

I CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI

Evento organizzato con:

FONDAZIONE
POLITECNICA DI TORINO

ROMA, 12 MAGGIO 2026
ACQUARIO ROMANO
Piazza Manfredo Fanti, 47

**3ª GIORNATA
NAZIONALE
DELLA PREVENZIONE
E MITIGAZIONE DEL
RISCHIO
IDROGEOLOGICO**

Previsione ed esperienze
per una governance
efficace delle politiche
di prevenzione e
mitigazione del rischio



Esperienze a confronto

Caso studio: La Rupe del Santuario della Verna e la frazione de La Beccia (AR)

Eros Aiello

Consiglio Nazionale dei Geologi

La Verna è un luogo unico, dove geologia, storia e comunità si intrecciano.



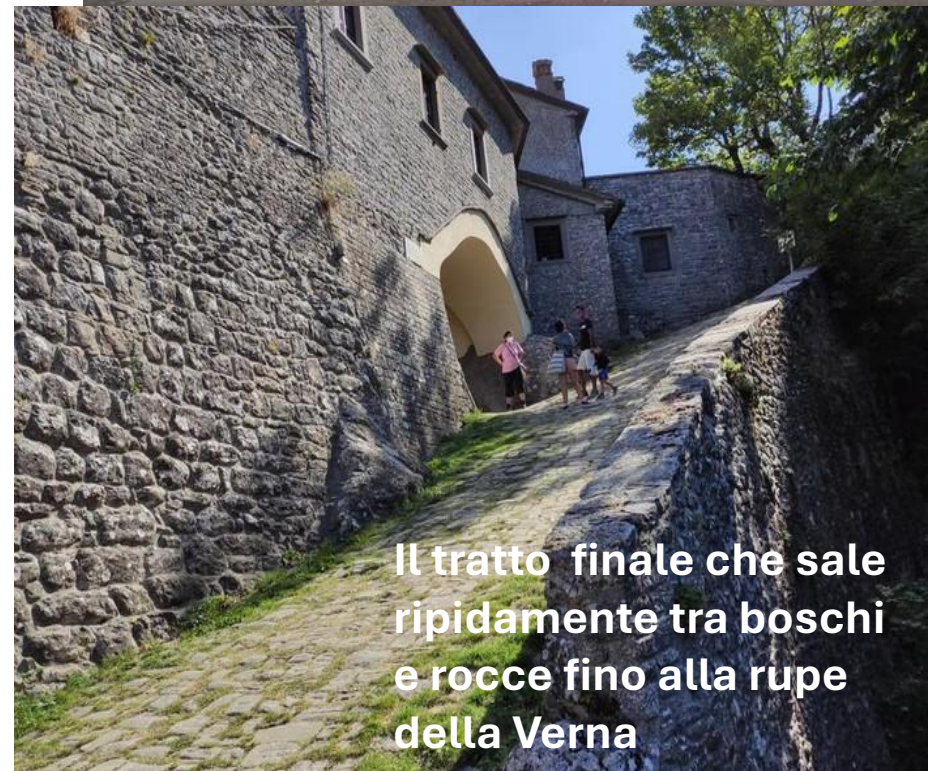
Le immagini mostrano la relazione tra i due poli della montagna: in alto il complesso monastico della Verna, incastonato nel Parco delle Foreste Casentinesi, in basso il borgo della Beccia, punto di accesso storico lungo la Via dell'Ansilice, la strada sacra che sale alla Verna.



**Il tratto iniziale della via dell'Ansilice
alla Beccia**

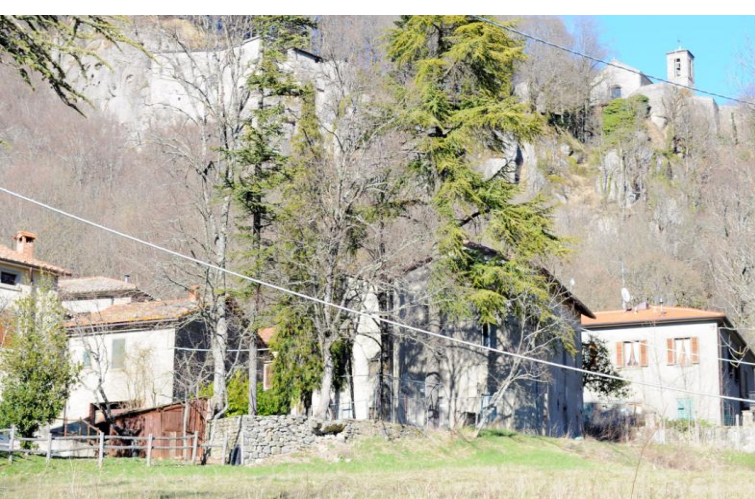
La Beccia

**E' un piccolo nucleo
costituito da un antico
complesso monastico,
gli edifici del borgo, da
alcuni alberghi e
ristoranti; punto di
passaggio obbligato per
chi sale verso il
Santuario lungo la via
dell'Ansilice.**



**Il tratto finale che sale
ripidamente tra boschi
e rocce fino alla rupe
della Verna**

La via sacra dell'Ansilice



NOTAZIONI GEOLITOLOGICHE



Detrito di falda, coltre alteritica e detrito di frana o paleofrana

UNITA' LIGURI

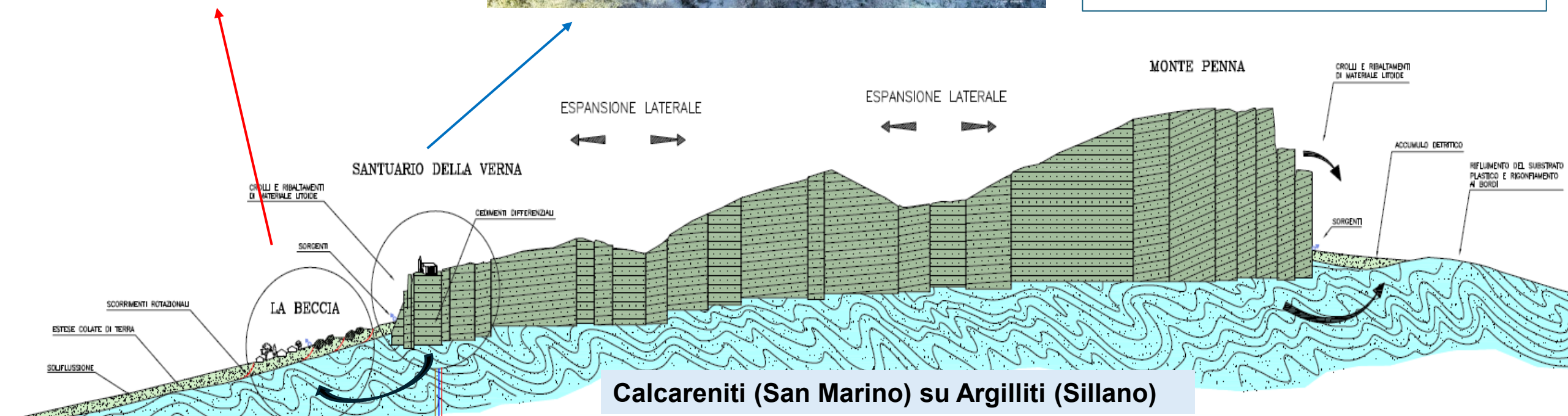


Formazione di Sillano (Cretaceo sup. - Eocene inf.)
Argilliti e marne argillose fissili di colore grigio e bruno frequentemente ad assetto caotico

SUCCESSIONI EPIIGURI



Formazione di S. Marino - La Verna (Langhiano - Serravalliano inf.)
Conglomerati poligenici, calcareniti bioclastiche massive o con stratificazione decimetrica

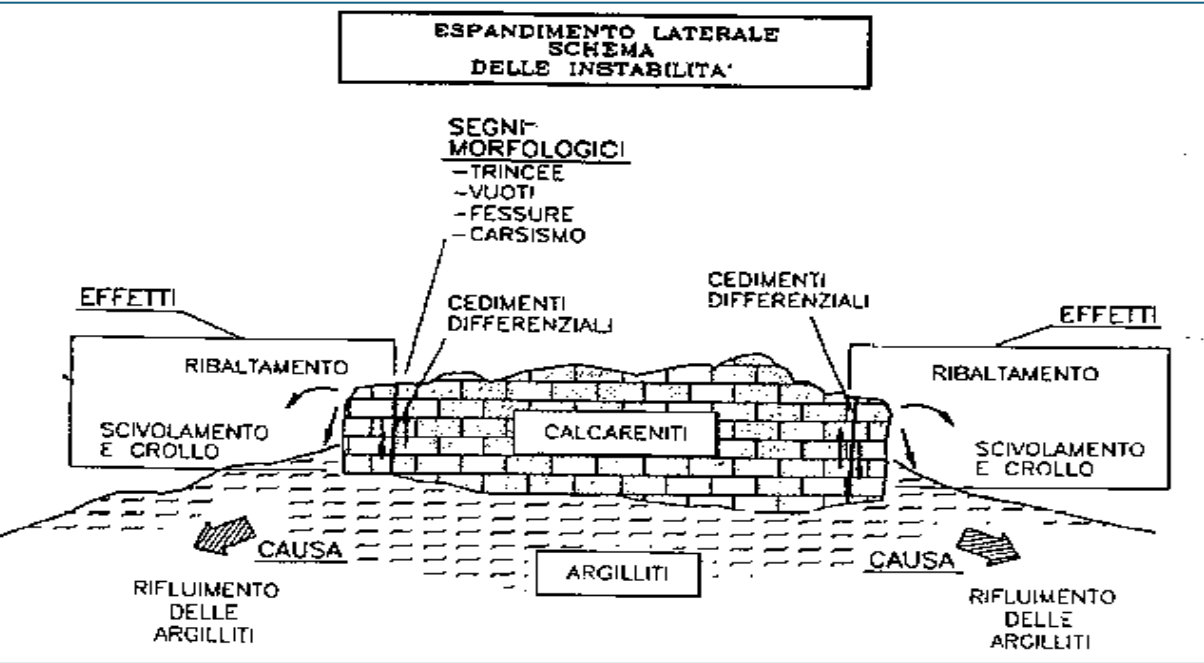


**Una placca rigida e fragile che scivola su un basamento plastico, duttile e deformabile:
la condizione perfetta per l'espansione laterale.**

Fenomeni gravitativi profondi e assetto dell'area

L'area è interessata da un DGPV che coinvolge l'intera dorsale della Verna.

L'espansione laterale è il meccanismo chiave.



Il rifluimento delle argille genera trazione ai bordi della placca che si aprono: i blocchi si separano e si muovono espandendosi lateralmente. Il piede si rigonfia.

E' il classico comportamento previsto dal modello andersoniano per una lastra rigida che si muove su un basamento duttile.

TIPOLOGIE DI DISSESTO INTERESSANTI LA PLACCA CALCARENITICA



CROLLI
Crolli di blocchi aggettanti individuati da superfici di giunto preesistenti, ad opera della degradazione meteorica della parete (crollo primario) o per scalzamento alla base dall'erosione o da frane nelle argilliti (crollo secondario).



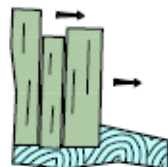
SCORRIMENTI
Scorrimenti lungo superfici di giunto inclinate ad alto angolo indotte dal basculamento dei blocchi (scorrimento secondario) o lungo superfici di taglio di neoformazione indotte dal contrasto di competenza (scorrimento primario).



RIBALTAMENTI
Ribaltamento diretto di blocchi circa equidimensionali delimitati da fratture immergenti a reggipoggio con elevato angolo e definite alla base da evidenti piani di stratificazione disposti a franapoggio a basso angolo in modo da prevenire lo scivolamento. Fenomeni di ribaltamento secondario possono invece essere indotti da scalzamento alla base dei blocchi colonnari a causa di movimenti franosi ed erosione nelle argilliti ai margini della placca.



RIBALTAMENTI
Ribaltamento di flessura di blocchi colonnari e lastriformi con alto rapporto fra altezza e ampiezza della base in seguito a rotture di trazione e a scorrimento lungo superfici subverticali che individuano i blocchi. Avviene preferenzialmente quando i giunti immergono a reggipoggio e nei casi in cui la stratificazione non è ben individuata.



ESPANSIONE LATERALE
Movimenti orizzontali differenziali di blocchi rocciosi. Tale tipologia di dissesto è evidenziata dalla presenza di numerosi indicatori geomorfologici come la presenza di ampie fessure o vere e proprie trincee. Nelle porzioni perimetrali della placca i giunti presentano aperture dell'ordine di metri e in alcuni casi producono un'intensa frammentazione dell'ammasso formando "labirinti" di trincee come quello presente nell'area del Santuario.

Sondaggi geognostici a carotaggio continuo, Sondaggi con telecamera endoscopica, Inclinatori profondi, Piezometri (tubo aperto + Casagrande) Estensimetri (a filo, ad asta, estenso-inclinometri), Georadar (GPR), Carotaggi sonici, Indagini sismiche (Down-Hole, MASW, HVSR), Rilievi geostrutturali e topografici, Rete di controllo sulla rupe e al piede e Protocolli di somma urgenza.



Senza questo sistema, non sarebbe stato possibile mantenere in sicurezza un luogo che accoglie quasi due milioni di visitatori all'anno.

Quadro geostrutturale dell'ammasso roccioso

L'ammasso calcarenitico è caratterizzato da un **reticolo di fratture molto persistenti e aperte**, che suddividono la rupe in **blocchi di grandi dimensioni**. Le discontinuità appartengono sia a sistemi **tettonici appenninici e antiappenninici**, sia a fratture **estensivo-gravitativo** generate dai movimenti alla base della rupe.



Una placca calcarenitica sospesa sul margine appenninico

CARTA GEOSTRUTTURALE

Scala 1:1000

LEGENDA

- Orto delle principali linee che interessano l'ammasso roccioso
- Sezioni di rilievo geostutturale
- Innenso ore ad inclinazione di stato
- Principali seta strutturali
- Limite di zone omogenee geostutturale
- Formazione di San Marino - La Verna (Lunghezza - Serravalle) (v)
- Costituisce l'ammasso roccioso del M. Perna sul quale è posto il Santuario di la Verna
- Riempimento identico delle principali linee che interessano l'ammasso roccioso della Verna
- Principali corpi rocciosi presenti all'interno della colta detritica
- Detriti di versante al piede del rilievo della Verna



UBICAZIONE AREA DI INTERVENTO: SETTORE "A" - CONTROLLO E MANUTENZIONE SISTEMI DRENANTI



UBICAZIONE AREA DI INTERVENTO: SETTORI "B" E "C" - RIFACIMENTO OPERE FOGNARIE, REGIMAZIONE IDRICA, ISPEZIONE E MANUTENZIONE DI CISTERNA



UBICAZIONE AREA DI INTERVENTO: SETTORE "C" - OPERE DI CONSOLIDAMENTO



SETTORE "C"

SETTORE "B"

SETTORE "A"

ZONE DI OMOGENEITA' GEOSTRUTTURALE

Z.O.S. n. 1
100/20
100/20
100/20
100/20
100/20

Z.O.S. n. 1A
100/20
100/20
100/20
100/20
100/20

Z.O.S. n. 2
100/20
100/20
100/20
100/20
100/20

Z.O.S. n. 3
100/20
100/20
100/20
100/20
100/20

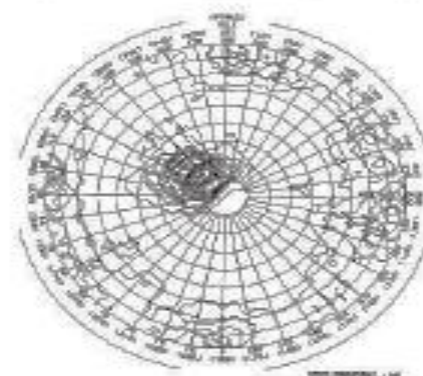
Z.O.S. n. 4
100/20
100/20
100/20
100/20
100/20

Z.O.S. n. 4A
100/20
100/20
100/20
100/20
100/20



SETS GEOSTRUTTURALI

Simbolo	Ident.	d/dd
	Set K1	85°/275°
	Set K2	85°/185°
	Set K3	85°/240°
	Set K4	75°/320°
	Set K5	65°/ 40°



Quadro geostutturale dell'ammasso roccioso

- Placca calcarenitica rigida, fratturata in grandi blocchi
- Fratture subverticali molto persistenti (NW-SE, ENE-WSW, N-S)
- Stratificazione suborizzontale
- Discontinuità tettoniche + fratture estensive da movimenti profondi
- Quattro zone di omogeneità strutturale con comportamento geomeccanico distinto, con differenze nella densità, apertura e continuità delle discontinuità, che condizionano il comportamento geomeccanico locale e la risposta dell'ammasso agli interventi.

Dissesti emblematici sulla rupe



Parete rocciosa sotto la **Cappella delle Stimmate** con particolare del blocco in aggetto. A destra il **Precipizio**.



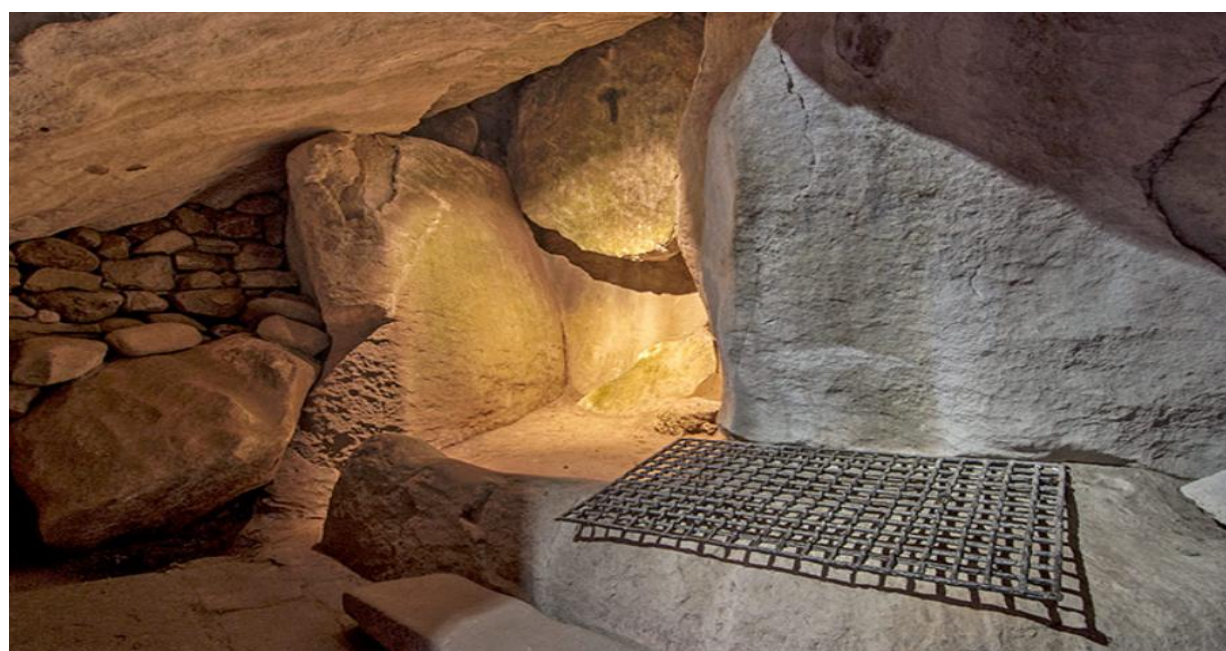
Corridoio delle Stimmate



La grande frattura sotto il Corridoio delle Stimmate

- Trincea naturale profonda e attiva
- Apertura progressiva per espansione laterale





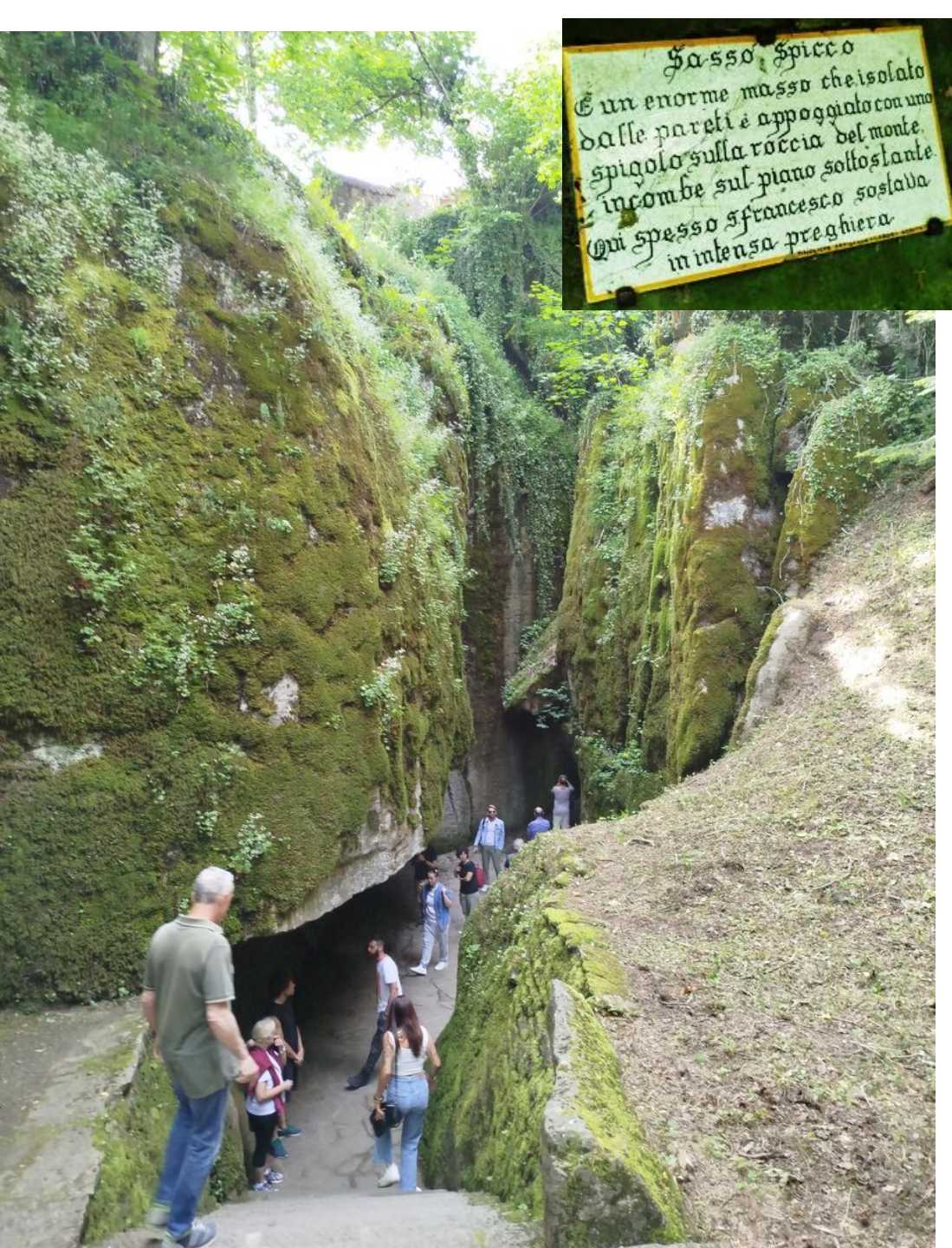
Un'unica grande frattura genera due ambienti iconici: Letto di San Francesco e Sasso Spicco.

La grotta del “Letto di San Francesco”

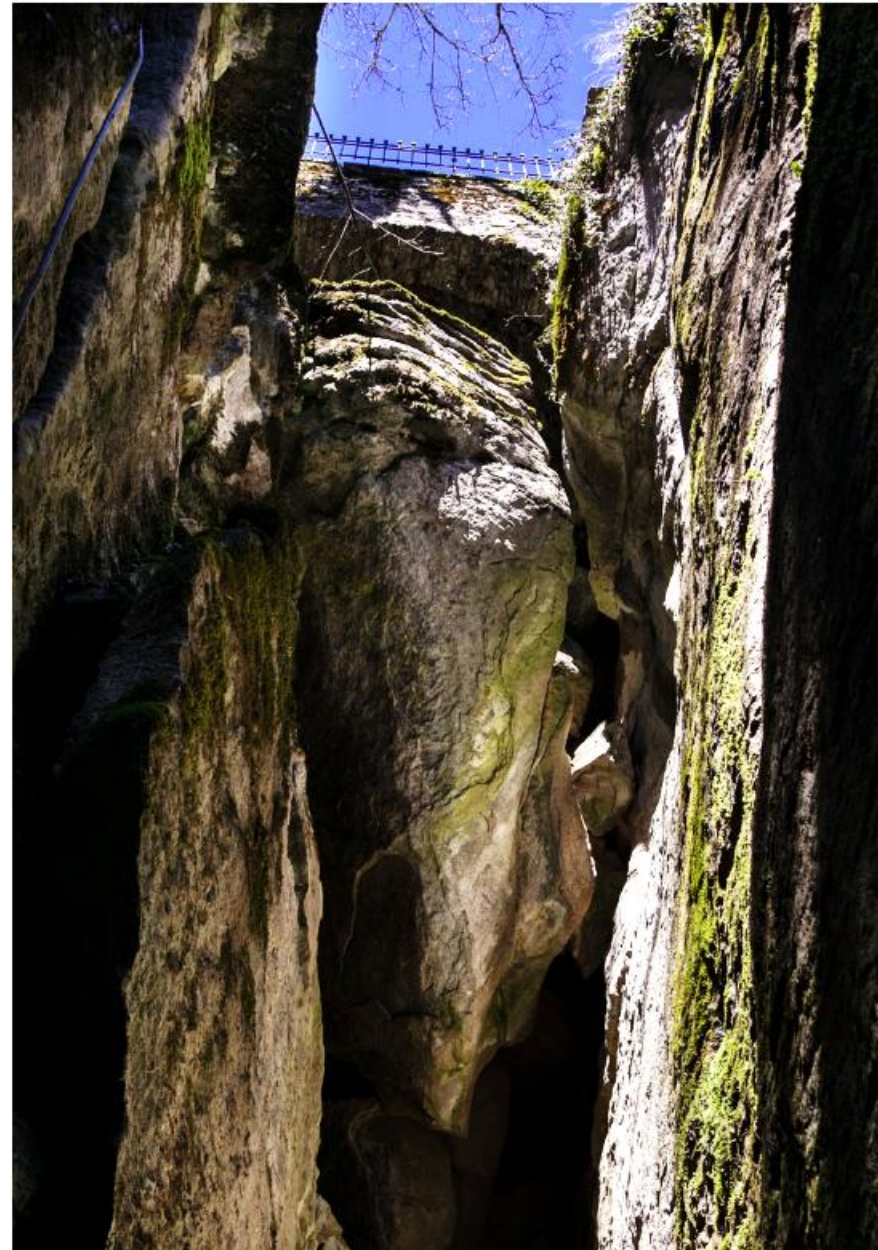
Un luogo mistico nato dalla disarticolazione profonda della rupe.

- Cavità formata da crolli e grandi discontinuità
- Blocchi disarticolati su più livelli
- Collegamento strutturale con il Sasso Spicco
- Manifestazione diretta dell'espansione laterale della placca
- Ambiente geomeccanicamente complesso e attivo





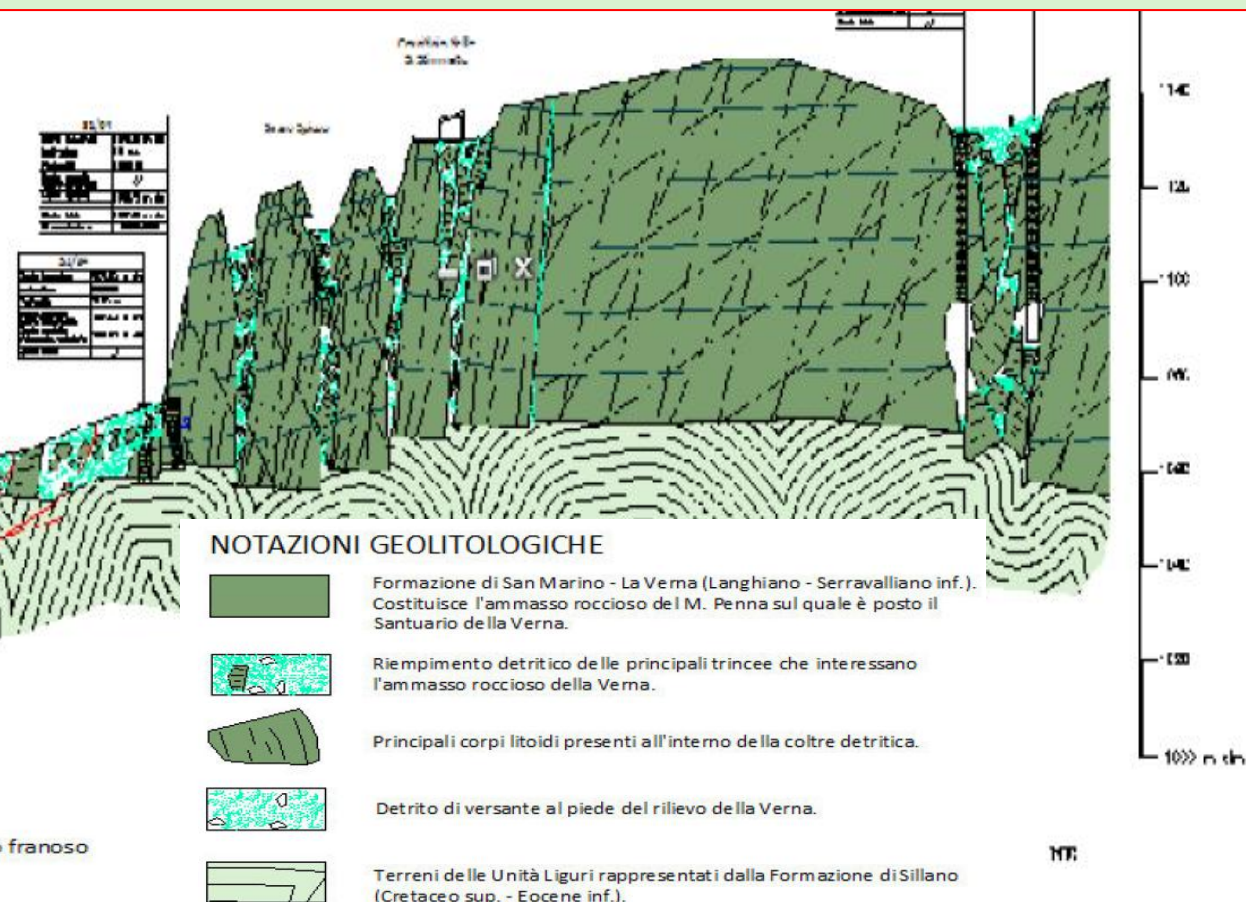
Il sistema Sasso Spicco – Letto di San Francesco



- Grande trincea estensiva aperta dall'espansione laterale
- Blocco principale in aggetto isolato da fratture profonde
- Prosecuzione della stessa discontinuità verso il Letto di San Francesco
- Ambiente interno formato da crolli e volumi disarticolati
- Una delle zone geomeccanicamente più critiche della rupe

La rupe è il cuore fragile del sistema: blocchi imponenti, fratture profonde, cinematismi che possono evolvere rapidamente. Ma qui non c'è solo geologia: c'è la vita quotidiana dei **frati, degli operatori, dei visitatori e degli ospiti della foresteria**. Per questo la rupe non rappresentava solo una criticità tecnica, ma una responsabilità diretta verso le persone che la vivono ogni giorno

La Beccia è la zona in cui il movimento profondo si manifesta in superficie con deformazioni lente: rigonfiamento delle argille, creep, colamenti. Qui il rischio ha riguardato soprattutto le **abitazioni, le infrastrutture strategiche** — metanodotto, acquedotto, SP 208, linea elettrica, fognature — e **la vita quotidiana dei residenti e degli operatori**.



Dissesti alla Beccia



GLI INTERVENTI

INTERVENTI SULL'AMMASSO ROCCIOSO

Interventi di livello e smantellamento di punti rocciosi interessati da frane di dissesto per crisi, sottostante e rinfacciamento di massa. Si prevede la pulizia ed il dragaggio della parte, la realizzazione di strutture superficiali, la formazione di successi protetti, la realizzazione di drenaggi sub-superficiali.

Tipologie interventi:

Smantellamento - Perce di massa FV102 ed intervento di smantellamento, 400 m in periferia 400 m in L = 4.00 - 8.00 m, intervento di smantellamento 1/5.00 m.

Ammassamento punti - Perce di massa tipo FV102 con doppia protezione contro la corrosione in periferia 110-120 m in L = 8.00 - 10.00 m, intervento di smantellamento 1/5.00 m.

Smantellamento - Come smantellamento in periferia con protezione, 10 m in periferia 400 m in L = 4.00 m, intervento di smantellamento 1/5.00 m.

E' previsto l'impiego di macchinari idraulici per il rimpiombamento di massa e corredi che assicurano l'assistenza tecnica.

SEZIONE A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z

Interventi di livello e smantellamento di massi rocciosi interessati da frane di dissesto per crisi di massa, sottostante e rinfacciamento di massa. Si prevede la pulizia ed il dragaggio della parte, la realizzazione di strutture superficiali, la formazione di successi protetti, la realizzazione di drenaggi sub-superficiali.

Tipologie interventi:

Smantellamento - Perce di massa tipo FV102 con doppia protezione contro la corrosione in periferia 110-120 m in L = 8.00 m.

Ammassamento punti - Perce di massa tipo FV102 con doppia protezione contro la corrosione in periferia 110-120 m in L = 8.00 m, intervento di smantellamento 1/5.00 m.

SEZIONE C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z

Interventi di smantellamento e smantellamento di opere interessate da frane di dissesto, a quote fissate. Si prevede la pulizia ed il dragaggio della parte, la realizzazione di strutture superficiali, la formazione di successi protetti, la realizzazione di drenaggi sub-superficiali.

Tipologie interventi:

Smantellamento - Perce di massa tipo FV102 con doppia protezione contro la corrosione in periferia 110-120 m in L = 8.00 m.

Ammassamento punti - Perce di massa tipo FV102 con doppia protezione contro la corrosione in periferia 110-120 m in L = 8.00 m, intervento di smantellamento 1/5.00 m.

SEZIONE A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z

INTERVENTI AL

Punti di smantellamento con recupero di strutture protettive vecchie da 10.00 a 20.00 m di recupero di strutture di protezione vecchie con recupero di massa.

SEZIONE G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z

Punti di smantellamento con recupero di strutture protettive vecchie da 10.00 a 20.00 m di recupero di strutture di protezione vecchie con recupero di massa.

SEZIONE G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z

Punti di smantellamento con recupero di strutture protettive vecchie da 10.00 a 20.00 m di recupero di strutture di protezione vecchie con recupero di massa.

SEZIONE G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z

Smantellamento di massa - Per il recupero di massa.

SEZIONE G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z

Smantellamento di massa - Per il recupero di massa.

SEZIONE G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z

INTERVENTI SULL'AMMASSO ROCCIOSO



Interventi di bonifica e consolidamento di pareti rocciose interessate da fenomeni di dissesto per crollo, scivolamento e ribaltamento di blocchi.
Si prevede la pulizia ed il disgiaggio della parete, la realizzazione di chiodature superficiali, la formazione di ancoraggi profondi, la realizzazione di drenaggi sub-orizzontali.

Tipologia interventi:

Chiodature - Barre di acciaio FeB44k ad aderenza migliorata, $\varnothing 24$ mm in perfori $\varnothing 50$ mm L = 4.00 - 6.00 m. Intensità intervento 1/4.00 mq

Ancoraggi passivi - Barre acciaio tipo Dywidag $\varnothing 36.5$ mm con doppia protezione contro la corrosione in perfori $\varnothing 110-160$ mm L = 25.00 - 30.00 m. Intensità intervento 1/9.00 mq.

Drenaggi - Canne drenanti in PVC rivestito con geotessuto, $\varnothing 50$ mm in perfori $\varnothing 90$ mm ad andamento sub-orizzontale, L = 30.00 m. Intensità intervento 1/30.00 mq.

E' previsto l'impiego di calcestruzzo alleggerito per il riempimento di fessure e cavità che disarticolano l'ammasso roccioso.

SETTORI A, D, E, E2, F, II, IIIa, IIb, IVa, IVc e V



Interventi di bonifica e consolidamento di ammassi rocciosi interessati da fenomeni di dissesto per crollo di blocchi instabili sia in parete, che all'interno dei potenti accumuli detritici presenti entro le principali trincee.
Opere di consolidamento strutturale dei manufatti presenti coinvolti nei dissesti.
Si prevede la messa in sicurezza delle porzioni instabili mediante bullonatura, realizzazione di reticoli spaziali di barre di acciaio, intasamenti delle cavità con calcestruzzo alleggerito, rabboccatura di murature e loro consolidamento mediante tecnica del cuci-scuci o reticoli tridimensionali di barre di acciaio.

Tipologia interventi:

Bullonature - Bulloni tipo Ankral per interventi puntuali.

Cuciture - Reticoli tridimensionali di barre di acciaio FeB44K $\varnothing 24$ mm, L = 6.00 m.

Ancoraggi passivi - Raggiere di barre acciaio tipo Dywidag $\varnothing 36.5$ mm con doppia protezione contro la corrosione in perfori $\varnothing 110-160$ mm variamente orientate, L = 25.00 - 30.00 m.

SETTORI C, F, Ia, IVb e IVd



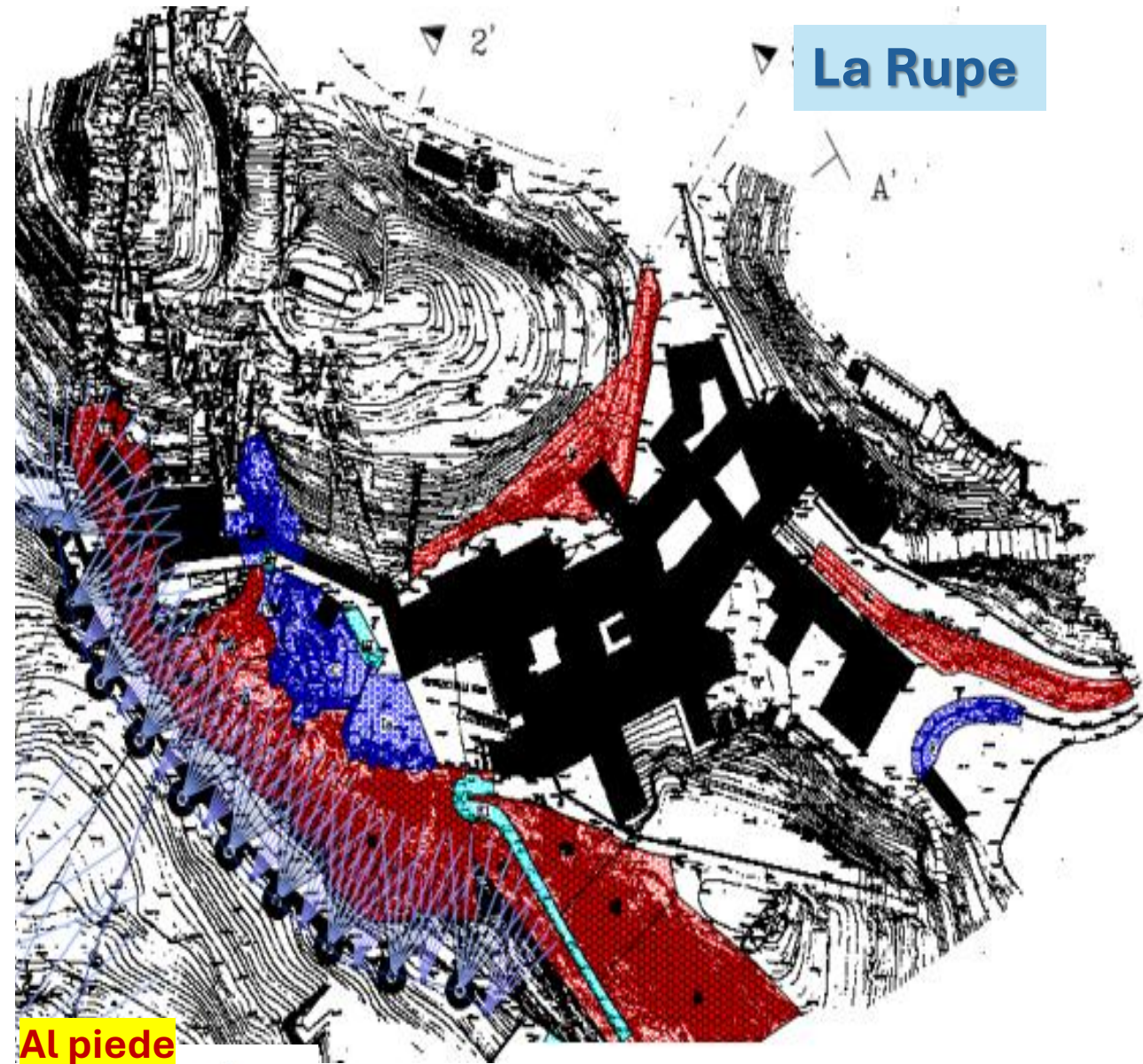
Interventi di sostegno e sottofondazione di opere interessate da cedimenti e spinte tergali.
Si prevede la messa in opera di sistemi di micropali e cuciture con barre di acciaio al fine di ripristinare le funzioni statiche di numerosi muri, archi e volte di sostegno ormai danneggiati dai movimenti del terreno.

Tipologia interventi:

Cuciture - Reticoli spaziali di barre di acciaio FeB44K $\varnothing 24$ mm L = 6.00 m.

Micropali - Costituiti da perfori $\varnothing 140 - 200$ m armati con tubolari in acciaio Fe510 $\varnothing 114$ mm, sp. 20 mm, o putrelle HEB.

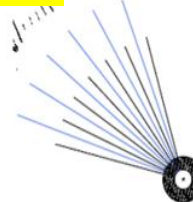
SETTORI E1, E2, Ib, VI



La Rupe

Al piede

Pozzi strutturali diam. 8 m, di profondità 15 - 22.5 m con raggiere di microdreni lunghi da 30 a 100 m collegati mediante scarico di fondo



INTERVENTI AL PIEDE DELLA RUPE

La Beccia

Pozzi strutturali con raggiera di microdreni. - Sono previste tre cinture di pozzi strutturali di profondità variabile da 18.35 a 22.60 m dal p.c. e diametro $\varnothing 8.00$ m. I pozzi sono provvisti di raggiera di microdreni di lunghezza variabile da 30.00 a 100.00 m e sono fra loro collegati mediante scarico di fondo.

SETTORI G e IVe

Pozzi drenanti $\varnothing 1500$ mm. - Sono pozzi drenanti intervallati a pozzi ispezionabili muniti di raggiera di microdreni e sono a loro collegati mediante scarico di fondo. (Intervento di drenaggio di prima fase).

SETTORE IVe

Pozzi drenanti ispezionabili $\varnothing 1500$ mm. - Sono pozzi drenanti ispezionabili e dotati di raggiera di microdreni di lunghezza pari a 30.00 m. Sono collegati mediante scarico di fondo. (Intervento di drenaggio di prima e seconda fase).

SETTORE IVe

Condotta di fondo. - Per il collegamento dei vari sistemi di pozzi e per lo scarico delle acque emunte.

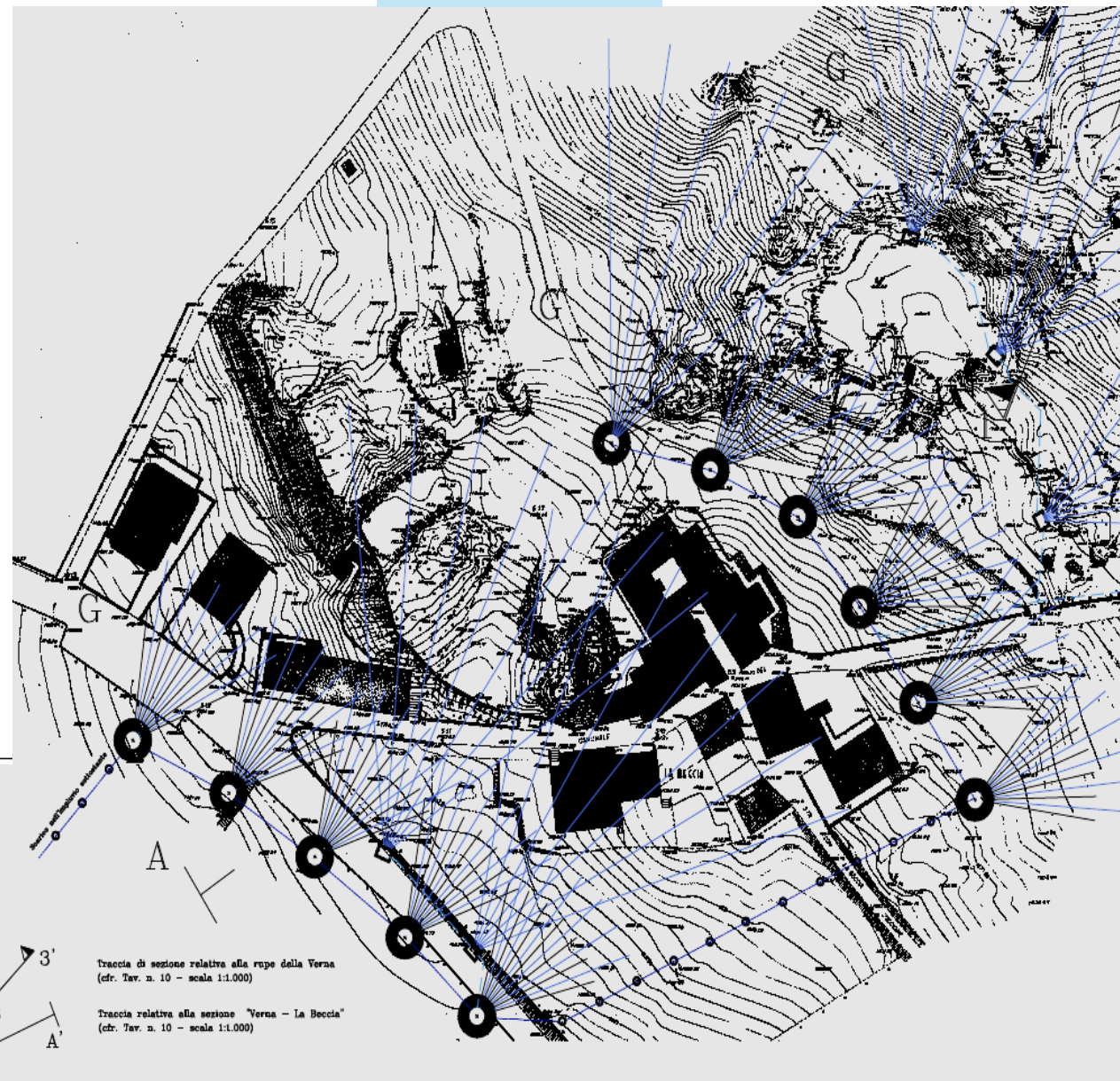
SETTORI G e IVe

Avampozzi in c.a. - Sono manufatti in c.a. opportunamente mascherati dai quali partono lunghe raggiera di microdreni ($L = 80.00 - 100.00$ m).

SETTORI G e B

Canalette in legname. - Sono manufatti realizzati con tecniche della ingegneria naturalistica e destinate al controllo ed allo smaltimento delle acque superficiali.

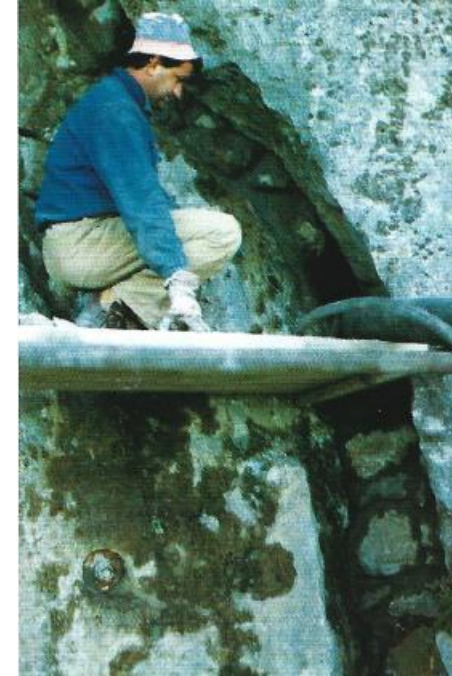
SETTORE G





Pozzi drenanti e pozzi ispezionabili

Mettere in sicurezza il Sasso Spicco mantenendone l'identità e la fruibilità.

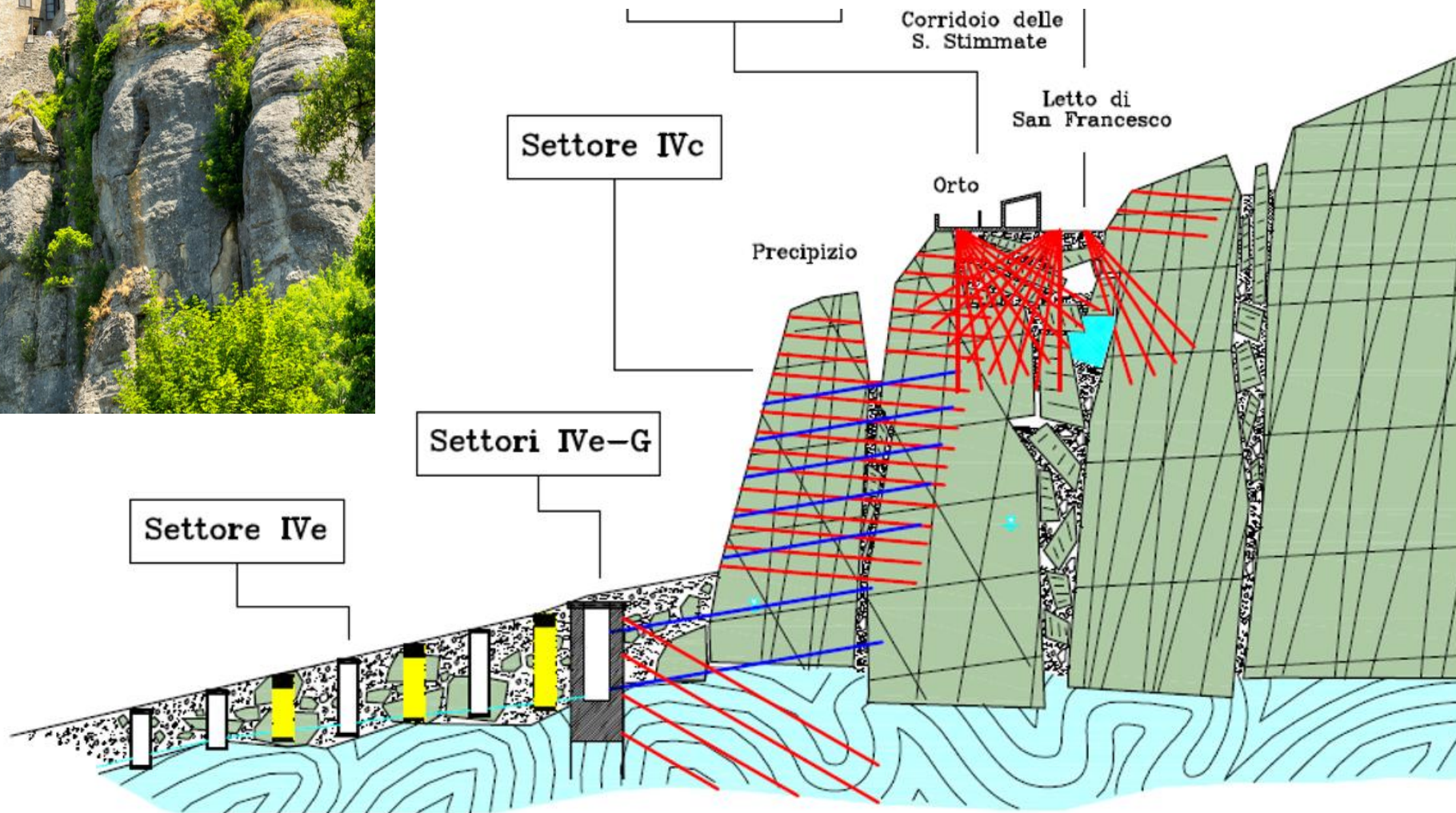


Siamo al Sasso Spicco, il grande prisma roccioso in aggetto che rappresenta uno dei punti più delicati dell'intera rupe. L'obiettivo dell'intervento era duplice: **mettere in sicurezza il blocco** e **mantenere intatta l'identità del luogo**, che è uno dei simboli della Verna.

Abbiamo lavorato con un approccio selettivo:

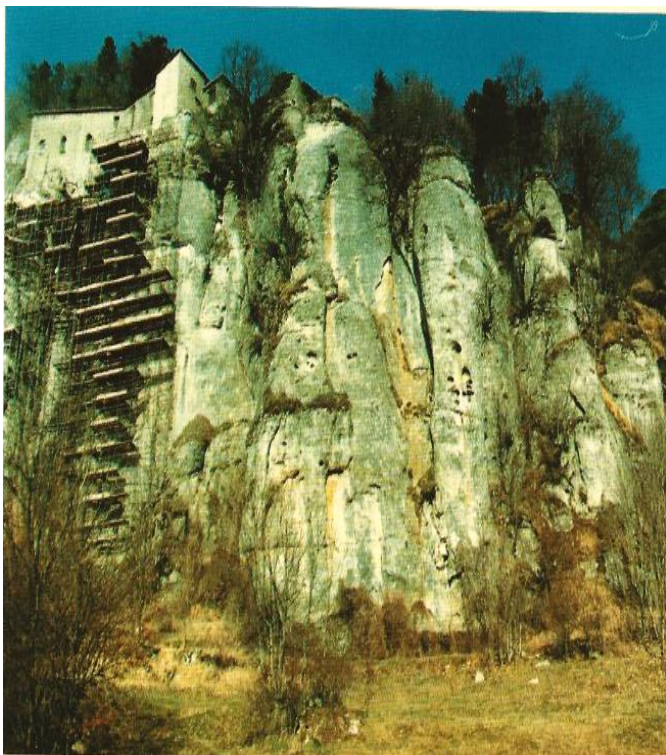
- **perforazioni profonde** per raggiungere e superare le superfici di frattura più persistenti
- **ancoraggi e cuciture localizzate** per stabilizzare i volumi in equilibrio
- **iniezioni mirate** per migliorare la continuità dei contatti senza irrigidire la dinamica della rupe.

Tutto è stato fatto in aderenza alla roccia, con strutture leggere e reversibili, per garantire la sicurezza senza alterare l'aspetto del Sasso Spicco né la sua fruibilità.

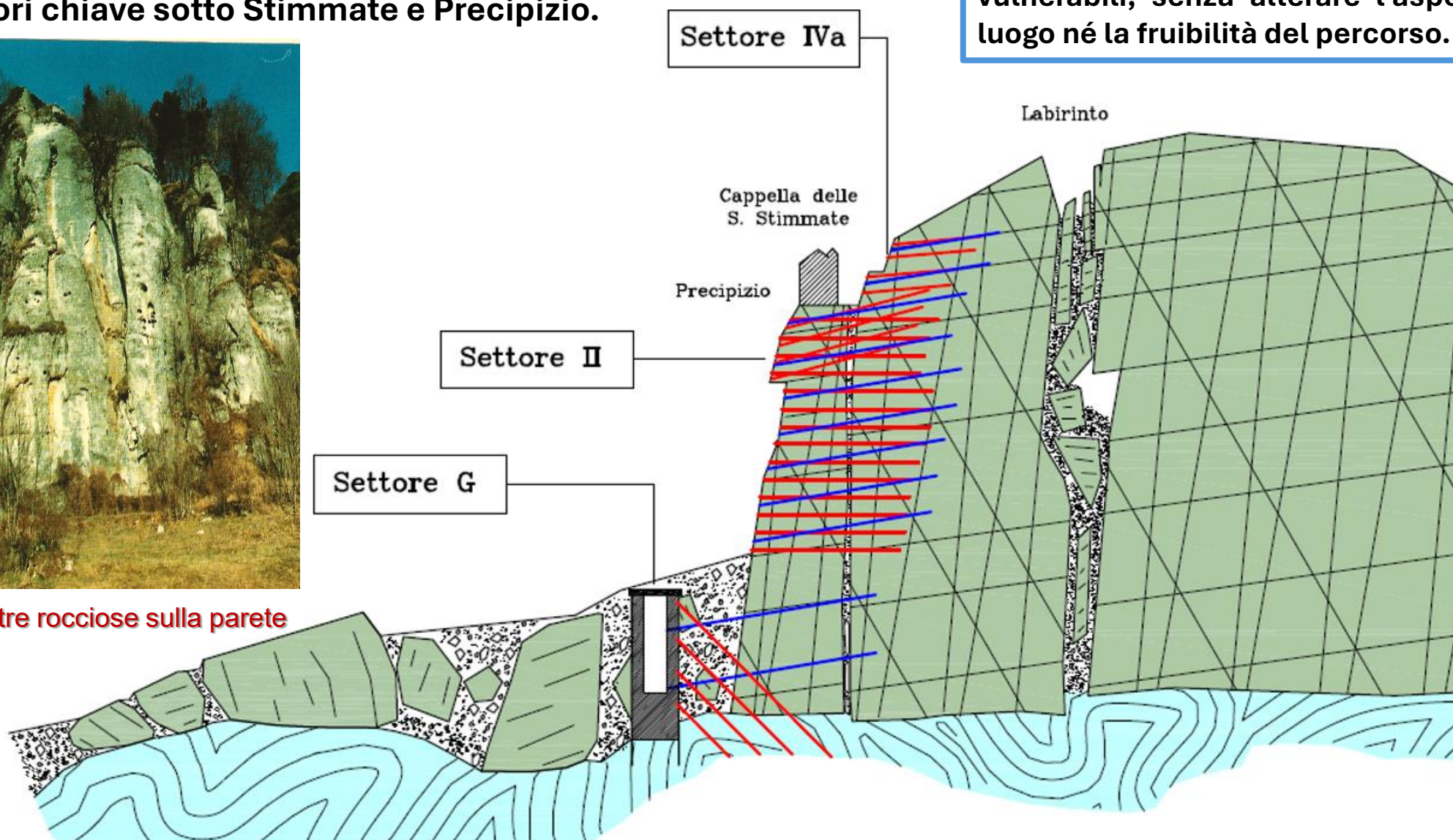


Qui Letto di San Francesco, Stimate e Precipizio poggiano sui settori più fratturati della rupe: è il punto più fragile dell'intero sistema.

Qui si leggono i volumi che governano la rupe: questi sono i settori chiave sotto Stimmate e Precipizio.



Pilastrì e lastre rocciose sulla parete

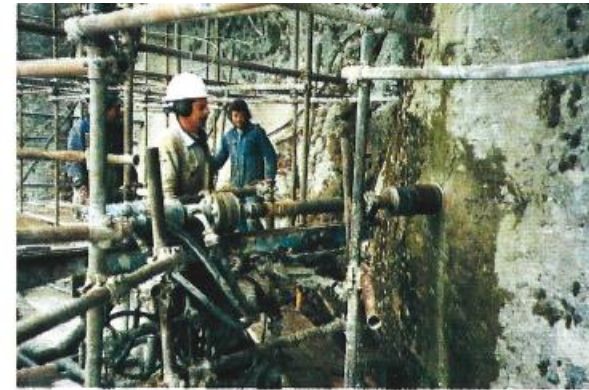
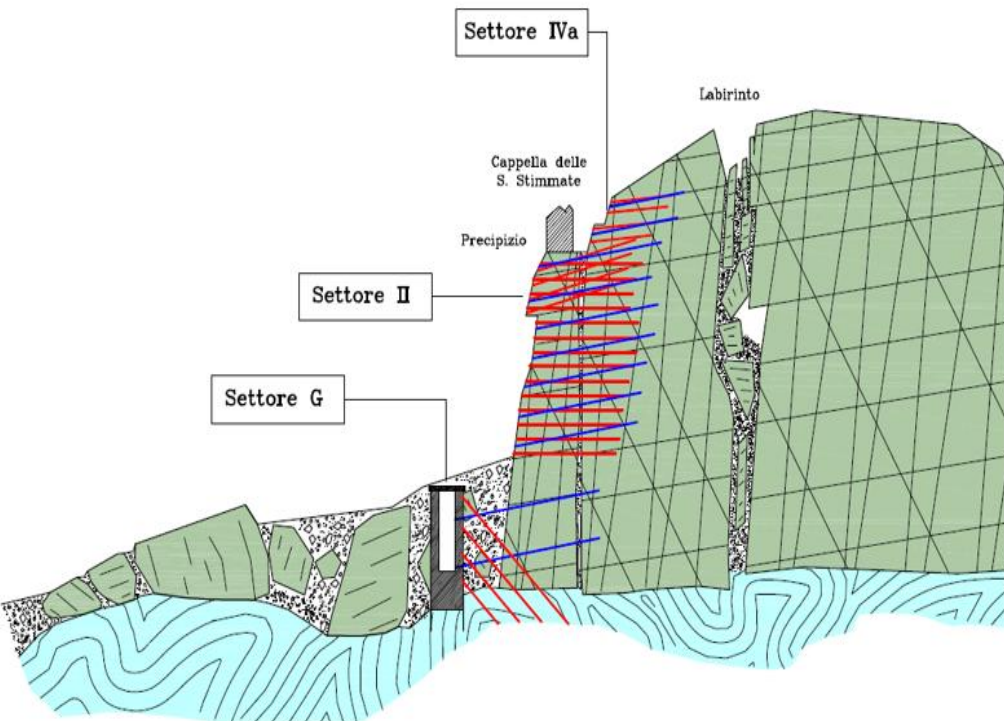


L'obiettivo dell'intervento era mettere in sicurezza i volumi rocciosi più vulnerabili, senza alterare l'aspetto del luogo né la fruibilità del percorso.

La parete del **Precipizio** è uno dei fronti più esposti e più sensibili. Qui la roccia è incisa da fratture molto persistenti, che isolano volumi in distacco e generano cinematismi rapidi, soprattutto in condizioni di gelo-disgelo o di forte imbibizione.

L'intervento è stato **progettato con un approccio selettivo**: non un consolidamento massivo, ma **un insieme di azioni mirate** sui blocchi più vulnerabili. Le perforazioni e le iniezioni che vediamo in queste immagini sono servite a:

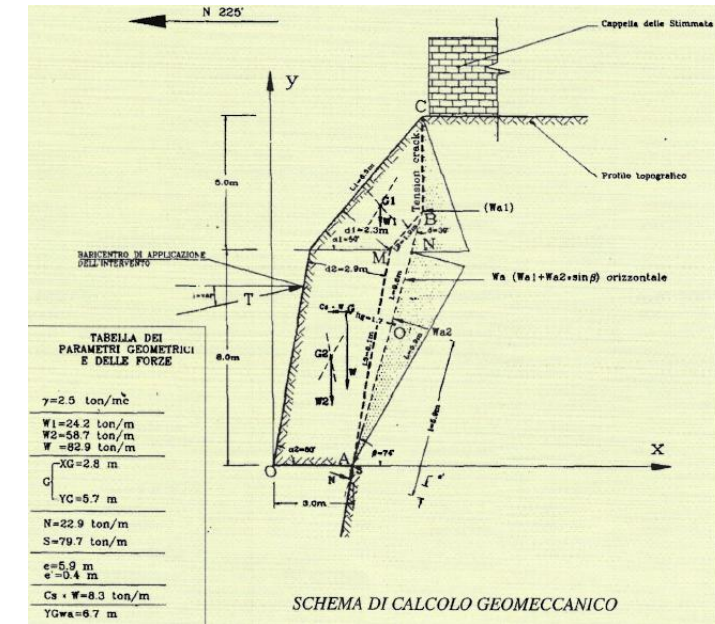
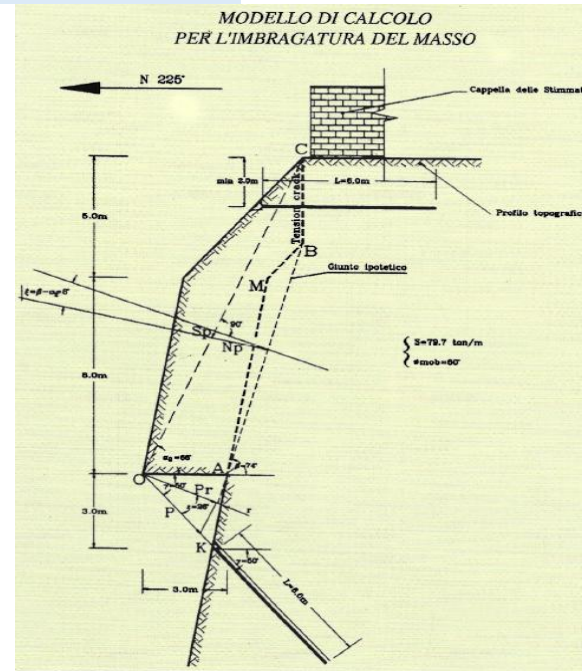
- **ricucire le discontinuità più aperte**
- **stabilizzare i volumi in disequilibrio**
- **ridurre il rischio di crolli localizzati**
- **preservare la morfologia naturale della parete.**



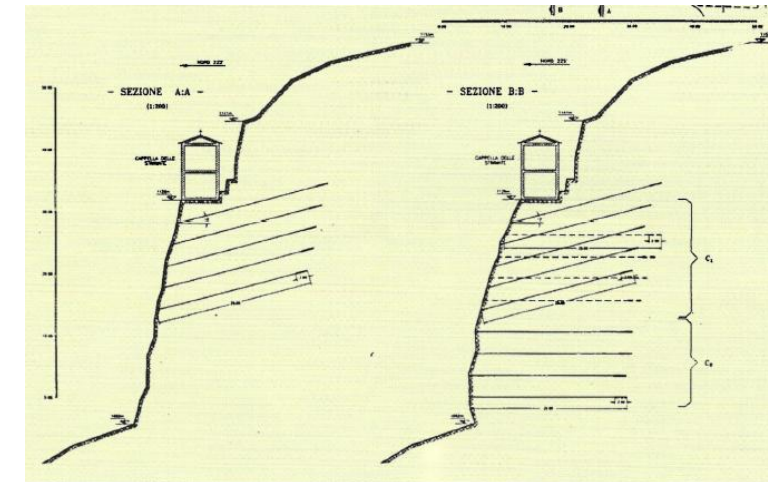
Cappella delle Stimmate e Precipizio



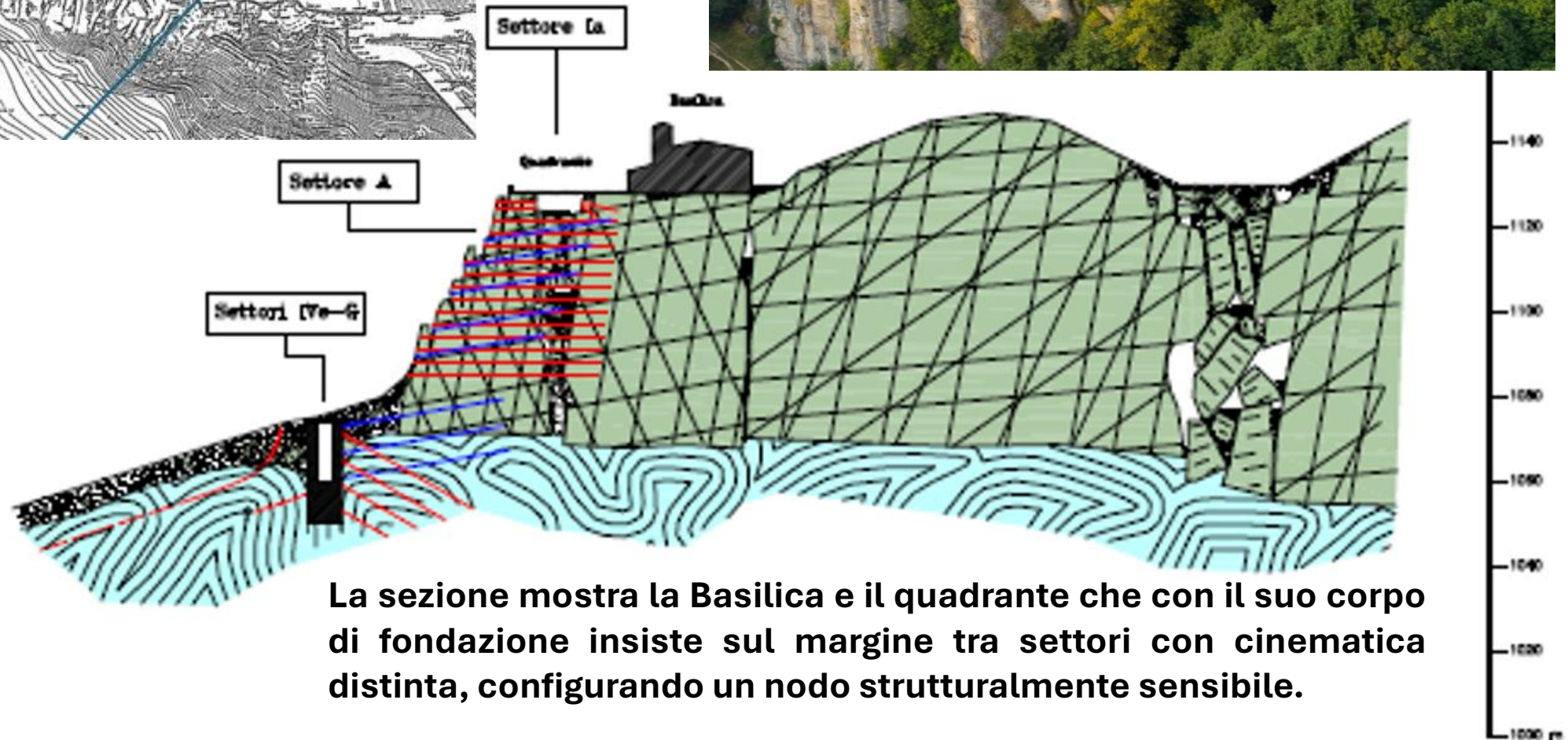
Un prisma roccioso in equilibrio limite rigidamente delimitato da discontinuità profonde e persistenti, separato cinematicamente dal resto della rupe.



Le sezioni mostrano la geometria del fronte e la posizione del blocco instabile. È un intervento complesso, eseguito in parete, che ha permesso di mettere in sicurezza un tratto fondamentale del percorso delle Stimmate mantenendo intatta l'identità del luogo.

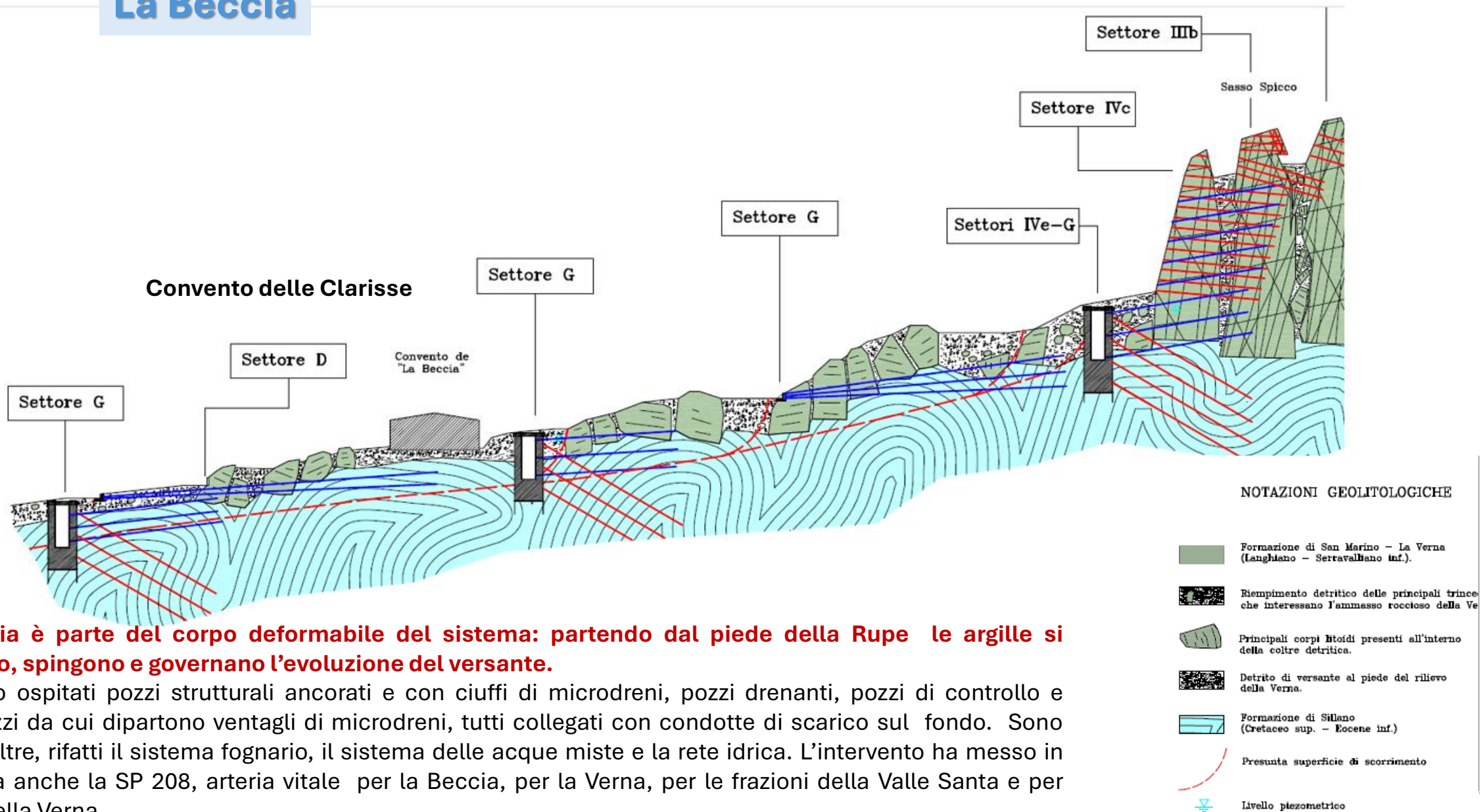


Basilica e Quadrante



La sezione mostra la Basilica e il quadrante che con il suo corpo di fondazione insiste sul margine tra settori con cinematica distinta, configurando un nodo strutturalmente sensibile.

La Beccia



La Beccia è parte del corpo deformabile del sistema: partendo dal piede della Rupe le argille si muovono, spingono e governano l'evoluzione del versante.

Qui sono ospitati pozzi strutturali ancorati e con ciuffi di microdreni, pozzi drenanti, pozzi di controllo e avampozzi da cui dipartono ventagli di microdreni, tutti collegati con condotte di scarico sul fondo. Sono stati, inoltre, rifatti il sistema fognario, il sistema delle acque miste e la rete idrica. L'intervento ha messo in sicurezza anche la SP 208, arteria vitale per la Beccia, per la Verna, per le frazioni della Valle Santa e per Chiusi della Verna.

La messa in sicurezza della Verna è stata possibile grazie a una collaborazione straordinaria tra gruppo tecnico, istituzioni e comunità: progettisti, amministratori, comunità francescana, cittadini della Beccia e di Chiusi, Protezione Civile Nazionale, Soprintendenza, Autorità di Bacino, Ente Parco, Comunità Montana del Casentino.

Questa alleanza tecnica, istituzionale e civile ha permesso di affrontare un intervento complesso, mantenendo intatta l'identità della Verna e garantendo la sicurezza di chi la vive.



Contatti:
Prof. Eros Aiello
eros.aiello@cngeologi.it

GRAZIE