (vedi Fig. 4a).

Anche la parete est sotto la fortezza è stata oggetto di diversi crolli in passato come mostrato in Fig. 10, dove sono messi a confronto due foto scattate a distanza di oltre 100 anni l'una dall'altra (1894 e 2011). È probabile che in passato (approssimativamente intorno

al 1700) anche il versante est abbia subito il fenomeno della sottoescavazione con crolli di grandi dimensioni come dimostra il grosso accumulo detritico presente ai piedi della parete. (Fig. 17), il cui spessore è stato stimato essere superiore ai 10 metri (Lembo-Fazio et al., 1998). Dati strumentali mostrano che l'accumulo di blocchi e la porzione rimaneggiata del substrato argilloso si deformano lentamente, ma in tempi storici tali deformazioni si riflettono inevitabilmente sullo stato tensionale ai piedi della rupe (Lembo-Fazio et al., 1998).

4.2. GENESI E MECCANISMI

Tutta la rupe è intensamente fratturata presentando più sistemi di fratture che la suddividono in blocchi progressivamente ribassati verso i margini, quale effetto di processi tettonici e gravitativi (fossili e recenti) subiti nel corso della sua complicata storia geologica.

Il contrasto di rigidità tra la placca rocciosa calcarea e calcarenitica e il substrato argilloso porta a un comples-

so stato di sforzo nella rupe e ad una progressiva apertura di quelle fratture disposte all'incirca parallelamente alle pareti ai margini della placca. Scivolamenti e colate nel substrato argilloso e nei depositi che lo ricoprono, determinati dall'azione erosiva dei fossi Campone e Seripa su materiali disgregati e alterati, producono ampie cavità al contatto tra la placca rocciosa e le argilliti. Viene così a mancare una base di appoggio a porzioni importanti dell'ammasso roccioso con conseguenti crolli per scalzamento al piede. Ciò è quanto avvenuto con il recente crollo del 2014 lungo il versante nord della rupe di San Leo.

La cinematica di queste grandi frane di crollo non si esaurisce probabilmente nei soli fenomeni localizzati ai margini della placca rocciosa per incipiente fratturazione ma può essere collegata a deformazioni gravitative profonde, sollecitate dall'enorme carico litostatico della placca rocciosa gravante sulle argille (vedi modello in Cancelli, Pellegrini, 1987). Ciò può generare cedimenti differenziali nell'ammasso roccioso ac-

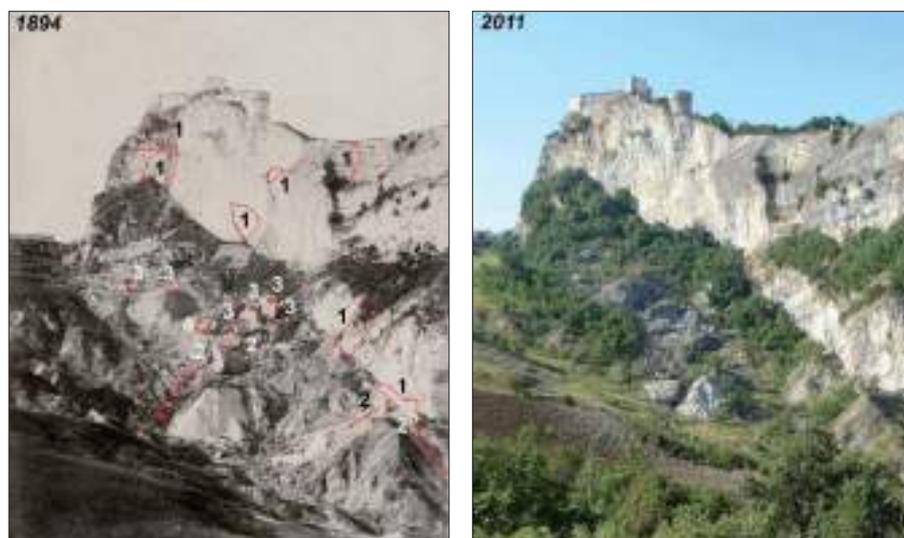


Figura 10. Vista panoramica della parete est della rupe, interessata storicamente da diversi episodi di franamenti con un importante accumulo detritico alla base della parete. Confrontando le due foto si nota: 1. porzioni di roccia franate (1894) rispetto allo stato attuale (2011); 2. blocchi traslati; 3. blocchi rimasti in posizione. (foto da Benedetti et al., 2011)

compagnati da refluenti delle argille saturate, a comportamento plastico, verso le zone esterne della placca rocciosa determinando anche rigonfiamenti alla base della rupe.

L'evoluzione geomorfologica della rupe e dei versanti sottostanti è dunque condizionata dalle interazioni causa-effetto che si instaurano tra l'ammasso roccioso rigido e le argilliti a comportamento plastico. Per i crolli a grande scala come quelli che di recente hanno interessato il versante nord della rupe, i meccanismi di deformazione e d'instabilità gravitativa possono essere ricondotti a: 1. infiltrazione d'acqua entro le fratture aperte e conseguenti processi di alterazione delle superfici di discontinuità con potenziale sviluppo di forme pseudocarsiche e incremento dell'apertura delle fratture stesse; 2. rimaneggiamento e rifluimento delle argille specialmente verso i bordi della placca dove il confinamento laterale è minimo e, soprattutto, laddove tendono a concentrarsi e a scaturire le acque sotterranee ospitate dall'acquifero fratturato che si instaura nelle calcareniti; 3. saturazione delle argilliti basali per la presenza d'acqua di infiltrazione proveniente dall'ammasso roccioso, innescando processi di alterazione chimica e fisico-meccanica e la progressiva riduzione della resistenza al taglio delle argilliti che ne consegue induce colamenti e scivolamenti ai bordi della placca; 4. scalzamento delle ripide pareti rocciose fratturate dovuto alla sistematica mobilitazione delle argilliti basali e predisposizione al crollo/ribaltamento (Fig. 11).

La riduzione dei parametri geotecnici delle argilliti sotto la rupe e la rimozione di porzioni di substrato argilloso ai bordi sono fenomeni ampiamente osservati e probabilmente agiscono in concomitanza. Con la rimozione delle porzioni più esterne e superficiali delle argilliti anche i livelli più interni e profondi subiscono degradazione e alterazione e ciò porta al progressivo allargamento delle cavità sotto la rupe. Da notare che prima del crollo del febbraio 2014 sono state verificate cavità profonde fino a 20 metri (Fig. 11a).

Nel modello proposto (Fig. 11) viene privilegiato l'effetto dello scalzamento al piede che determina l'abbassamento del bordo e l'apertura di fratture di trazione nella parte alta che procedono verso il basso; tuttavia, in generale, non si può escludere l'importanza del rifluimento delle argilliti alla base delle pareti che, se prevalente, porta a sforzi di trazione di fratture verticali con propagazione dal

basso verso l'alto (De Carolis, Soccodato, 1980). Per riprodurre il meccanismo di rottura osservato è comunque determinante la presenza delle fratture subverticali alla sommità della parete la cui apertura, come già osservato, è promossa dallo sforzo tensionale indotto dall'interazione tra la placca rocciosa e il substrato argillitico. Ciò è quanto emerge chiaramente dall'analisi a ritroso della frana del 2014 e dalla modellazione numerica circa l'analisi dei fattori predisponenti al crollo (Spreafico *et al.*, 2015).

I materiali mobilitati nei fenomeni di crollo e negli scivolamenti plasti-

ci del substrato argilloso finiscono per amalgamarsi in una coltre di frana a composizione eterogenea che ingloba e/o sostiene blocchi rocciosi anche di dimensioni rilevanti come testimoniato dai recenti crolli del 2006 e del 2014 e dal ritrovamento di grandi blocchi sepolti nella spessa coltre detritica che occupa l'asse vallivo del fosso Campone.

Accanto ai fenomeni di crollo e ribaltamento a grande scala dipendenti direttamente da processi di scalzamento al piede, vi sono fenomeni franosi minori che si manifestano per crolli e/o scivolamenti roccia su roccia lungo piani di

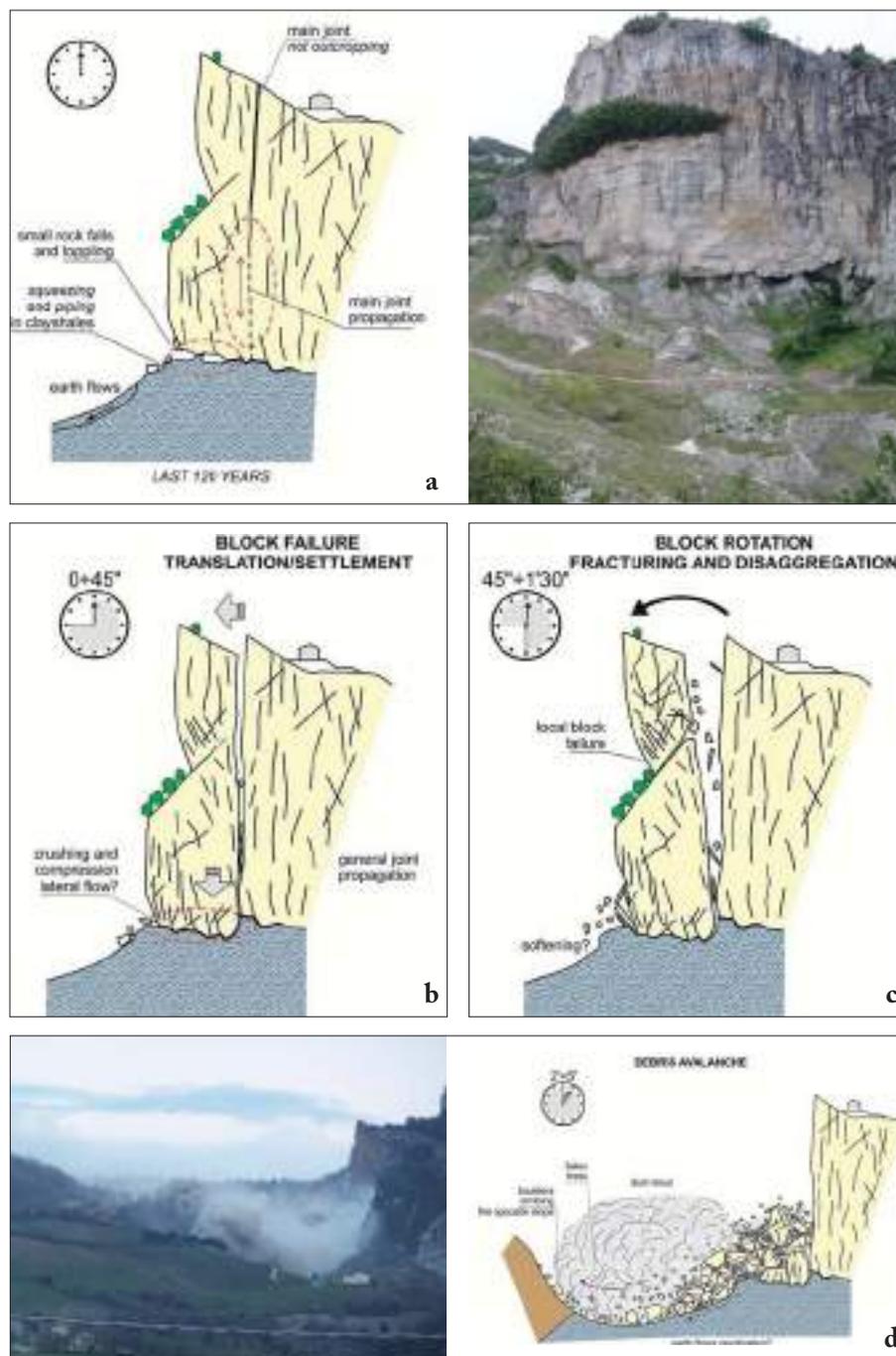


Figura 11. Ricostruzione della dinamica del fenomeno franoso del 27 febbraio 2014: a) tendenza al ribaltamento per sottoescavazione al piede della parete con propagazione della frattura verso il basso; b) completa rottura e appoggio sulle argille rammollite del substrato; c) ribaltamento; d) crollo e disaggregazione della massa rocciosa e propagazione del detrito. Nella foto a) scattata prima del crollo del 2014 è visibile la sottoescavazione alla base della parete e i fenomeni gravitativi a spese delle argilliti. Nella foto d) è immortalato il momento del crollo con il sollevamento di un'immensa nuvola di polvere e frammenti di roccia (modificata da Lucente, 2015 e da Borgatti *et al.*, 2015)

frattura basali a frana poggio e per crolli e/o ribaltamenti di lame rocciose verticali isolate a tergo da fratture parietali (frattura a trazione). Tale tipologia di frana si manifesta in maniera diffusa su tutto il perimetro della rupe di San Leo in funzione della intersezione delle principali discontinuità e della immersione della parete (vedi ad esempio la parete est). Infine, localmente in corrispondenza di zone intensamente fratturate e caratterizzate da un fitto clivaggio per dissoluzione, presenti lungo le pareti sud ed est, (in particolare lungo tutto lo spigolo SE della rupe, sotto la fortezza), si possono verificare crolli generalizzati della porzione più superficiale, "sblocchettata" e alterata.

5. INTERVENTI DI RIDUZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO

Diversi sono stati gli interventi a San Leo per la mitigazione del rischio idrogeologico negli ultimi decenni, a partire dalla costruzione di un viadotto a seguito del crollo del 1949 (vedi Fig. 9) che ha coinvolto un'ampia porzione dello spigolo SE della rupe, sotto la fortezza, per ovviare all'interruzione dell'unica strada di accesso all'abitato.

Da allora si sono susseguiti nel tempo diversi interventi di consolidamento delle pareti rocciose e di sistemazione e stabilizzazione dei versanti argillosi circostanti la rupe. I vari interventi sono stati preceduti e accompagnati da rilievi e indagini e nel corso degli anni sono stati avviati, sia pure in forma discontinua, monitoraggi per il controllo dei fenomeni franosi e per la verifica degli interventi realizzati.

Gli interventi sono riconducibili sostanzialmente a tre distinti periodi, il cui avvio è sistematicamente legato a significativi eventi franosi che hanno risvegliato l'attenzione sul rischio e la consapevolezza di porvi rimedio. Una

prima fase si sviluppa tra il 1969 il 1988, seguita una seconda fase tra il 1999 e il 2008. Una terza fase è stata avviata nel 2014 ed è tuttora in corso. Comunque alcuni interventi urgenti sono stati realizzati prima del crollo del 2014, dopo il passaggio di San Leo, assieme agli altri comuni dell'Alta Val Marecchia, dalla Regione Marche alla Regione Emilia-Romagna (L. 117 del 3 agosto 2009).

5.1. GLI INTERVENTI 1969-1988

A partire dagli anni '60 la rupe ed i versanti ad essa adiacenti sono stati oggetto di ripetuti interventi di stabilizzazione e rinforzo finalizzati alla salvaguardia del patrimonio storico – artistico della città di San Leo ed alla mitigazione del rischio. I singoli interventi sebbene realizzati per risolvere situazioni di dissesto localizzate, in aree spesso di limitata estensione, sono risultati tutto sommato tra loro complementari e coerenti con il complesso fenomeno di dissesto dell'intera area.

I primi interventi vennero realizzati dal Genio Civile di Pesaro alla fine degli anni 60 avendo come obiettivo il consolidamento di una porzione sommitale della rupe, nel versante sud, sotto la porta di ingresso all'abitato (Ribacchi, 1988; Caturani *et al.*, 1991), dopo che si erano verificati ripetuti crolli che avevano generato un marcato strapiombo in corrispondenza delle abitazioni ed era stata notata la comparsa di lesioni dietro la porta di accesso al centro abitato (Ribacchi, 1987). L'intervento di consolidamento e rinforzo venne successivamente esteso (a partire dal 1988) anche alla parte inferiore della parete (Fig. 12a). Le osservazioni dirette eseguite all'epoca avevano messo in evidenza la presenza di numerose fratture allentate. Giunti parietali verticali o immergenti verso l'interno isolavano masse rocciose che tendevano a ruotare verso l'esterno per ribaltamento; altri giunti sub-orizzon-

tali, alcuni dei quali sono stati interpretati essere di neoformazione (Ribacchi, 1988), mostravano una marcata apertura imputabile al cedimento delle argilliti alla base della parete.

In entrambi gli interventi, il consolidamento, preceduto da un'analisi strutturale della parete (Ribacchi, 1988; in Caturani *et al.*, 1991), è stato realizzato mediante l'impiego di barre passive e di tiranti pretesati: i primi, a formare un fitto reticolo, per il consolidamento della porzione più superficiale da creare uno "strato" integro e solidale, i secondi, sviluppati in lunghezza (fino a 55 metri) per ancorare in profondità nella roccia sana lo "strato" consolidato. L'intervento è stato completato da cementazione delle fratture aperte e la realizzazione di fori di drenaggio per la dissipazione di eventuali sovrappressioni, anche questi spinti molto in profondità (50 metri).

Sempre alla fine degli anni '60 venne avviato un intervento anche nello spigolo SE della rupe sotto la fortezza, laddove si erano verificati una serie di crolli che avevano minacciato alcuni edifici alla base della parete (primi anni sessanta, Fig. 9). Nel corso dell'intervento la base della rupe, in alcuni punti priva di supporto per erosione della argille basali è stata sottofondata con muri di sostegno su pali, rivestiti di pietrame ed il tratto di parete rinforzato è stato ricoperto con rete metallica (Lembo-Fazio *et al.*, 1998).

Un ulteriore intervento in parete è stato realizzato alla fine degli anni '70, sul versante est della rupe, al di sotto del torrione nord della fortezza (Fig. 12b), dove già in passato erano stati individuati masse di roccia in precarie condizioni di equilibrio tali da minacciare la stabilità della fortezza. Gli interventi sono stati eseguiti su una fascia della larghezza di 50 metri sotto il torrione seguendo, in linea generale, la stessa tecnica: i blocchi di piccole dimensione sono stati serrati tra loro mediante chiodature (barre in acciaio) in modo da realizzare la continuità della massa rocciosa superficiale. Il blocco che ne risulta è stato ancorato alla massa retrostante mediante tiranti pretesionati (De Carolis, Soccodato, 1980). Anche in questo caso sono state adottate delle misure per evitare l'insorgere di pressione idrostatiche a causa della cementazione, ricorrendo a tubi drenanti.

Diversi interventi sono stati realizzati anche ai piedi delle pareti rocciose lungo i fossi che bordano la rupe. Lungo il versante nord ed est della Rupe di San Leo, il fosso Campone (e le vallecole calanchive ai fianchi del fosso) è stato oggetto di un importante

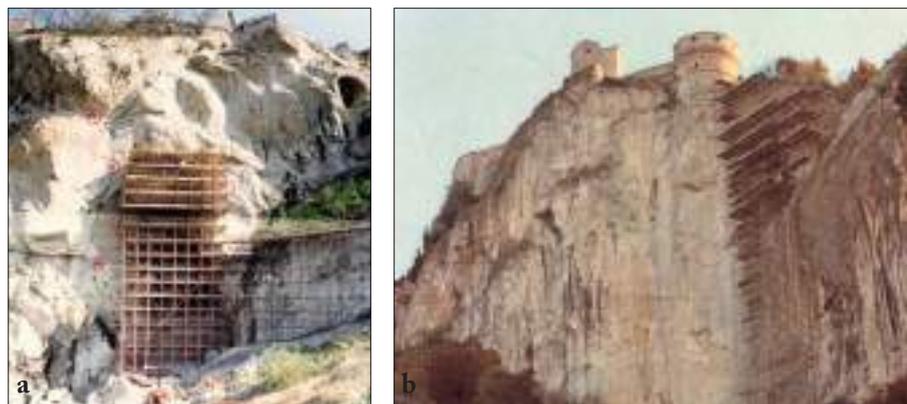


Figura 12. a) Localizzazione dei primi interventi fatti in parete sud, sotto la porta di accesso alla città di San Leo (foto da Ribacchi, 1988). b) Intervento di consolidamento della porzione di parete est sotto il torrione nord (il "Valadier") eseguito negli ottanta (foto da De Carolis e Soccodato, 1980)

intervento di sistemazione tra il 1978 e il 1988 volto alla mitigazione degli effetti (destabilizzazione delle argille e sottoescavazioni alla base della rupe) e all'eliminazione delle cause del dissesto (erosione e degradazione delle argille ad opera dell'acqua, pendenze elevate) mediante la realizzazione di una serie di grandi briglie in gabbioni, drenaggi profondi e rimodellamenti morfologici (Fig. 13). Le briglie più importanti ubicate in corrispondenza degli spessori maggiori della coltre alterata sono state dotate di fondazioni profonde su pozzi (Figg. 13b, 13c).

Con le stesse finalità è stato realizzato negli stessi anni un intervento analogo lungo l'altro fosso, il Seripa, che incide le argilliti basali della parete sud, riducendo l'azione erosiva delle acque mediante la realizzazione di due briglie in gabbioni fondati su micropali (Caturani *et al.*, 1991).

Nel corso degli anni tali opere hanno svolto la funzione di contrastare il dissesto, se non altro regimando le acque e rallentando i processi erosivi; tuttavia

l'area del fosso Campone in particolare ha continuato ad essere caratterizzata sistematicamente da riattivazioni di colamenti e scivolamenti gravitativi che hanno portato ai successivi crolli del 2006 e del 2014. Del resto i primi movimenti si sono manifestati già poco tempo dopo la fin dei lavori per via di colamenti superficiali che hanno provocato l'interrimento di alcune briglie in gabbioni collocate a presidio delle vallecole laterali al fosso, lato rupe. Già all'epoca venne ravvisata la necessità di estendere l'intervento a quelle zone in sinistra del fosso non ancora interessate da opere di stabilizzazione e, laddove erano state realizzate opere di drenaggio e di contenimento, queste dovevano essere integrate da ulteriori provvedimenti in relazione ai fenomeni di instabilità in atto (Ribacchi, 1987).

Questa prima fase di interventi termina con la sistemazione del sistema fognario della città che ha riguardato la raccolta delle acque reflue disperse sulla sommità della rupe attraverso la realizzazione di una rete di scolo e loro convo-

gliamento nel depuratore appositamente costruito lungo il versante nord (vedi Fig. 8). In tal modo si è potuto limitare, per quanto possibile, il fenomeno di infiltrazione d'acqua nell'ammasso roccioso. Dal depuratore le acque sono state poi incanalate verso il ricettore finale rappresentato dal fosso Campone, evitando in tal modo la dispersione delle stesse lungo i pendii alla base delle pareti rocciose.

Dopo questa prima fase di interventi è stato avviato un primo importante monitoraggio, sia pure in forma molto localizzata, rivolto alla stabilità dell'ammasso roccioso e al controllo dei movimenti franosi nei pendii argillosi. Si tratta dei primi dati quantitativi in prossimità del piede della rupe, alla testata del fosso Campone e in due punti critici della parete in roccia: la zona basale dello spigolo SE ed un esteso cuneo di roccia in corrispondenza della porta di accesso alla città (Tommasi, Ronda, 1995). I dati di monitoraggio si sono rivelati piuttosto interessanti, fornendo importanti elementi conoscitivi impiegati per programmare e progettare i successivi interventi di consolidamento.

5.2. GLI INTERVENTI 1999-2008

A seguito degli eventi sismici del settembre 1997 e del marzo 1998 è stata avviata la seconda fase degli interventi per il consolidamento della rupe, che hanno interessato quasi esclusivamente la parete sud della rupe. Gli interventi di consolidamento ritenuti più urgenti, anche se non esaustivi per risolvere del tutto le complesse problematiche geotecniche, sono stati indirizzati a mitigare il rischio di caduta massi e di instabilità della rupe in prossimità della porta d'ingresso alla cittadina e su parte della parete rocciosa al di sotto della fortezza, storicamente interessata da ripetuti fenomeni di crollo. Ulteriori interventi sono stati realizzati per il contenimento della coltre detritica ai piedi della parete. Un quadro di sintesi degli interventi realizzati è riportato in Fig. 14.

1999-2001. A partire dal 1999, si è provveduto a consolidare la zona sommitale della parete rocciosa in aggetto (intervento SUD1999-A in Fig. 14a) mediante micropali di cucitura, di lunghezza pari a 5 metri, armati con tubo di acciaio iniettati a gravità con malta di cemento. L'ammasso di roccia consolidata è stato poi ancorato alla zona retrostante mediante tiranti attivi lunghi 60 metri. A presidio delle fondazioni delle abitazioni civili adiacenti l'area di intervento è stato realizzato un cordolo su micropali lunghi 4 metri. Una soletta

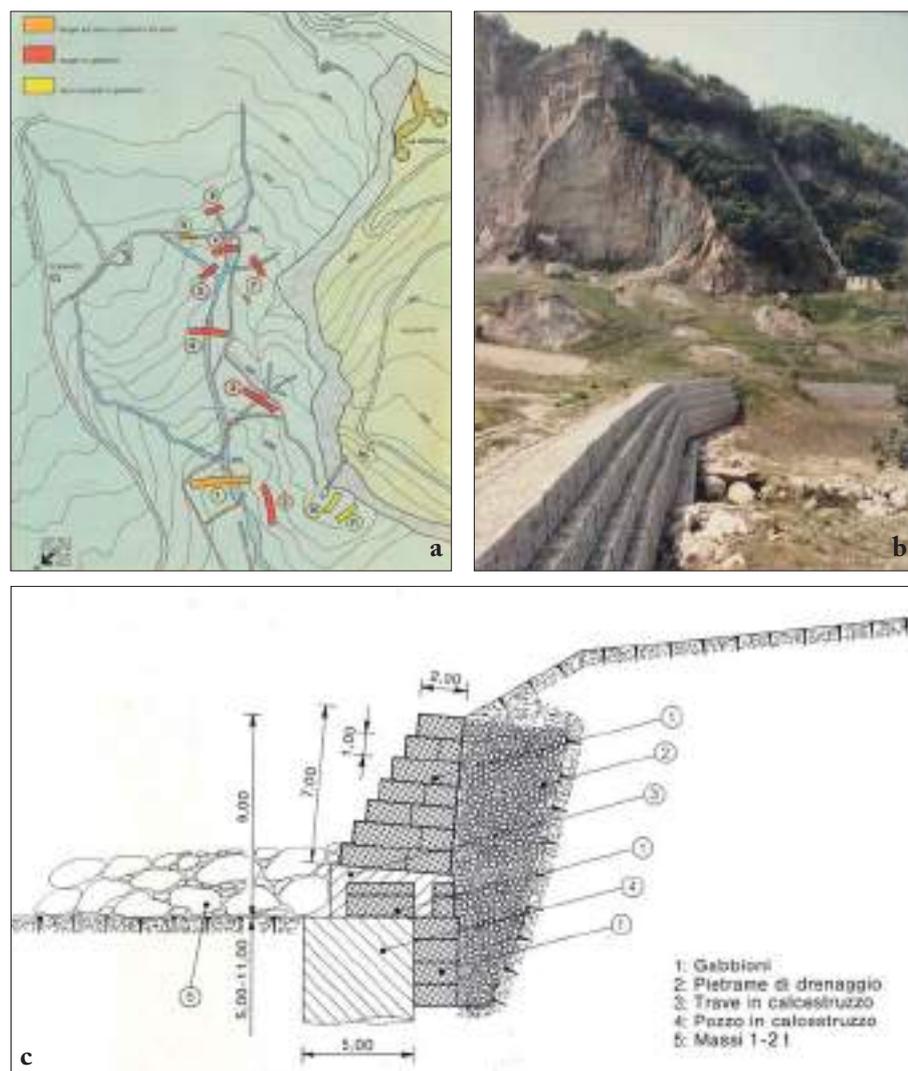


Figura 13. a) Nello schema l'ubicazione delle principali opere eseguite nel corso degli interventi di difesa del suolo, tra il 1978 e il 1988. b) foto della grande briglia fondata su pozzi. c) schema costruttivo della briglia (schemi e foto da Maccaferri, 1986)



Figura 14. a) Quadro di sintesi degli interventi realizzati tra il 1999 e il 2005 lungo il versante sud della Rupe di San Leo. b) Uno degli interventi realizzati nella parete sud sotto la fortezza, avviati nel 2001 con impiego di estesi ponteggi. c) Gli interventi realizzati nel fosso Seripa alla fine degli anni 70 e nel 2004)

in c.a. collega il cordolo, i micropali e le testate dei tiranti.

Negli anni 1960-70, proprio a seguito dell'apertura di alcune lesioni, l'ufficio del Genio Civile di Pesaro avviò il primo importante intervento di consolidamento della parete rocciosa sotto la porta. Dati di monitoraggio derivanti da estensimetri in foro (1989-1994; Tommasi, Rotonda, 1995) hanno effettivamente evidenziato un progressivo movimento rotazionale verso l'esterno della massa rocciosa in aggetto lungo fratture aperte nella roccia.

All'esterno della porta di accesso alla cittadina l'intervento di consolidamento della roccia con micropali ha interessato solo una fascia limitata a ridosso del muro-parapetto che delimita la strada; questa zona consolidata è stata poi ancorata all'ammasso roccioso retrostante mediante tiranti attivi realizzati da un ponteggio a sbalzo, sul fronte della rupe sotto la strada.

Sulla parete rocciosa che sovrasta una piccola piazzola, in prossimità del viadotto, è stato realizzato il disaggio e la demolizione di alcune porzioni di roccia corticale, più allentata, la chiodatura della parete con barre passive di ancoraggio e la

stabilizzazione della fascia superficiale di roccia con reti in filo zincato (intervento SUD1999-B in Fig. 14a).

2001-2004. Gli interventi realizzati a partire dal 2001 sono stati finalizzati soprattutto al consolidamento della parete rocciosa sotto la fortezza.

Un primo intervento ha interessato la parete all'estremità est immediatamente sotto il torrione sud della fortezza (SUD2001-A in Fig. 14a). Tale settore della parete presenta un elevato stato di fratturazione ed allentamento superficiale per cui, prima delle operazioni di messa in opera del ponteggio, è stato necessario effettuare un accurato disaggio corticale con rocciatori e la messa in opera di una misura di protezione con rete leggera di filo metallico a doppia torsione. L'accesso in parete tramite ponteggio ha consentito di verificare nel dettaglio l'accentuato stato di allentamento della roccia ed ha reso necessario mantenere in opera la rete metallica di protezione per evitare che il distacco di frammenti di roccia per ordinari fenomeni naturali (vento, pioggia) potesse creare pericoli al transito sulla strada

sottostante. La rete ancora oggi visibile sulla parete, installata all'epoca dei lavori quale mezzo provvisorio e temporaneo per la protezione delle maestranze, risulta tuttavia oggi assolutamente non idonea a svolgere una efficace funzione di stabilizzazione della parete e a garantire la pubblica incolumità.

È interessante notare che alcuni sondaggi orizzontali realizzati su questa parete, a più riprese, avevano messo in evidenza l'intenso stato di fratturazione dell'ammasso fino alla considerevole profondità di oltre 25 metri dal fronte (D'Ambra *et al.*, 2004). In particolare, l'indagine aveva evidenziato la presenza di una frattura aperta (circa 30 cm), alla profondità di circa 10m dal fronte; le successive perforazioni per l'installazione dei tiranti hanno consentito di accertare che la frattura si estende dalla sommità della parete fino ad un'altezza di circa 34 m dalla base. Per la stabilizzazione della parete rocciosa è stato realizzato un intervento di rinforzo mediante chiodatura della fascia di roccia più corticale, molto fratturata ed allentata, ed il successivo ancoraggio in profondità, a

tergo della importante frattura verticale, della fascia consolidata.

Un secondo intervento ha interessato anche il fronte in arenaria (Arenarie del Monte Fumaiolo) sottostante il piazzale di accesso alla fortezza, che si presenta come un ampio canale (*Fig. 14b*).

Nella parte sommitale di questo fronte l'ammasso roccioso è suddiviso in grossi blocchi delimitati da fratture trasversali alla parete e giunti o fratture suborizzontali che determinano l'esistenza di tetti e rientranze del fronte. I giunti risultano spesso aperti e talora riempiti da materiale a granulometria limo-argillosa.

In questa zona i possibili fenomeni di instabilità avvengono per ribaltamento e/o scivolamento delle masse rocciose in aggetto. Per la stabilizzazione delle masse aggettanti si è provveduto al consolidamento superficiale e profondo con chiodature e ancoraggi in acciaio e alla realizzazione di cordoli in calcestruzzo armato e sottomurazioni, ancorate alla parete, oltre all'impiego di barre per un consolidamento superficiale e profondo.

A presidio del ciglio di valle dell'unica strada di accesso alla Città di San Leo è stato infine realizzato un cordolo tirantato su micropali (intervento SUD2001-C in *Fig. 14a*). I micropali sono disposti su tre file collegati in sommità da un cordolo in c.a. su cui si attestano tiranti a trefoli di ancoraggio al terreno retrostante.

In occasione degli interventi del 2001-2004, nel versante su della rupe venne installato e avviato un sistema di monitoraggio automatizzato dotato di due centraline per l'acquisizione e la raccolta dei dati e una serie di strumenti (estensimetri in foro, fessurimetri, clinometri di superficie, inclinometri, celle di carico) ubicati in parete, sotto la fortezza e nel settore della porta di ingresso alla città. Tale sistema di monitoraggio era nato con l'obiettivo di controllare le deformazioni in un ampio settore della parete sud per il riconoscimento di eventuali indizi di rischio da approfondire successivamente con indagini mirate. Purtroppo, in questo caso, le misure acquisite dal sistema sono risultate molto lacunose, irregolari e discontinue e, da un esame dei dati, il sistema di monitoraggio si è rilevato inefficiente.

2004-2005. Dopo la realizzazione nel 2001 del cordolo su micropali a presidio della strada di accesso alla Città di San Leo (vedi intervento SUD2001-C in *Fig. 14a*), sulla scarpata a valle dell'opera si mobilitò una frana che determinò lo scalzamento della berlinese da poco realizzata. Il movimento franoso

mise in evidenza le precarie condizioni di stabilità di un vecchio muro in pietra che si estendeva in prosecuzione del cordolo; l'accumulo del materiale di frana al piede del versante costituiva inoltre un rischio per la riattivazione di vecchie frane quiescenti sul versante a valle del ponte. Pertanto, venne ricostruito il muro in cemento armato con fondazione profonda su pali a quinconce e venne realizzata una generale sistemazione del versante di valle mediante drenaggi e opere di ingegneria naturalistica (intervento SUD2004-A in *Fig. 14a*).

Oltre alla messa in sicurezza della strada di accesso della cittadina, nel 2004 vennero avviati i lavori per la stabilizzazione del Fosso Seripa, alla base della rupe, sempre nel versante sud. Come noto il processo di erosione dei fossi che bordano la rupe ed il conseguente scalzamento del piede delle pareti rocciose rappresenta una delle principali cause di crollo al margine della rupe stessa. Per rallentare questi fenomeni di erosione, nel fosso Seripa erano già state costruite in passato (fine anni '70) due briglie, una delle quali in cemento armato parzialmente sommersa nelle argilliti ed una seconda, in gabbioni, danneggiata dal distacco e crollo di un blocco di roccia dalla sovrastante parete. Con le risorse disponibili sono state sistemate le vecchie briglie e realizzate nuove briglie, a valle delle precedenti, in massi ciclopici e fondate nel substrato stabile tramite doppia fila di pali a quinconce (*Fig. 14c*). Da allora il fosso Seripa ha mantenuto uno suo equilibrio e non si sono verificate riattivazioni di colate lungo il suo corso; ad oggi, quindi, l'intervento complessivo si sta rivelando essere efficace.

2005-2006. L'intervento ha interessato lo spigolo SE della rupe (intervento SUD2005 in *Fig. 14a*), in prosecuzione del precedente lavoro eseguito tra il 2001 e il 2004. Oltre al disagggio, si è provveduto al consolidamento e rinforzo della zona corticale dell'ammasso roccioso mediante barre di ancoraggio passive lunghe 5 metri ed alla chiodatura profonda (10÷20 metri) con barre passive in acciaio. Per la stabilizzazione della porzione più corticale della roccia si è anche provveduto ad installare un reticolo di funi di acciaio e reti. L'intervento è stato completato con la realizzazione di fori drenanti per evitare sovrappressioni di acqua nei giunti. I lavori in parete sono stati eseguiti su ponteggio. Infine, a parziale protezione degli edifici presenti in prossimità del piede della rupe è stata installata una barriera paramassi ad alto assorbimento di energia, al

fine di intercettare ed arrestare la caduta di blocchi di roccia.

2006-2007. Con il crollo 2006 che coinvolse circa 50.000 mc di roccia nel versante nord della rupe di fianco alla condotta del depuratore (vedi *Fig. 8*), venne eseguito un primo importante intervento in parete, consolidando cunei instabili di roccia attraverso ancoraggi profondi. Al consolidamento della parete fece seguito la costruzione di grandi briglie in massi ciclopici (una con fondazione profonda su pali di grande diametro) e la realizzazione di trincee drenanti a presidio del piede della rupe e a difesa del condotta del depuratore.

2008. Infine nel 2008, a seguito di un improvviso crollo localizzato prima della porta di accesso alla città di San Leo, ci fu intervento di somma urgenza per eliminare il pericolo attraverso la posa di rete paramassi, preceduta da disaggi in parete.

5.3. GLI INTERVENTI 2012-2013

Con l'entrata in vigore della Legge 17/2009, che ha sancito il passaggio dei 7 Comuni dell'Alta Valmarecchia dalla Regione Marche alla Regione Emilia-Romagna, su San Leo si è concentrata l'attenzione del Servizio Tecnico di Bacino Romagna (ora Servizio Area Romagna dell'Agenzia regionale per la sicurezza territoriale e la protezione civile), quale ufficio territorialmente competente in materia di difesa del suolo. Con l'acquisizione dei nuovi territori è stata avviata un'intensa attività di raccolta di documentazione sul caso San Leo, finalizzata alla comprensione dei fenomeni franosi in atto alla Rupe e alla programmazione delle prime indagini e dei primi interventi per la mitigazione del rischio.

In questa fase, oltre all'avvio delle prime indagini geognostiche nel fosso Campone, è stato portato a compimento un importante intervento per la sistemazione e la messa in sicurezza del muro del terzo piazzale della fortezza con tiranti attivi ancorati alla roccia retrostante e sistemazione del paramento murario e al consolidamento delle porzioni di parete rocciosa immediatamente sottostante con pannelli di rete in funi di acciaio, ancoraggi (passivi) profondi in acciaio e dreni sub orizzontali.

5.4. GLI INTERVENTI DAL 2014

IN POI

Con il disastroso crollo del 2014, dopo le prime verifiche speditive e l'individuazione di un'ampia fascia a rischio, definita in forma cautelativa in assenza



Figura 15. Foto panoramica delle due opere realizzate lungo l'asse vallivo del fosso Campone a seguito del crollo del 2014 per il contenimento della coltre detritica

di elementi conoscitivi significativi, è stata avviata un'attività di studio complessa e multidisciplinare, necessaria per la comprensione del fenomeno franoso. I primi studi hanno consentito di ricavare la nuova morfologia del settore interessato dal crollo (spigolo NE della rupe), di risalire alle dimensioni (volumi di materiale coinvolto, ampiezza del fronte) e alle cause del fenomeno franoso e di determinare lo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso (per i dettagli si rimanda a Lucente, 2015). Le informazioni e i dati acquisiti durante la fase di studio (rilievi e indagini) hanno permesso di:

- eseguire le verifiche di stabilità dell'ammasso roccioso;
- definire uno scenario di rischio più accurato, aggiornato a più riprese con l'avanzare degli studi;
- pianificare e realizzare un sistema di monitoraggio strumentale per il controllo delle fratture più significative nella fascia di ammasso roccioso attorno all'area di crollo, a presidio della strada di accesso alla fortezza e della parte di abitato che si sviluppa sul lato nord della rupe;
- pianificare e avviare i primi interventi di tipo strutturale nella zona del crollo secondo un ordine di priorità, in relazione all'esposizione al rischio e alla vulnerabilità delle aree.

Il sistema di monitoraggio, oggi in piena attività, è stato avviato nell'aprile del 2014 con successive fasi d'implementazione; trattasi di un sistema di monitoraggio permanente, automatizzato e in remoto, costituito da estensimetri in foro, per il controllo delle fratture in profondità (multibase), ed estensimetri a barra e a filo, per il controllo delle fratture in superficie (per un approfondimento si rimanda a Borgatti, Lucente, 2018). Il sistema di moni-

toraggio per come è stato concepito e strutturato può essere ritenuto a tutti gli effetti un intervento non strutturale di mitigazione del rischio idrogeologico. Svolge difatti la funzione di protezione civile a presidio di un'ampia fascia della rupe, rendendo possibile la convivenza con il pericolo di crollo e quindi l'accettazione del rischio, soprattutto laddove per ragioni di sicurezza non è possibile procedere ad un intervento strutturale di consolidamento.

Il crollo del febbraio 2014 ha riproposto con forza il problema della sottoscaivazione delle argilliti e, in generale, della stabilità dell'area del fosso Campone, accrescendo la convinzione che per limitare/impedire il propagarsi dei crolli (per lo meno quelli di grandi dimensioni che coinvolgono l'ammasso roccioso per tutto il suo spessore) sarà necessario eliminare l'ammaloramento, l'erosione e rifluimento delle argille ai piedi della rupe.

Pertanto, nell'ambito della pianificazione degli interventi post crollo 2014, è stata valutata l'urgenza di un intervento volto a trattenere la coltre detritica addossata alla parete e proteggere, in questo modo, le argille dall'erosione e da potenziali fenomeni franosi. È comunque evidente che l'ammaloramento e il rifluimento delle argilliti potrà essere impedito solo attraverso l'allontanamento delle acque in corrispondenza del contatto con il soprastante ammasso roccioso.

Come primi passi verso il contenimento della coltre detritica e, in generale, la stabilizzazione dell'area, si è proceduto alla realizzazione di due opere strutturali di contenimento e di trincee drenanti profonde. La progettazione degli interventi è stata eseguita sulla scorta di dati derivanti da due campagne geognostiche e di monitoraggio eseguite

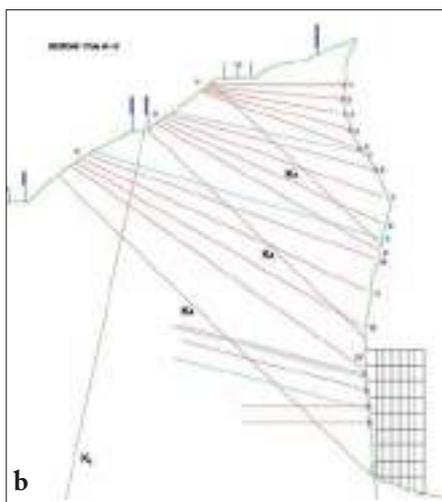
nel 2006 e nel 2015, che hanno dato indicazione sull'attività dei movimenti franosi e sullo spessore della coltre in movimento.

In Fig. 15 si apprezza la posizione delle due opere di contenimento lungo l'asse vallivo del fosso Campone. La prima opera ad essere stata realizzata è quella di valle. Si tratta di una paratia, realizzata ad arco, fondata nel substrato stabile mediante pali di grande diametro e rinforzata con doppia fila di tiranti (e doppia trave). Il paravento del muro in elevazione è stato mascherato con massi ciclopici per mitigarne l'impatto visivo. Per la riduzione degli effetti negativi derivanti dalla presenza d'acqua nelle argilliti, l'intervento è stato completato da due rami drenanti principali a monte dell'opera di contenimento e dalla raccolta delle acque, convogliate nell'alveo del fosso Campone, a valle della paratia.

La seconda opera di contenimento è stata realizzata sfruttando la fondazione esistente di una vecchia gabbionata realizzata negli anni '80 la cui parte in gabbioni è stata distrutta dall'impatto della massa detritica nel crollo del 2014 (vedi Fig. 13b, c). Accertata l'integrità dell'apparato fondale, costituito da una grande trave in cemento armato, ancorata a pozzi in calcestruzzo profondi 12 metri e con diametro di 5 metri, si è provveduto alla realizzazione di un muro in sovrelevazione, rafforzato con speroni e ancorato all'opera di fondazione esistente. La sistemazione finale ha sensibilmente abbattuto l'impatto visivo dell'opera.

È in corso un monitoraggio del fronte di crollo e del sottostante accumulo detritico con tecnica fotogrammetrica aerea attraverso l'impiego del drone per controllare, sia pure in forma non continua, eventuali movimenti della coltre detritica (oltre a modifiche morfologiche della parete), consentendo in tal modo di valutare l'efficacia degli interventi sinora eseguiti nel fosso Campone. Ad oggi, se si escludono piccole colate superficiali, non si sono riscontrati movimenti della coltre nel suo complesso che rimane saldamente addossata alla parete (per approfondimenti si rimanda a Dubbini, Lucente, 2018). Anche alcuni inclinometri installati in corrispondenza della paratia di valle danno indicazione di stabilità.

Le valutazioni fatte all'indomani del crollo del 2014 hanno individuato una seconda priorità di intervento rappresentata dalla parete est della Rupe di San Leo, nel settore interessato dalla strada di accesso alla fortezza che passa a pochi



razioni dirette dalla parete verso l'interno dell'ammasso. Sono previste 60 stazioni di perforazione, ogni stazione comprende 4 perforazioni dove vanno inserite le barre di ancoraggio per complessivi 13.000 metri. A completamento dell'intervento di rinforzo, è stata prevista la realizzazione di fori drenanti profondi. In alcuni dei fori già eseguiti è stata realizzata la videoispezione per un controllo diffuso e sistematico dello stato di fratturazione e con un continuo aggiornamento del quadro fessurativo (Fig. 16c).

I lavori di consolidamento della parete sono tuttora in corso; ad oggi sono state completate le perforazioni e la posa degli ancoraggi nella parte sommitale della rupe.

6. INTERVENTI PROGRAMMATI E DI PROSSIMA REALIZZAZIONE

Nell'ambito del Piano Nazionale contro il Dissesto Idrogeologico, sono stati programmati altri interventi di mitigazione del rischio idrogeologico che riguardano: 1) la prosecuzione degli interventi di consolidamento della parete sud della Rupe di San Leo; 2) la stabilizzazione/manutenzione dei fossi Campone e Seripa e la sistemazione del torrente Rio Maggio, ricettore dei due fossi.

Per quanto riguarda il versante sud, alla luce degli interventi già realizzati nell'arco di poco meno di 40 anni, sono stati conseguiti importanti risultati nella mitigazione del rischio a presidio dell'abitato, dell'unica strada di accesso all'abitato stesso e della maestosa fortezza che insiste sullo spigolo SE della rupe. Tuttavia, il progredire dello stato di alterazione delle pareti rocciose esposte agli agenti esterni, il verificarsi di crolli, sia pure sporadici e di piccola entità, e la mancata manutenzione delle opere sinora eseguite impongono una certa attenzione soprattutto in relazione all'esposizione al rischio e alla vulnerabilità dei beni interessati. Pertanto, negli ultimi anni e soprattutto a seguito del drammatico evento del 2014, è maturata la necessità di provvedere ad ulteriori misure per la riduzione del rischio a fronte dell'oggettiva pericolosità che tuttora caratterizza la parete sud.

L'intervento relativo alla parete sud è stato già finanziato e sono in corso alcuni approfondimenti conoscitivi necessari alla progettazione. In aggiunta ai tradizionali interventi di consolidamento per ampliare e intensificare gli interventi già eseguiti, resta urgente il ripri-

Figura 16. Intervento di consolidamento della parete est della Rupe di San Leo a difesa della strada di accesso alla fortezza. a) Tratto della parete rocciosa oggetto di intervento (perimetro rosso) con la strada di accesso alla fortezza prossima al ciglio. b) Sezione di progetto con le tracce in rosso delle perforazioni in cui inserire e cementare le barre in acciaio e le tracce in azzurro per l'inserimento di tubi drenanti. c) Esempio di video-ispezione in corso d'opera a fine perforazione, utile all'individuazione di importanti fratture (frattura aperta e a franapoggio, immergente verso l'esterno della parete, appartenente alla famiglia K4 rappresentate schematicamente in sezione)

metri dal ciglio della parete. Le conoscenze acquisite sull'assetto strutturale (carotaggi e rilievi in parete e sulla sommità della placca) e sulle condizioni di stabilità dell'ammasso roccioso hanno evidenziato un'oggettiva pericolosità dell'area tale da ritenere necessario nella stesura del piano di protezione civile, un transito condizionato della strada resa accessibile a solo navetta autorizzata in determinate fasce orarie e con la strumentazione di monitoraggio in funzione (Lucente, 2015; Borgatti, Lucente, 2018).

L'intervento di consolidamento di un settore della parete est (Fig. 16a), finanziato nell'ambito del Piano nazionale contro il dissesto idrogeologico (Progetto Italia Sicura) mira al miglioramento delle condizioni di sicurezza di cunei di roccia potenzialmente instabili, individuati in parete a seguito di approfonditi studi.

Il tipo di intervento prescelto consiste essenzialmente nell'installazione di un sistema di barre d'acciaio non pretese ("passive") inserite, in profondità (fino a

50 ÷ 60 metri) all'interno dell'ammasso roccioso in fori di perforazioni variamente orientate. Le barre sono connesse ("ancorate") alla roccia lungo la loro intera lunghezza mediante iniezioni di boiaccia cementizia. La scelta del rinforzo di tipo passivo è essenzialmente motivata dall'evitare i rischi di rottura dei ponti di roccia presenti su molte delle discontinuità naturali che attraversano l'ammasso. L'applicazione degli elevati carichi di pretensione tipici dei tiranti tenderebbe infatti a sollecitare maggiormente proprio le zone di roccia integra (di maggiore rigidità) presenti localmente lungo le superfici di contatto tra i blocchi che formano l'ammasso.

Per la realizzazione dell'intervento, secondo lo schema riportato nella sezione rappresentativa di Fig. 16b, è previsto che si operi sia sulla sommità della rupe, con perforazioni dirette verso il fronte esterno, a partire da piazzole di lavoro appositamente realizzate, sia da ponteggi realizzati al piede della parete est, con perfo-

stino e l'implementazione dell'impianto di monitoraggio esistente, adottando le necessarie misure per dare corpo ad un sistema di monitoraggio efficiente e duraturo nel tempo, sulla scorta dell'esperienza maturata per il sistema di monitoraggio attivo sul versante nord della rupe dai tempi del crollo del 2014.

Con il secondo intervento, dedicato ai versanti argillosi che bordano la rupe, si intende provvedere a ulteriori interventi di stabilizzazione soprattutto lungo il fosso Campone dove ancora resta molto da fare per giungere ad un livello di rischio accettabile. L'obiettivo primario resta quello di limitare al massimo i fenomeni di erosione e di destabilizzazione delle argilliti ai piedi delle pareti rocciose, che sono all'origine dei grandi crolli recentemente accaduti. Rimane essenziale quindi intensificare gli interventi di stabilizzazione della fascia di versante che borda la rupe e provvedere alla sistemazione del fosso Campone, impedendo ulteriori approfondimenti del suo alveo e, di conseguenza, eventuali effetti di richiamo che possano contribuire alla destabilizzazione dei terreni argillosi. Analogo discorso vale per il fosso Seripa, anche se qui gli sforzi compiuti nel recente passato hanno determinato una situazione di apparente equilibrio per cui non si sono verificati dissesti negli ultimi 15 anni. Nell'ambito della sistemazione dell'area ai piedi della rupe si dovrà provvedere alla messa in piedi di un sistema di monitoraggio integrato (inclinometri, piezometri, controllo sorgenti, stazione totale, drone) finalizzato al controllo della coltre detritica e alla verifica delle opere realizzate e da realizzare.

Per completare gli interventi di stabilizzazione nelle valli del fosso Campone e del fosso Seripa, si rende necessario procedere anche alla sistemazione del torrente Rio Maggio, da anni in forte erosione. Diverse briglie realizzate negli anni '60 e '70 sono crollate o sono state danneggiate dalle piene e dall'erosione. I benefici che possono derivare da un intervento di regimazione dell'alveo del torrente Rio Maggio si ripercuotono positivamente sui due fossi Campone e Seripa e quindi potranno contribuire, a lungo termine, anche alla stabilizzazione generale dei versanti argillosi ai piedi della Rupe.

7. CONCLUSIONI

San Leo rappresenta la principale città fortificata del Montefeltro la cui fortezza ha rappresentato nei secoli un luogo inespugnabile per la particola-

re posizione geografica, collocata sulla sommità di una rupe circondata da alte e ripide pareti rocciose. Tuttavia, questa posizione è costata molto alla città di San Leo e alla sua fortezza, martoriata nei secoli da grandi frane a causa della particolare conformazione geologica e geomorfologica della rupe. L'ammasso calcarenitico, a comportamento rigido, risulta attraversato da diverse famiglie di discontinuità e si appoggia su di un substrato argilloso dal comportamento plastico e soggetto a spinti processi di alterazione. Queste caratteristiche geologiche, geotecniche e strutturali si configurano come le cause predisponenti degli eventi franosi avvenuti negli ultimi anni, che peraltro mostrano lo stesso cinematisma degli eventi storici descritti negli archivi.

Tali fenomeni si possono descrivere come crolli-ribaltamenti di roccia secondari, ovvero che si innescano in un contesto di *rock spreading* che interessa l'intera rupe e che coinvolge i bordi della rupe per tutto il suo spessore (grandi volumi). Per questo motivo, se si escludono i crolli localizzati di volumi relativamente piccoli di roccia, che sono guidati dalla geometria delle pareti rocciose e dalle famiglie di discontinuità (scivolamenti planari e di cunei, ribaltamenti e crolli), il motore del dissesto a scala globale è da ricercarsi al contatto tra calcareniti e argilliti. Qui si concentrano infatti processi di alterazione chimica e disgregazione fisico-meccanica che portano ad un progressivo rimaneggiamento del substrato argillitico. Soprattutto laddove scaturiscono le acque che si accumulano alla base dell'ammasso roccioso, l'erosione diffusa e concentrata, il soliflusso e le frane superficiali rimuovono progressivamente le argilliti, già rimaneggiate, fino a creare grandi cavità sotterranee ai piedi delle pareti rocciose, lasciando ampi settori della rupe senza sostegno. In questi settori, se esistono fratture persistenti che isolano grandi blocchi, è la sola resistenza dei ponti di roccia a garantire la stabilità ma, quando questa viene vinta, il crollo di ampie porzioni è inevitabile. Inoltre, gli sforzi indotti nell'ammasso prima e dopo tali grandi distacchi inducono la formazione di fratture parietali che si configurano come i coronamenti di successivi distacchi.

La convivenza con questi grandi fenomeni franosi ha indotto in tempi storici a modificare diverse volte le vie di accesso alla città e alla fortezza. Verso la fine del '700, a causa di un ingente crollo, venne abbandonata la cosiddetta "Porta di Sotto" che era stata sino ad al-

lora l'accesso principale alla città, posto sul versante nord della rupe. L'entrata principale divenne la "Porta di Sopra" collocata sul versante Sud della rupe, ma anche questa venne presto abbandonata per frana. Oggi si accede alla città da una strada realizzata a mezza costa e completata dalla realizzazione di un viadotto per allontanare la viabilità dalla parete rocciosa (1954).

Solo in tempi più recenti, dopo alcuni significativi crolli a metà del secolo scorso che hanno minacciato la porta di ingresso e l'abitato e che hanno coinvolto pezzi della fortezza, sono stati avviati i primi interventi per mitigare il rischio. Non sono pochi gli interventi realizzati a partire dalla fine degli anni '60 che hanno certamente portato notevoli benefici in termini di sicurezza e riduzione del rischio. Tuttavia, anche a seguito degli ultimi episodi di crollo che hanno visto, fra l'altro, il coinvolgimento di grandi volumi di roccia, il livello di rischio resta ancora alto, soprattutto in alcuni settori della rupe, vuoi per l'intensità e la pericolosità dei fenomeni franosi vuoi per l'elevata esposizione e vulnerabilità.

Certamente, la complessità del meccanismo di instabilità che è all'origine del dissesto idrogeologico e lo stato di sforzo che si genera lungo le fratture e nell'ammasso roccioso, richiedono una particolare attenzione nella ricerca dei rimedi più efficaci per contrastare il dissesto idrogeologico. Infatti, oltre alle tradizionali opere di consolidamento dell'ammasso tese a mettere in sicurezza le pareti rocciose, resta strategico attuare quegli interventi che permettono di ridurre la pericolosità indotta dai fattori causali: l'erosione e la destabilizzazione delle argilliti alla base delle pareti rocciose. Questo è quanto si è cercato di fare con i primi interventi realizzati nel fosso Campone e nel fosso Seripa con l'obiettivo di contrastare lo scalzamento al piede delle pareti rocciose.

Il fatto che nel fosso Campone, nonostante le opere realizzate negli anni '80, si siano poi verificati dei crolli è, probabilmente, da imputare al sotto-dimensionamento di quell'intervento e all'assenza di manutenzione, oltre ad una sottovalutazione dell'intensità e della velocità di evoluzione del dissesto in mancanza di dati di monitoraggio. Solo successivamente, alla fine degli anni '80, sono stati avviati i primi monitoraggi ed intensificate le indagini per acquisire le necessarie conoscenze del fenomeno franoso, sebbene ancora in forma molto localizzata, per la progettazione e la

realizzazione di singoli interventi. Ma è dopo il crollo del 2014 che si è dato avvio ad uno studio di ampio respiro e multidisciplinare che ha consentito di definire un primo modello geologico e idrogeologico della rupe, di determinare i principali sistemi di discontinuità dell'ammasso roccioso e di risalire alle cause e ai meccanismi che sono all'origine del dissesto idrogeologico. Inoltre, un sistema di monitoraggio delle fratture in funzione da aprile 2014 continua a fornire interessanti dati sul comportamento dell'ammasso roccioso.

Le conoscenze acquisite hanno consentito di avviare i primi interventi di mitigazione del rischio sul versante nord e sul versante est della rupe di San Leo dopo il drammatico crollo del 2014. In vista dei futuri interventi programmati, l'intento è quello di estendere le metodologie di studio sperimentate in questi ultimi anni e il monitoraggio alla parete sud della rupe e all'intero bacino idrografico del fosso Campone, introducendo come si è cercato di fare sinora tecniche di indagini innovative.

Resta, infine, da sottolineare anche la necessità di programmare una continua manutenzione degli interventi, eseguiti e da eseguire, mantenendo inalterata l'efficienza delle opere nei limiti dei tempi di naturale deperimento. Ciò risulta estremamente strategico per poter fare fronte alla continua evoluzione dei fenomeni franosi e alle modifiche morfologiche in atto ai piedi della rupe che negli ultimi decenni sembrano avere subito una sensibile accelerazione imputabile alle mutate condizioni climatiche.

Certamente quanto in programma per contrastare efficacemente il dissesto idrogeologico e garantire condizioni accettabili di sicurezza (tendere al minimo rischio possibile) comporta dei costi elevati, che si aggiungono a quelli già sostenuti in 70 anni di interventi, ma trovano giustificazione, oltre che nel garantire la pubblica incolumità, nell'instimabile valore storico e culturale di San Leo, riconosciuto come comune "gioiello d'Italia" dal Ministero del Turismo nel 2013.

BIBLIOGRAFIA

BENEDETTI G., BERNARDI M., BORGATTI L., CONTINELLI F., GHIROTTI M., GUERRA C., LANDUZZI A., LUCENTE C.C., MARCHI G. (2011), *San Leo: centuries of coexistence with landslides*. In: MARGOTTINI C., CANUTI P., SASSA K. (editors), *Landslide science and practice*. Springer, Berlin, 6, pp 529-537.

BORGATTI L., GUERRA C., NESCI O., ROMEO R.W., VENERI F., BENEDETTI G., LANDUZZI A., MARCHI G., LUCENTE C.C. (2015),

The 27th February 2014 San Leo rock fall (northern Italy). Landslides, 12, 387-394.

BRACCI A., LUCENTE C. C., MAINARDI G., PERACCINI D., BORGATTI L., LANDUZZI A. (2018), *Geometria e strutture della Rupe di San Leo attraverso l'investigazione con sismica a riflessione, primi risultati*. Monografia - San Leo: la conoscenza e il monitoraggio come strumenti indispensabili di prevenzione e mitigazione del rischio (a cura di C. C. Lucente). Il Geologo dell'Emilia-Romagna, Nuova serie, 5-6.

CANCELLI A., PELLEGRINI M. (1987), *Deep seated gravitational deformations in the Northern Apennines, Italy*. 5th Int. Conf. and Field Workshop of Landslides, Australia and New Zealand.

CATURANI A., RIBACCHI R., TOMMASI P. (1991), *The San Leo Cliff (Italy): stability conditions and remedial measures*. VII ISRM Int. Congr. on Rock Mechanics, Aachen, 2, pp 853-858.

CONTI S. (1994), *La geologia dell'alta Val Marecchia (Appennino toscano-marchigiano)*. Note illustrative alla carta geologica 1:50.000. Atti Tic. Sc. Terra, 37, 51-98.

CONTI S., TOSATTI G., (1996), *Tectonic vs gravitational processes affecting Ligurian and Epiligurian units in the Marecchia valley (Northern Apennines)*. Memorie di Scienze Geologiche, 48, 107-142.

CORNAMUSINI G., CONTI P., BONCIANI P., CALLEGARI I., CARMIGNANI L., MARTELLI L., QUAGLIARI S. (2009), *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 267 - San Marino*. APAT, Serv. Geol. It., 1-125 pp.

DE CAROLIS P., SOCCODATO C. (1980), *Situazione geomeccanica della Rupe di San Leo (PS) ed opere proposte per il consolidamento*. La geotecnica negli interventi sugli antichi centri abitati sugli edifici monumentali e sui monumenti. Atti del XIV Convegno di Geotecnica. Firenze 28-31 Ottobre 1980.

DE FEYTER A.J. (1991), *Gravity tectonics and sedimentation of the Montefeltro, Italy*. Geol. Ultraieci., 35, 1-168.

D'AMBRA S., GIGLIO G., LEMBO-FAZIO A. (2004), *Interventi di sistemazione e stabilizzazione della rupe di San Leo*. 10° Congresso Interpraevent 2004, Riva del Garda, 2, 103-114.

DUBBINI M., LUCENTE C. C. (2018), *L'impiego del drone nel monitoraggio della frana di crollo della Rupe di San Leo*. Monografia - San Leo: la conoscenza e il monitoraggio come strumenti indispensabili di prevenzione e mitigazione del rischio (a cura di C. C. Lucente). Il Geologo dell'Emilia-Romagna, Nuova serie, 5-6.

GUERRA C., NESCI O. (2013), *L'analisi del paesaggio storico come strumento per la comprensione dell'evoluzione morfologica e ambientale del territorio. Alcuni casi studio nel Montefeltro*. Il Geologo dell'Emilia-Romagna, Anno XIV/2013, n. 48 - 49 - Nuova Serie, 7-15.

LANDUZZI A., LUCENTE C. C., BORGATTI L., PINI G. A. (2018), *La Geologia della Rupe di San Leo*. Monografia - San Leo: la conoscenza e il monitoraggio come strumenti indispensabili di prevenzione e mitigazione del rischio (a cura di C. C.

Lucente). Il Geologo dell'Emilia-Romagna, Nuova serie, 5-6.

LEMBO FAZIO A., RIBACCHI R., SCIOTTI M., TOMMASI P. (1998), *Problematiche di intervento su versanti naturali per la salvaguardia di abitati ed opere di ingegneria. Alcuni esempi in relazione a diversi tipi di dissesto*. 6° Ciclo di conferenze di Meccanica delle Rocce, Torino.

LUCENTE C. C. (2015), *Il crollo del versante nord della rupe di San Leo del 27 Febbraio 2014: studio e monitoraggio a un anno di distanza*. Il Geologo dell'Emilia-Romagna, 52, 6-22.

LUCENTE C. C., BORGATTI L. (2018), *Il monitoraggio geotecnico della Rupe di San Leo*. Monografia, San Leo: la conoscenza e il monitoraggio come strumenti indispensabili di prevenzione e mitigazione del rischio (a cura di C. C. Lucente). Il Geologo dell'Emilia-Romagna, Nuova serie, 5-6.

LUCENTE C. C., MANZI V., RICCI LUCCHI F., ROVERI M. (2002), *Did the Ligurian sheet cover the whole Romagna Apennines?* Boll. Soc. Geol. It., Volume speciale 1, 385-392.

MACCAFERRI S.P.A. (1986), *Risanamento idro-geologico del Fosso Campone per il consolidamento della Rocca di San Leo*. Informazione tecnica XVI Convegno di Geotecnica, Associazione Geotecnica Italiana. Bologna, 14-17 maggio 1986.

RIBACCHI R. (1987), *Esame delle condizioni di stabilità della Rupe di San Leo dopo gli interventi 1979-1986 ed indagini e nuovi interventi consigliati*. Relazione Tecnica. Roma, luglio 1987.

RIBACCHI R. (1988), *Condizioni statiche della parete rocciosa sotto la porta di accesso di S. Leo*. Relazione Tecnica. Roma, 2 maggio 1988.

Ribacchi R., Tommasi P. (1988), *Preservation and protection of the historical town of San Leo (Italy)*. IAEG Int. Symp. on Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites, Athens, 1, 55-64.

RIBACCHI R., TOMMASI P. (1989), *Instability problems of the San Leo Cliff*. In "Reading historical sites through geotechnical evidence, 85-90. ISSMFE TC19 and AGI.

RICCI LUCCHI F., ORI G.G. (1985), *Field excursion D: syn-orogenic deposits of a migrating basin system in the NW Adriatic foreland*. In Allen P.H., Hornewood P. & Williams G. (Editors), *Excursion Guidebook, Foreland Basin Symp.*. Fribourg, 137-176.

ROVERI M., ARGNANI A., LUCENTE C. C., MANZI V., RICCI LUCCHI F. (1999), *Guida all'escursione nelle Valli del Marecchia e del Savio*. Riunione Autunnale del Gruppo Informale di Sedimentologia.

RUGGERI G. (1958), *Gli esotici neogenici della colata gravitativa della Val Marecchia (Appennino Romagnolo)*. Atti Acc. Sc. Lett. e Arti Palermo, 17, 7-169.

SPREAFICO M.C., FRANCONI M., CERVI F., STEAD D., BITELLI G., GHIROTTI M., GIRELLI V.A., LUCENTE C.C., TINI M.A., BORGATTI L. (2015), *Back analysis of the 2014 San Leo landslide using combined terrestrial laser scanning 3D distinct element modelling*. Rock Mechanics and Rock Engineering, 49 (6), 2235-2251.

TOMMASI P., ROTONDA T. (1995), *Analysis of deformations occurring at the edge of a rock cliff underneath a historical center*. VIII ISRM Congress. Tokyo, 1, 383-388.

Un mondo di pietra. Costruzioni e manufatti litici a secco nel paesaggio del Carso, Istria e Dalmazia

Carlo Nicotra
Architetto
E-mail: carlonicotra@alice.it

A world of stone.
Dry stone constructions and artefacts
in the landscape of the Karst, Istria
and Dalmatia

Parole chiave: paesaggio, mura a secco, terrazzamenti, ricoveri, edifici monocellulari
Key words: landscape, dry walls, terraces, shelters, single-cell buildings

INTRODUZIONE

La lettura del territorio agricolo attraverso una visione olistica e sistemica e non come semplice sommatoria di elementi naturali e artificiali, evidenzia la misura in cui, il confronto tra la presenza umana e la combinazione dei fattori primari quali il clima, la natura dei terreni e la disponibilità di acqua, ha contribuito alla trasformazione di una significativa parte dell'ambiente naturale in paesaggio rurale. Il millenario rapporto tra uomo e natura, assumendo diverse connotazioni in base all'evoluzione delle tecniche di lavorazione dei terreni disponibili, ha dato infatti origine allo sviluppo del "sistema agrario", quale precisa tipologia paesaggistica affermata man mano, nei diversi territori, ed espressione identitaria delle popolazioni residenti (Bryan 1933, Sereni 1961, Turri 2008).

Nel caso specifico, il connubio tra le particolarità geologiche ed orografiche dei territori del Carso, dell'Istria e della costa dalmata e l'utilizzo umano dei materiali autoctoni, ha contribuito a creare, congiuntamente ad altre specificità (sistemazioni idraulico/agrarie, viabilità, complessi vegetazionali, organizzazione insediativa, edilizia rurale, ecc.) un assetto paesaggistico che riesce a mantenere valide le sue sistemicità anche a fronte delle vaste, recenti, intrusioni antropizzanti. La cultura materiale ed immateriale della pietra a secco, esplicita nelle sue diverse applicazioni funzionali, trova collocazione, quale precisa categoria paesaggistica, tra la dimensione "soggettiva", legata alla percezione diretta dell'estetica del luogo, e quella "oggettiva", ossia la presenza materiale nello spazio geografico degli specifici elementi fisici (Tosco 2017).

CARSO TRIESTINO E SLOVENO

La parola "carso", al di là della sua specifica indicazione geografica, si è consolidata, nel tempo, quale archetipo linguistico indicante la specificità geologica di un territorio (Grove, Rackham, 2001) e nelle sue varie accezioni lessicali, con il corrente significato etimologico di area *scogliosa*, di territorio la cui superficie è formata e ricoperta da pietra calcarea (Panjek 2015). Queste specificità fisiche, sul Carso, si trovano coniugate all'evoluzione insediativa di un territorio che ha visto il progressivo consolidarsi di strettissimi rapporti tra natura del suolo, ambiente, caratteristiche idrogeologiche, produttività agricola e insediamenti urbani, manifestandosi quali elementi condizionanti, sia per i tratti formali delle superfici agricole, ossia forma, estensione e distribuzione di campi e prati nello spazio, che per le opere e gli interventi materiali con cui l'uomo ha gestito e organizzato il territorio, ossia doline lavorate, terrazzamenti, muri a secco (Ilešič 1950, Sereni 1961, Moritsch 1969). In questo contesto, la tipologia dell'utilizzo della pietra locale posata a secco, materializzando il connubio tra elementi estetici, coloristici e costruttivi, diviene uno dei primari elementi che caratterizzano l'assetto paesaggistico generale (Fig. 1).

MANUFATTI IN PIETRA A SECCO

Nel Carso l'utilizzo della pietra calcarea a secco si ritrova, analogamente a molti altri contesti territoriali mediterranei, nella costruzione dei muretti per la delimitazione delle proprietà fondiarie, e nella sistemazione terrazzata dei terreni agricoli con accentuato declivio; nello specifico la bonifica agricola delle doline prevedeva, a seguito del dissodamento e spietramento del fondo, l'ese-



Figura 1. Carso sloveno, borgo carsico di Volji Grad; la carrareccia a fondo naturale che collega l'abitato con il territorio agricolo circostante viene delimitata con un muro a secco dalle proprietà attigue al paese (foto Carlo Nicotra)



Figura 2. Costone carsico, paese di Prosecco; i terrazzamenti e le scalinate di collegamento tra la sommità del crinale e il tratto costiero presso Miramare, sono stati realizzati con la pietra arenaria locale posata a secco (foto Carlo Nicotra)

cuzione del terrazzamento perimetrale circolare (Panjek 2015). A queste due principali categorie di opere, fa generalmente riscontro la presenza di manufatti accessori e complementari. Ne sono un esempio i cumuli da spietramento (*groumasi*), costituiti dalla concentrazione della gran parte del pietrame estratto con l'opera di dissodamento, e le casite (*biške*), ricoveri temporanei edificati dai proprietari dei terreni agricoli o dai pastori che conducevano al pascolo gli armenti in luoghi lontani dal paese. Da sottolineare anche la presenza diffusa di opere per la raccolta dell'acqua, bene prezioso in un territorio praticamente privo di idrografia superficiale.



Figura 3. Carso di Monfalcone; varco di scarico delle acque meteoriche realizzato su un muretto di delimitazione in un'area rimboschita presso il monte Ermada (foto Carlo Nicotra)

Sul lato mare le opere di terrazzamento si sono sviluppate in forma molto importante sui declivi del costone, dove una serie articolata di murature crea un sistema di pastini esposti al soleggiamento e protetti dai freddi venti di bora. Utilizzati per la coltivazione della vite e dell'ulivo, sono ben collegati tra di loro e con i paesi carsici di crinale (Prosecco e Santa Croce), per mezzo di scalinate, a loro volta delimitate da muri a secco terrazzati. Data la differenziazione litologica, presente appena sotto il filo meridionale del crinale, questo sistema, la cui origine è attestabile al periodo di produzione del vino Pucino in epoca romana (Colombo 2017), è stato realizzato con la pietra arenaria (Fig. 2).

Una traccia documentaria sistematica in merito all'assetto storico del territorio triestino e della sua suddivisione proprietaria, inizia ad essere disponibile per il periodo medievale (Durissini 2013), ed in seguito con il libro delle perticazioni del 1525, mentre, per il Carso interno, troviamo la meticolosa opera descrittiva del Valvasor (Valvasor 1689).

Le testimonianze testuali e iconografiche ci riportano ad un territorio inizialmente boscato, che il clima e le attività umane hanno progressivamente portato a roccia spoglia, landa carsica che cederà il passo ad un nuovo assetto ambientale solamente in concomitanza con i rimboschimenti ottocenteschi. In questo contesto di roccia calcarea nuda, la tipologia dei manufatti realizzati sul territorio, sostanzialmente immutata nel tempo, varia in funzione del suo utilizzo (attività agricole o pastorizie),

della disponibilità e delle caratteristiche del materiale "spietrato" dai campi, e dalle necessità e capacità esecutive del costruttore. Solitamente il muretto era realizzato con un'altezza media di circa un metro e con elementi litici di una certa regolarità, oppure con una doppia testa contenente, secondo la tecnica del muro "a sacco", un riempimento di pezzature minute, raramente con elementi diatonici di rinforzo. Tipica la presenza di massicci pilastrini, elementi litici a paracarro (*vrzelnik*) che marcano l'ingresso alla proprietà agricola e fungevano da sostegno al cancello in legno. Nel caso di delimitazioni di strade o carraie, la muratura presentava generalmente una maggiore altezza e compattezza ed era dotata di varchi basali per lo scolo delle acque meteoriche (Belingar, Bratina, Čok, Jeršek 2013) (Fig. 3).

RIMBOSCHIMENTI

Un capitolo a parte nel quadro della realizzazione di manufatti in pietra, riguarda la delimitazione delle aree carsiche rimboschite. Dopo i primi tentativi effettuati nel 1842 le piantumazioni boschive sul Carso proseguirono, specialmente sul territorio del Comune di Trieste, per tutta la seconda metà del secolo XIX. Entro il 1879 furono posti a dimora, presso gli abitati di Basovizza, Gropada, Trebiciano, Padriciano, Banne, Opicina e Contovello sedici nuovi boschi, marcati all'ingresso con una lapide che riportava data d'impianto e denominazione; tra il 1870 e il 1882 furono piantati 110 ettari di terreno sempre utilizzando l'essenza non autoctona del pino nero austriaco, mentre nuovi 873 ettari di nuovo impianto vennero messi a dimora tra il 1882 e il 1911 nell'area del ciglione carsico, del monte Cocusso e degli abitati di Basovizza e Gropada. Questi nuovi boschi, creati generalmente sulle aree più degradate di proprietà pubblica, furono recintati con muretti a secco per un totale di 33.426 metri di lunghezza realizzati con buona tecnica costruttiva e idonei materiali lapidei (Lago 1980, Masiello 1992).

RICOVERI TEMPORANEI

I ricoveri temporanei, costituiti da piccoli edifici monocellulari, (*biške*, o *hiše* nell'area carsica slovena, casite nell'accezione italiana in Carso e in Istria, *kažun* o *kažeta* in lingua croata, *šišce*, in altre aree del Carso orientale, *bunje*, *polijarice*, *čemer*, *kučerice* in Dalmazia) rappresentano, nei loro elementi caratteri costruttivi, una tipologia ampiamente diffusa in diversi contesti



Figura 4. Carso triestino; casita realizzata in un fondo agricolo situato presso il paese di Trebiciano; la costruzione sfrutta l'elevato spessore del muro di delimitazione della proprietà (foto Carlo Nicotra)



Figura 5. Carso sloveno; ricostruzione di una pastirka biska nel contesto del museo vivente del Carso realizzato lungo il vecchio collegamento viario tra Basovizza e Sežana (foto Daniela Durissini)

geografici; nell'area mediterranea troviamo le *caselle* liguri, le *macère*, *macerie* o *pagliare* abruzzesi, le *specchie* pugliesi e le *paggiare* salentine, nonché altre varie definizioni indicanti manufatti dai tratti derivati da comuni archetipi d'epoca protostorica (Nicod1992, Gisotti 2003). Gli esemplari presenti sul Carso, risultano spesso affini per caratteri costruttivi e funzionali, alla tipologia mediterranea e nello specifico alle *casite* istriane, ma generalmente, presentano fattura più modesta e dimensioni minori (Fig. 4).

Nell'impianto costruttivo di questi edifici il materiale lapideo viene disposto in modo da strutturare una pianta interna a base circolare, mentre il perimetrale esterno risulta solitamente quadrato o rettangolare, con il piccolo ingresso disposto in posizione protetta dai venti di bora. Allo schema distributivo principale possono fare riscontro diverse tipologie, legate principalmente alla collocazione fisica del manufatto sul terreno. Troviamo esemplari completamente inseriti nello spessore del muro di recinzione delle doline o dei coltivi,

sporgenti dal tracciato delle recinzioni nel punto di intersezione di due muretti, oppure strutture isolate collocate, di norma, all'interno degli antichi pascoli comunali. Le dimensioni, le specificità costruttive e la possibilità di realizzazione delle coperture a falsa cupola, vengono condizionate principalmente dalla capacità tecnica del costruttore e dalla sufficiente disponibilità di pietre piatte di opportuna dimensione (Pagnini, 1966, Guacci 1982) (Fig. 5).

Possono poi essere rilevabili, ulteriori caratteristiche dei ricoveri dettagliando analiticamente l'utilizzo e la loro collocazione (isolate, non isolate, affiancate, inglobate, composte, inserite nel muro di pastino, accostate ecc.). Alcuni studi, che includono pure la descrizione tecni-

ca delle varie fasi costruttive delle casite carsiche (Belingar, Bratina, Čok, Jeršek 2013), unitamente all'attenta opera di catalogazione e documentazione fotografica effettuata nel 2009 dal Club Alpino Italiano (Polli, Gasparo 2009), costituiscono preziosi contributi per la conservazione e recupero di questi manufatti (Fig. 6).

RISERVE D'ACQUA

Un ulteriore elemento, che caratterizza il paesaggio del Carso, ma anche quello di molte delle aree carsiche dell'Istria e della Dalmazia, è costituito dalla disponibilità delle risorse idriche e dai metodi applicati per il loro razionale utilizzo. L'acqua è sempre stata una risorsa rara in Carso e la sua mancanza ha portato gli abitanti del territorio a sfruttare tutte le possibilità e le tecniche disponibili per la sua raccolta e conservazione. Normalmente la pioggia, raccolta dai tetti delle costruzioni veniva convogliata, con un sistema di grondaie, nelle cisterne comuni o nei pozzi delle corti private, mentre con la sistemazione dei terreni in pendio e l'ausilio di muretti di scarico, si realizzavano, ai margini degli abitati, stagni artificiali (*kal*, *lokva*, *mlaka*) dedicati all'abbeveramento degli animali (Pagnini 1966, Moritsch 1969).

Particolarmente rilevante risulta l'esempio di Rupingrande sul Carso triestino, ove una complessa rete di adduzione idrica (grondaie e pluviali) alimenta due cisterne pubbliche, quello degli invas interrati di Basovizza e Banne o dei diversi esemplari ancora esistenti sull'altipiano carsico sloveno; vedi a proposito il paese di San Daniele



Figura 6. Carso triestino, esemplare di casita ricostruito all'interno dell'area di rimboscimento "Igouza" presso il paese di Basovizza (foto Carlo Nicotra)

(*Štanjel*), ove viene conservata, all'interno dell'abitato storico, una particolare rete di raccolta idrica (Pagnini 1972-73, Durissini, Nicotra 1989).

Mentre nei centri abitati si possono ancora osservare pozzi e cisterne, sul territorio permane traccia delle ghiacciaie interrato (*ledenice*), nelle quali il ghiaccio, formatosi durante i freddi invernali, si conservava per essere venduto, per tutto l'anno, sulla piazza triestina; la fossa di raccolta dell'acqua destinata al congelamento era solitamente rivestita da una struttura circolare di pietre quadrate con incorporata la scala d'accesso formata da blocchi in calcare massiccio (Pagnini 1972-73).

La tecnica costruttiva dei diversi manufatti prevedeva, coerentemente alla tradizione contadina del luogo, l'utilizzo seppur parziale, della pietra assemblata senza uso di leganti; significativo in tal senso il comune uso delle grondaie in pietra, ove le componenti, lavorate a scalpello, venivano montate a secco con una tecnologia ancora visibile nella cisterna di *Štanjel*.

Tra le riserve d'acqua non vanno dimenticati gli stagni, indispensabili in una società in cui l'allevamento costituiva una delle attività principali. La realizzazione avveniva tramite la posa in opera, in corrispondenza di un avvallamento naturale del terreno, di una fascia di pietrame spezzato, successivamente impermeabilizzato con uno strato di argilla compressa; di norma il perimetro dell'invaso principale veniva protetto da un muretto circolare a secco che contribuiva anche allo scorrimento delle acque meteoriche (Moritsch 1969, Pagnini 1972-73).

L'ISTRIA

Nel contesto dei diversi paesaggi rurali tradizionali che caratterizzano la penisola istriana, ritroviamo molte delle casistiche tipologiche precedentemente affrontate. Le attività agricole/pastorali ampiamente diffuse su un territorio pur non totalmente omogeneo dal punto di vista fisico e socio economico, hanno infatti generato un assetto paesaggistico/insediativo riconoscibile, analogamente al Carso, nelle caratteristiche del vasto raggruppamento tipologico definito *sud-europeo* o *mediterraneo* o *carsico mediterraneo*.

Pur senza addentrarsi nella complessa analisi dei caratteri identificativi degli edifici, dei manufatti tradizionali e delle radici culturali che ne hanno influenzato lo sviluppo, per i quali si rimanda alla specifica bibliografia in merito (Biasutti 1926, Nice 1940, Pagnini 1966, Starec 2012, Nicotra 2018), è necessario sottolineare la presenza di importanti analogie tipologiche sia tra la casa monocellulare e gli edifici abitativi più evoluti, sia tra questa ed i manufatti agricoli di semplice utilizzo, quali i ricoveri temporanei e gli annessi rustici delle abitazioni.

Questo organismo, che costituiva, in Istria come nel Carso, la forma più elementare dell'abitazione rurale, era formato da un unico vano ove trovavano posto la cucina, la camera e talvolta, gli alloggiamenti degli animali domestici; il tipo, ampiamente diffuso in Istria sino a gran parte dell'Ottocento, è lentamente scomparso o si è trasformato in deposito o stalla. Alla copertura, sovente costituita da fasci di paglia di segale o sorgo disposti in serie sovrapposte in modo da garantire l'impermeabilità, corrisponde-

va la struttura muraria, in pietra calcarea o arenaria a seconda dell'ubicazione sul territorio, posata a secco o con rudimentale uso di leganti. Alla fine degli anni Trenta del secolo scorso Bruno Nice ne individuò due esemplari ancora abitati, il primo nel villaggio istro-rumeno di Seiane ed il secondo a Villanova del Quietto, (Nice 1940, Starec 2012).

A questi edifici abitativi stabili fa riscontro, analogamente al Carso triestino e sloveno, la presenza di ricoveri temporanei, edifici monocellulari di norma non aggregati in insediamenti complessi, ma sparsi sul territorio agricolo o situati in corrispondenza dei pascolativi (nelle zone di Valle e di Dignano la scarsità di insediamenti minori o casolari ha portato ad una loro ampia diffusione nel territorio) e raramente utilizzati quale deposito o accessorio contiguo all'abitazione stabile. La struttura fisica di questi manufatti, sempre realizzata in pietra a secco, può differire a seconda delle varie zone d'impianto: nell'Istria centro-settentrionale troviamo la pianta rettangolare con tetto ad uno o due spioventi, mentre nell'Istria meridionale tra il Canale di Leme e il fiume Arsa è comune la pianta circolare con il tetto conico, a volte campaniforme, a falsa cupola; nello specifico quest'ultima tipologia viene propriamente definita *casita* (*caseta*, *kažun*, *koča*, *hiška*). Le *casite* trovano collocazione, analogamente a quanto avviene in Carso, in posizione isolata in mezzo ad un campo, accostate ad un muro di cinta, interne ad un muro di notevole spessore (*masiera*, *zid*), o inserite nell'angolo tra due muri. L'inserimento della *casita* nello spessore



Figura 7. Istria, Dignano (Vodnjan); esemplari di casite (*kažuni*) realizzati a scopo didattico. I manufatti, ricostruiti all'interno del parco tematico sito in prossimità del centro abitato, illustrano tipologia e modalità costruttive di modelli ampiamente diffusi nella cultura e nel paesaggio nordpolesano (foto Carlo Nicotra)

del recinto, sia esso in pietra calcarea o arenaria, risulta abbastanza diffuso dato l'elevato spessore medio dei muretti di delimitazione. Nell'Istria meridionale, le divisioni confinarie sono solitamente realizzate con pietrame minuto raccolto nei cumuli (*groumasi*), mentre l'utilizzo delle pezzature migliori e più regolari, derivate dal dissodamento, vengono riservate alla costruzione dei ricoveri. Questi, nei casi più strutturati, a pianta circolare, presentano pareti in pietra a secco accuratamente squadrata di spessore prossimo al metro, un diametro interno generalmente compreso tra il metro e mezzo e i due metri e mezzo, una copertura conica (*coverto*, *klobuk*) con un'apertura protetta dalla pioggia da una lastra in pietra (*capèl*, *korona*) posta sulla sommità, ed un elemento litico verticale quale chiave di volta (*pigna*, *pimpignòl*, *pinčuk*); le aperture sono limitate all'ingresso isorientato, basso e architravato al quale si aggiungono solitamente piccole finestrelle (*spie špije*). Tracce di questi edifici, che contavano più di 3000 esemplari solamente nell'Istria meridionale dignanese, si trovano nei contesti agricoli di Valle (*Bale*), Fasana (*Fazana*) Corridico (*Kringa*), Gallesano (*Galizana*) ecc. (Battaglia 1926, Nice 1940, Lago 1994, Starec 2012) (Fig. 7).

Analogamente a quanto avveniva sul Carso, anche in Istria vi era la necessità di attivare efficaci sistemi per la raccolta e conservazione dell'acqua, costituiti da una rete di cisterne collegate alle abitazioni, che però presentavano sovente una tipologia diversa da quelle carsiche (Starec 2012); gli stagni artificiali, realizzati analogamente ai modelli carsici con corona di protezione in muratura a secco, provvedevano all'approvvigionamento idrico degli animali ma non di rado, almeno sino alla metà dell'Ottocento, sopperivano anche ai bisogni della popolazione (ricordiamo due importanti esempi, strutturalmente evoluti rispetto alla media, ma ormai completamente scomparsi, a Katun e Rovinjsko Selo).

In merito ai terrazzamenti, nella generalità della penisola istriana, corrispondono per caratteristiche ed utilizzo alla tipica sistemazione mediterranea; rimane da rimarcare l'uso frequente, in alcuni contesti (valle del Quietto), di elementi lapidei di grandi dimensioni perfettamente squadrati (Starec 2012).

LA DALMAZIA

Tutti gli elementi considerati sino a questo punto, in merito all'utilizzo *paesistico* della pietra a secco, si ripropongono nelle aree costiere e nelle isole della Dal-



Figura 8. Dalmazia, isola di Pago; gli uliveti terrazzati presso il paese di Lun si sviluppano lungo il fianco del crinale, dalla sua sommità sino a raggiungere le scogliere della linea costiera (foto Carlo Nicotra)

mazia. In considerazione della vastità del territorio interessato e della complessità degli elementi naturali ed antropici presenti, vengono qui trattati soltanto alcuni esempi, particolarmente significativi dal punto di vista paesaggistico e storico.

L'ULIVETO TERRAZZATO DI LUN

All'estremità settentrionale dell'isola di Pago, in fronte ad Arbe (*Rab*), si trova il paese di Lun, immerso in un straordinario uliveto. Tra gli 80.000 alberi presenti nell'area troviamo, diffusi su una superficie di circa 24 ettari, circa 1500 esemplari selvatici (*Olea Oleaster*) che spesso presentano forme dimensioni ed età ragguardevoli. L'area, situata tra la sommità del colle e le scogliere prospicienti il mare, assume un particolare as-

setto paesaggistico nel quale la presenza della pietra bianca delle rive scoscese, delle pietraie, o dei manufatti, diviene esteticamente determinante. Il terreno, situato su declivio medio o accentuato, orientato verso il soleggiato versante ovest, si presenta a nuda pietraia oppure organizzato su terrazzamenti con muri di sostegno e contenimento (Fig. 8).

La suddivisione delle proprietà, marcata secondo uso corrente dal reticolo dei muretti, riguarda unicamente la definizione dei pascolativi, in quanto il possesso delle piante è regolato separatamente da quello del terreno. Tra i manufatti rimarchevoli, troviamo i ruderi di un edificio agricolo e la fonte, unico punto di approvvigionamento idrico, sistemata alla fine del XVII secolo su



Figura 9. Dalmazia isola di Pago; la fonte perenne situata all'interno dell'area terrazzata degli uliveti di Lun viene delimitata dal contesto circostante da tre muri concentrici realizzati in pietra a secco (foto Carlo Nicotra)



Figura 10. Dalmazia isola di Veglia; sentiero di collegamento protetto da muri situato tra il paese di Baska e le aree di pascolo dell'altipiano di Lubinin (foto Carlo Nicotra)

tre livelli di terrazzamento realizzati con muri concentrici (Fig. 9).

PAESAGGI E MANUFATTI

Le caratteristiche del paesaggio rurale insulare e costiero della Dalmazia radicato, per tradizione storica e per specifici fattori pedoclimatici, ad attività economiche selettive dal punto di vista colturale (vite e ulivo) e pastorali (ovini), sono legate ad un'organizzazione territoriale affine alla gran parte del contesto mediterraneo. Nello specifico, troviamo gran parte dei pendii interessati dalle attività agricole, tradizionalmente sistemate con terrazzamenti ed assetti proprietari marcati da muretti a secco.

La permanenza storica di questo sistema antropico viene documentata dall'ampia, anche se spesso degradata, presenza fisica dei manufatti sul territorio, oppure dalle testimonianze documentali. Vediamo ad esempio la descrizione del viaggio effettuato nel 1770 dell'abate padovano Alberto Fortis che, approdato a Cherso, cita "il bello spettacolo" delle viti e degli ulivi nonché l'operosità degli agricoltori che operavano sui terrazzamenti (Fortis 1771);

Altri esempi legati alla storicizzazione del paesaggio agricolo li possiamo trovare sull'isola di Lesina (*Hvar*). In località Dračevica, presso la cittadina di Cittavecchia (*Starigrad*), sono recentemente emerse tracce di una maglia di muretti a secco, risalenti all'epoca della colonizzazione greca (IV secolo a.C.) che marcano una suddivisione

proprietary geometrica, di 73 appezzamenti a maglia rettangolare, mentre sempre a Hvar, la diffusa sistemazione tradizionale del suolo con misurati terrazzamenti delimitati da muretti a secco segna, con vigoroso impatto coloristico, lo storico paesaggio mediterraneo della coltivazione delle piante di lavanda, destinate all'industria francese dei profumi.

In merito al collegamento tra assetto paesaggistico e pastorizia ovina, possiamo citare l'esempio, (che presenta ampi tratti in comune con altri contesti dalmati) dei pascoli comunitari dell'isola di Veglia (*Krk*). Le *komunade*, istituite nel periodo delle provincie illiriche e confermate nel 1813 dalle subentranti autorità austroungariche, prevedevano la distribuzione alle popolazioni locali dei terreni incolti appartenenti alla Chiesa e alle classi patrizie e la conseguente delimitazione di ampie porzioni del territorio con muri di una certa importanza (Fig. 10).

All'interno di queste suddivisioni si è gradualmente sviluppata, in funzione delle greggi che vi stazionavano, una complessa griglia di recinti particolari di dimensioni minori. La possibilità di usufruire dello stesso pascolo da parte di proprietari di greggi diverse, implicava la presenza di strutture atte allo smistamento ed identificazione degli animali, alla loro separazione ed all'esecuzione delle operazioni di mungitura, tosatura, ecc.. Si svilupparono così i *mrgari*, recinti pluricellulari composti da un recinto

trapezoidale centrale (*sala*), circondato da una corona di piccoli recinti di contenimento stretti e vicini (*mrgarići*), la cui forma d'insieme, planimetricamente complessa e di grande impatto paesaggistico, difficilmente può venir percepita a livello terra. Nella zona di Baska, presso Lubinin tra le grandi pietraie, della parte meridionale dell'isola, è situato il *mrgar* na Starošćini, che con i suoi 27 *mrgarići*, è uno fra i più significativi esempi dell'area dalmata, mentre una decina di altri esemplari, spesso in condizioni di degrado ed abbandono, si



Figura 11. Dalmazia isola di Veglia; uno dei *segnavia* in pietra che marcano il percorso di collegamento tra il paese di Baska, i pascoli di Lubinin e l'area sudorientale dell'isola (foto Carlo Nicotra)



Figura 12. Dalmazia isola di Murter; nei pressi del paese si protende nel golfo una penisola alta 67 m. sul livello del mare; lungo i suoi fianchi rocciosi sono ancora visibili i resti del vallo della gradina illirica i cui resti furono in gran parte riutilizzati per l'insediamento dell'attiguo castrum romano di Colentum (foto Carlo Nicotra)

trovano a Ljubimer, all'interno dei paescoli comunitari di Baška, Jurandvor e Batomalj e sulle isole di Prvić e Dolin presso Arbe (Gnesda 2018) (Fig. 11).

CONCLUSIONI

Malgrado la vastità e complessità del tema trattato ed i diversi, a volte eterogenei, contesti geografici potenzialmente coinvolti, si possono individuare alcuni elementi comuni che caratterizzano i manufatti realizzati con l'uso della pietra a secco, i quali hanno formato nel corso dei secoli quello che viene definito un "paesaggio rurale storico o tradizionale".

Nei territori del Carso, dell'Istria e di parte della Dalmazia, la presenza umana è da sempre caratterizzata dalla realizzazione di opere murarie che utilizzano il principale materiale a disposizione, la pietra, componente essenziale nella formazione di una realtà paesaggistica ricca di elementi identitari. In tale contesto si stabilizzano le forme dei muri, che sottolineano le diverse componenti territoriali, dei terrazzamenti, espressione della volontà di strappare alla terra il necessario sostentamento e degli edifici, dove la vita e le attività economiche possono procedere e svilupparsi.

Un ultimo cenno va riservato ai resti di quelle strutture che, sorte in periodo preistorico e protostorico ed entrate allo stato di rudere nell'attuale panorama culturale contribuirono, con le loro massicce muraglie di pietrame reperito in loco, a creare un fondamentale arche-

tipo tipologico: i castellieri del Carso e le gradine dell'area istro-dalmata, per le cui specificità storico archeologiche, si può fare riferimento all'ampia bibliografia in merito (Marchesetti 1903, Bandelli, Montanari Kokelj 2005) (Fig. 12).

BIBLIOGRAFIA

- BANDELLI G., MONTANARI KOKELJ E. (2005), *Carlo Marchesetti e i castellieri, 1903-2003*, Atti del Convegno internazionale di Studi, Editreg, Trieste.
- BATTAGLIA A. (1926), *Ricerche paleontologiche e folkloristiche sulla casa istriana primitiva*, in "Atti e Memorie della Società Istriana di Archeologia e Storia Patria", 38, 2. Parenzo.
- BELINGAR E., BRATINA P., ČOK B., JERŠEK M. (2013), *Manuale dell'edilizia carsica in pietra a secco*, Progetto Living Landscape, paesaggio vivo del Carso, cooperazione transfrontaliera Italia-Slovenia 2007-2013.
- BIASUTTI R. (1926), *Per lo studio dell'abitazione rurale in Italia*, in "Rivista Geografica italiana", 23.
- BRYAN P.W. (1933), *Man's adaptation of nature. Studies on cultural landscape*, University of London Press, London.
- COLOMBO F. (2017), *Storia della vite e del vino in provincia di Trieste*, in *Storia della vite e del vino in Friuli e a Trieste* a cura di Enos Costantini Forum Editrice, Udine.
- DURISSINI D. (2013), *Immigrazione ed economia a Trieste tra XIV e XV secolo*, in "Atti e Memorie della Società Istriana di Archeologia e Storia Patria" 113, Trieste.
- DURISSINI D., NICOTRA C. (1989), *Guida agli itinerari architettonico-ambientali del Carso triestino: arte, architettura, ambiente, storia*, Lint, Trieste.

- FORTIS A. (1771), *Saggio d'osservazioni sopra l'isola di Cherso-Osero*, Gaspare Storti, Venezia.
- GISOTTI G. (2003), *La cultura della pietra a secco*, in *Geologia dell'Ambiente* n. 4.
- GNESDA S. (2018), *I mrgàri: recinti pastorali pluricellulari in pietra a secco dell'isola di Krk* http://www.pierreseche.com/mrgar_italien.htm
- GROVE A.T., RACKHAM O. (2001), *The Nature of Mediterranean Europe. An Ecological History*. New Haven, London: Yale University Press, 2001.
- GUACCI A. (1982), *Le dimore temporanee del Carso triestino (Un esempio di architettura spontanea)*, Università degli Studi di Trieste, Facoltà di Magistero, III serie, n. 9.
- ILEŠIĆ S. (1950) *Sistemi poljske razdelitve na Slovenskem*. Ljubljana: SAZU, Inštitut za geografijo.
- LAGO L. (1980), *Alcune note per una storia del paesaggio rurale del territorio triestino*, in *Contributi per la storia del paesaggio rurale nel Friuli-Venezia Giulia*. Pordenone, Istituto di Geografia, Università di Udine.
- LAGO L. (1994), *La memoria culturale del territorio*, in *Le "casite". Pietre e paesaggi dell'Istria centro-meridionale. Un censimento per la memoria storica*, Trieste Rovigno.
- MARCHESETTI C. (1903), *I castellieri preistorici di Trieste e della regione Giulia*, Museo civico di Storia naturale, Trieste.
- MASIELLO D. (1992), *Cenni di storia sui boschi carsici*, In *L'imboschimento del Carso*, Regione Autonoma FVG – Direzione regionale delle Foreste e dei Parchi, Trieste.
- MORITSCH A. (1969), *Das nabe Triester Hinterland*. Wiener Archiv für Geschichte des Slawentums und Osteuropas. Hermann Böhlau Vienna.
- NICE B. (1940), *La casa rurale nella Venezia Giulia-Ricerche sulle dimore rurali in Italia*, 2, Zanichelli Editore, Bologna.
- NICOD J., (1992), *Muretti e terrazze di coltura nelle regioni carsiche mediterranee* in "Itinerari speleologici n°6, Bologna.
- NICOTRA C. (2018), *La pietra e il pane. Architetture per la produzione, conservazione e protezione dei beni alimentari a Trieste e in Istria*, in "Atti e Memorie della Società Istriana di Archeologia e Storia Patria" CXVIII (LXVI), Trieste.
- PAGNINI M.P. (1966), *La casa rurale nel Carso Triestino*, in "Atti del Museo Civico di storia naturale di Trieste", 25, Trieste.
- PAGNINI M.P. (1972-73), *Sistemi di raccolta d'acqua del Carso triestino*, in "Atti del Museo Civico di storia naturale di Trieste", 28, 1, Trieste.
- PANJEK A. (2015), *Paesaggio culturale ed ambiente del Carso*. Koper, Založba Univerze na Primorske.
- POLLI E., GASPARO D. (2009), *Le casite del Carso triestino*, Club Alpino Italiano, Trieste.
- SERENI E. (1961), *Storia del Paesaggio agrario italiano*, Laterza, Bari.
- STAREC R. (2012), *Pietra su pietra, L'architettura tradizionale in Istria*, Centro di Ricerche Storiche di Rovigno, 34.
- TOSCO C. (2017), *Il paesaggio come storia*, Il Mulino, Bologna.
- TURRI E. (2008), *Antropologia del paesaggio*, Marsilio, Venezia.
- VALVASOR J.W. (1689), *Die Ebre des Hertzogthums Krain*, Laibach-Nürnberg.

GIORNATE DI GEOLOGIA E STORIA

22 gennaio 2020

*Cavità sotterranee nascoste
o scomparse sotto il tessuto urbano*



*Giornate di Geologia e Storia
Società Geografica Italiana Onlus
Palazzetto Mattei in Villa Celimontana
Via della Navicella, 12 - 00184 Roma*

Il Consiglio Direttivo della Sigea augura un buon Natale e un sereno 2020 a tutti i soci e lettori di Geologia dell'Ambiente



La Sigea - Società Italiana di Geologia Ambientale, è un'associazione scientifica e culturale, senza fini di lucro, fondata nel maggio 1992 e riconosciuta dal Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare come "associazione di protezione ambientale a carattere nazionale" con decreto 24 maggio 2007 (G.U. n. 127 del 4/6/2007). Sono soci Sigea geologi, architetti, ingegneri, agronomi, forestali, archeologi, geografi e cultori della geologia ambientale.

La Sigea

- Stampa e invia ai soci la rivista Geologia dell'Ambiente
- Pubblica sul sito web gli atti dei convegni come supplementi digitali della rivista Geologia dell'Ambiente, liberamente scaricabili
- Favorisce il progresso, la valorizzazione e la diffusione dei temi di protezione ambientale
- Promuove il confronto interdisciplinare e plurisetoriale
- Opera sull'intero territorio nazionale
- Organizza attività didattiche, convegni, escursioni di studio e campagne di sensibilizzazione per la sostenibilità dello sviluppo

Scansiona il Qr code e scarica gratuitamente i supplementi digitali di Geologia dell'Ambiente. Segui le nostre attività dal sito web www.sigeaweb.it e dalla pagina di Facebook



A Natale regalati o regala l'iscrizione alla Sigea e contribuisci concretamente a proteggere la natura, il territorio, la ricerca e la cultura del nostro Paese. Per aderire alla Sigea è sufficiente compilare la scheda di iscrizione, scaricabile dal sito web www.sigeaweb.it e versare la quota associativa, pari ad un importo di euro 30,00, a mezzo bonifico bancario **Banco Posta**, codice IBAN: **IT 87 N 07601 03200000086235009**, intestato a Società Italiana di Geologia Ambientale, Roma.