



RELAZIONE GEOLOGICA

PREMESSA E INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il giorno 13 ottobre 2023, su richiesta del Comune di Roccabruna e della Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio per le Province di Alessandria, Asti e Cuneo, lo scrivente ha condotto un sopralluogo sul complesso di massi e superfici in roccia coppellate del Roccerè, al fine di valutare la natura artificiale o naturale di queste cavità.

La valutazione è stata condotta attraverso osservazioni, descrizioni e misure morfometriche, seguendo le linee guida già tracciate da precedenti studi in funzione delle caratteristiche geomorfologiche, climatiche e litologiche, dell'area di studio. Particolare attenzione è stata dedicata alla valutazione della suscettibilità ai processi di alterazione sulla base principalmente di fattori intrinseci (petrogenesi, tessitura, struttura e composizione mineralogica) delle rocce presenti. Questo permetterà, inoltre, di valutare la possibilità di effettuare ulteriori approfondimenti tramite analisi chimiche e minero-petrografiche.

L'area indagata è ubicata in prossimità della vetta del monte Rocceré (1.875 m), sullo spartiacque tra le valli Maira e Varaita, in comune di Roccabruna. I versanti del monte Rocceré si presentano piuttosto acclivi e simmetrici, spesso ricoperti da potenti coltri detritiche, mentre le zone sommitali di crinale risultano maggiormente rocciose con frequenti affioramenti del substrato, spesso in forma di rilievi residuali e pinnacoli. Quest'ultimi, spesso, nelle parti più prossime ai versanti, formano dei gradini fra i ripiani piuttosto pronunciati, talvolta associati anche a movimenti gravitativi. Queste particolari morfologie sono note in letteratura come *tors* (Fig.1, GERRARD, 1994), e sono il prodotto di processi di gelifrazione e crioclastismo in ambiente periglaciale su rocce granitiche e silicatiche, non interessate dall'esarazione glaciale.



Fig. 1 – I pinnacoli di roccia o *tors* dei crinali sottostanti il monte Rocceré

Dalle osservazioni di terreno è stato anche possibile individuare e descrivere diverse tipologie di fratturazione con conseguente marcato grado di allentamento degli ammassi rocciosi. In alcuni casi, l'ammasso roccioso, in presenza di fratture o giunti piuttosto larghi, tende a disarticolarsi favorendo processi gravitativi, anche se tendenzialmente gli elementi lapidei conservano la loro posizione geomorfologica reciproca.

Dal punto di vista geologico l'area di crinale è caratterizzata da affioramenti di orthogneiss appartenenti al metagranito di Borgone (Unità Dora-Maira, Fig. 2). Gli gneiss di Borgone sono metagraniti con struttura porfirica e con tessitura massiccia. Dal punto di vista mineralogico in essi si riconoscono grossi feldspati potassici lunghi fino a 6 cm (porfiroclasti), immersi in una matrice a quarzo, plagioclasio, muscovite primaria e subordinata biotite. Tra gli accessori compaiono allanite, zircone, apatite, monazite (CADOPPI, 1990). Questi vengono a contatto nelle parti più basse del versante con gneiss più minuti e interessati maggiormente da intercalazioni di quarzomicascisti e micascisti filladici a cloritoide. Sono presenti, inoltre, sporadici livelli di "micascisti argentei", rocce a chimismo peculiare costituite quasi esclusivamente da fengite e quarzo. Il termine "micascisti argentei" è stato utilizzato da vari Autori per sottolineare la particolare colorazione grigio-argentea chiara di micascisti intercalati entro granitoidi.

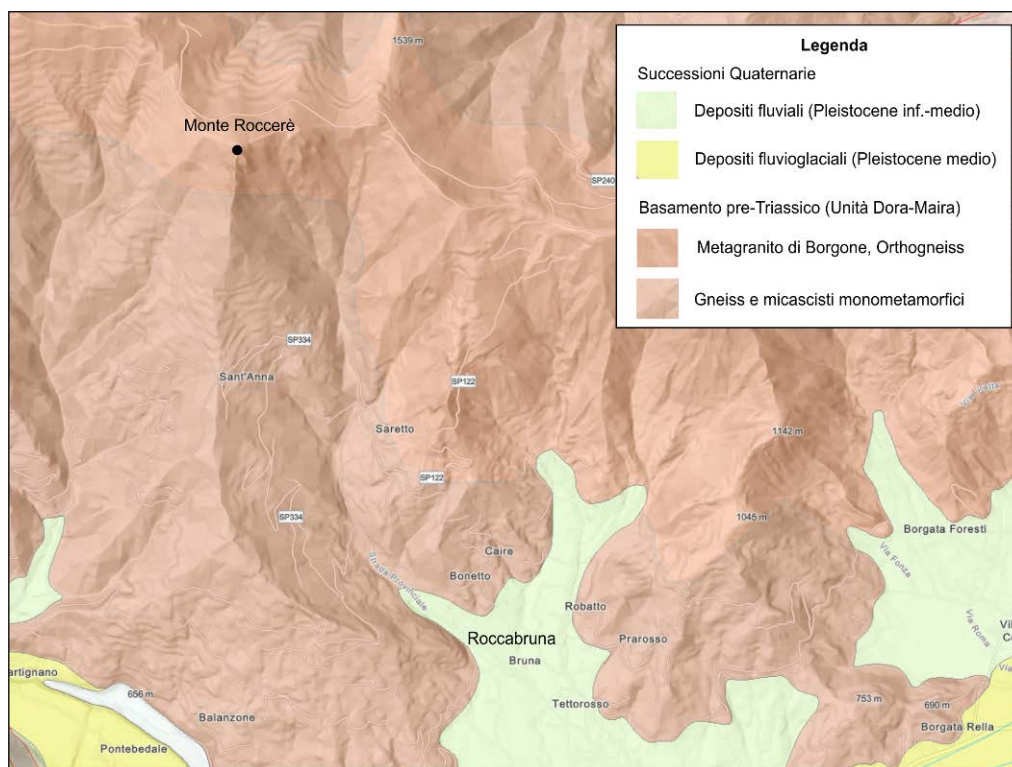


Fig. 2 – Carta geologica semplificata dell'area di studio (modificata da ARPAL-CNR IGG, GeoPiemonte Map 2021)

Nella maggior parte degli affioramenti le rocce si presentano molto foliate con lineazioni ben sviluppate. La foliazione o tessitura "gneissica" è caratterizzata da un'alternanza di sottili letti ricchi di minerali lamellari (miche, cloriti), e letti molto più spessi costituiti in prevalenza da minerali granulari sialici – quarzo e feldspati potassici (Fig. 2a). La foliazione è definita principalmente dall'orientazione preferenziale dei porfiroclasti di K-feldspato e quarzo avvolti da sottili livelli a mica bianca.

Nell'areale è anche presente una cava per l'estrazione di pietre da costruzione. Già in epoca storica una descrizione del metagranito dell'autore BLANGINO (1905) evidenziava alcuni aspetti particolari ed interessanti che rispecchiano quando osservato nel sopralluogo: "...questa pietra granitica ha la densità di 2,06 Kg/m³ circa ... La viva roccia e i numerosi trovanti hanno pure l'inconveniente di contenere numerose falle o peli (fratture), e di avere il letto di posa molto ondulato e posto in senso irregolare, motivi per cui il più delle volte impediscono di poter avere blocchi di notevoli dimensioni ...".

In effetti, i piani di frattura e di neoformazione osservati sugli affioramenti, si presentano molto irregolari e rugosi, con evidenti solchi di limitata profondità e direzione variabile (Fig. 3b). Ciò è da ricondursi alle deformazioni indotte in superficie dai grossi minerali granulari sialici presenti nei letti più spessi della foliazione "gneissica" (Tav. 1a).

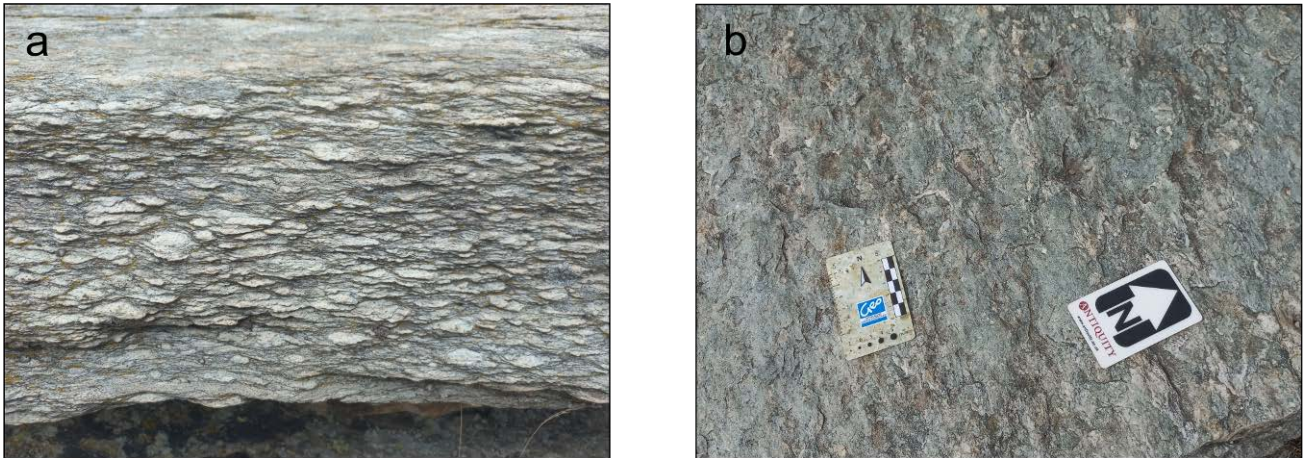


Fig. 3 – a) particolare della foliazione o tessitura "gneissica"; b) particolare di una superficie di frattura di neoformazione molto ondulata e rugosa, corrispondente ad un piano di foliazione.

ANALISI DEGLI AFFIORAMENTI "COPPELLATI"

COP1 - COP4 – COP7

I primi siti analizzati sono stati COP1 e COP4, che corrispondono a singoli blocchi di metagranito piuttosto massivo e scarsamente foliato, affioranti lungo il crinale. Le poche "coppelle" presenti, in entrambi i casi sono collocate nei margini più bassi dei massi, in zone caratterizzate da evidenti rotture di pendenza, alla base di superfici inclinate. In particolare, il rilievo morfometrico condotto con l'ausilio di un inclinometro in COP1 mostra che le "coppelle" sono poste su una superficie piana (inclinazione 0°) sottostante a un piano inclinato di circa 20°, su cui si evidenzia la totale assenza di "coppelle" (Tav. 1b). In COP4, dove la rottura di pendenza lungo il margine è meno marcata, le "coppelle" sono spesso slabbrate, cioè, aperte in solchi (sfioratori) lungo la direzione di massima pendenza e il fondo risulta decisamente asimmetrico (Tav. 1c).

Le "coppelle" si presentano in forme variabili da sferiche ad ellittiche. Le forme più ampie sono anche quelle caratterizzate da minore profondità e spesso tendono a fondersi con "coppelle" adiacenti tramite selle più o meno pronunciate (gruppi coalescenti).

Molte delle “coppelle” hanno parte del fondo occupato da detrito sabbioso o resti organici di varia natura (Tav. 1e; Tav. 1f); la superficie stessa si presenta minutamente scabrosa, caratterizzata da vari livelli di approfondimento associati a bande di natura mineralogica differente (Tav. 1d). *COP7* non si discosta molto da quanto osservato nei massi precedenti. Si trova ad una quota inferiore e molto probabilmente corrisponde ad un masso in giacitura secondaria, proveniente dai tor sovrastanti. Qui le “coppelle” si presentano tendenzialmente elissoidi, poco profonde con forme anche molto irregolari, coalescenti e allungate lungo direttrici preferenziali (Tav. 1g). La più grande e marginale è ricoperta sul fondo da una patina scura di probabile origine biologica (alghe?) o corrispondente a sostanza organica decomposta. In questo punto il margine esterno del masso e della “coppella” è particolarmente in rilievo (Tav. 1h).

COP8

Questo affioramento di roccia in posto è ancora costituito da un metagranito piuttosto massivo e moderatamente foliato. Le “coppelle” si distribuiscono sempre ai margini del blocco e risultano assenti nella parte centrale maggiormente inclinata. Qui, però, la distribuzione sembra essere fortemente controllata dalla presenza di diaclasi e fratture, a tal punto che i margini di alcune “coppelle” sono abrupti e lineari (Tav. 2a). Sono sempre presenti forme coalescenti, poco profonde, e altre singole, regolari, più profonde caratterizzate sempre da un fondo irregolare e scabro.

COP10 – COP13

In questa parte più bassa del crinale sottostante la vetta del monte Rocceré gli gneiss si presentano maggiormente foliati e sono presenti ampie superfici piane in roccia, interessate da ruscellamento superficiale di veli d’acqua per la presenza di sorgenti (sorgente reocrena igropetrica o velo igropetrico) o punti di affioramento di flussi ipodermici, a tal punto che molte scarpate tra i pianori in roccia sono fortemente arrotondate, incrostate da patine biologiche e forate in più punti (Tav. 2b). Qui troviamo la massima frequenza di “coppelle”. La distribuzione risulta controllata dalla presenza di diaclasi o fratture (Tav. 2c) e dai reticoli di drenaggio superficiale su roccia (Tav. 2d), evidenziati dalle patine scure. Di fatto, molte “coppelle” si ritrovano allineate lungo diaclasi, solchi o rivoli di ruscellamento (Tav. 2e), quando invece il flusso risulta diffuso si distribuiscono su un’area più ampia e le dimensioni delle singole coppelle tendono ad aumentare, favorendo la coalescenza. Spesso lungo i solchi o le diaclasi le dimensioni delle coppelle aumentano in modo graduale seguendo il gradiente di accumulo dell’acqua (vedi anche Tav. 3c e 3d). Lungo alcuni rivoli, risulta anche evidente la presenza di numerose depressioni poco profonde e, quindi, poco evidenti, corrispondenti agli stadi embrionali di formazione delle “coppelle” (Tav. 2f).

Nuovamente il fondo delle depressioni risulta scabro e irregolare, con sezioni asimmetriche e margine inferiore che, sulle superfici inclinate, risulta “slabbrato” o aperto in direzione della massima pendenza (Tav. 2g). In alcuni casi sul fondo sono presenti ulteriori depressioni discordanti, dovute alla rimozione di singoli grossi cristalli o distacco di schegge, o più comunemente accumuli di detrito sabbioso o ghiaioso (Tav. 2g).

Le caratteristiche osservate nei successivi affioramenti corrispondono a repliche di quanto già descritto ed evidenziato nei precedenti siti (Tav.3). Infine, è importante evidenziare come i licheni sono chiaramente abbondanti sulla superficie dello gneiss all'esterno e attorno all'orlo e alla porzione sovrastante della cavità ma sono praticamente assenti sul fondo (come d'altronde in corrispondenza di solchi di erosione); il lichene sembra mancare al di sotto di una linea abbastanza marcata che può essere considerata rappresentativa del livello dell'acqua più frequente (Roberts, 1968; Tav. 3b). Invece il fondo delle cavità e dei solchi è spesso caratterizzato dalla presenza di patine biologiche scure (Tav. 3c).

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dalle osservazioni condotte, lo scrivente ritiene che, in assenza di evidenze archeologiche, le cavità osservate siano naturali e riconducibili alla formazione di vaschette di alterazione o "weathering pits". In particolare, tali forme di alterazione/erosione sono molto comuni e abbondanti in ambienti periglaciali montani, recenti o passati, su rocce granitoidi, metagraniti e gneiss, come ben documentato in letteratura. Molti lavori scientifici le associano alla presenza dei tors, come d'altronde si evince nell'area di studio, depositi periglaciali (block fields) o massi erratici (Fahey, 1986; Hall e Phillips, 2006; Roberts, 1968), e ad una evoluzione in ambienti post-glaciali. In letteratura le weathering pits associate a questi ambienti sono chiamate anche "gnammas" (Domínguez-Villar, 2006)

La loro formazione è riconducibile a una combinazione di processi di alterazione fisica (microgelivazione) e alterazione chimica (idrolisi, idratazione) legati alla permanenza stagionale dell'acqua piovana che si accumula nelle irregolarità del substrato roccioso (Domínguez-Villar e Jennings, 2008b; Huggett, 2011; Twidale e Vidal-Romani, 2005; Twidale, 1982; Wang et al., 2020).

Alcuni studi hanno anche evidenziato il ruolo importante dell'attività biologica, in particolare della fotosintesi (alghe) e della decomposizione della sostanza organica, che contribuisce ad importanti fluttuazioni del pH e quindi a favorire ed accelerare in maniera significativa la dissoluzione dei silicati, soprattutto k-feldspati e plagioclasti, ma anche del quarzo (Domínguez-Villar et al., 2008b).

Gli studi evidenziano, inoltre, una evidente correlazione positiva ($r = 0.92$) tra la composizione delle rocce ricche di K-feldspati e la densità e distribuzione delle vaschette di alterazione (Sancho and Benito, 1990). Ciò è da ricondursi alla forte suscettibilità del feldspato all'alterazione per idrolisi. È stato dimostrato che il potassio liberato in soluzione dall'alterazione si ricombina successivamente a formare dei sali di potassio (es: silvite) che accelerano ulteriormente il deterioramento del feldspato (che rilascia ulteriore potassio), innescando così un ciclo di *feedback* positivo (Tian et al., 2013). Le stesse rocce sono spesso ricche di fillosilicati (miche, cloriti) che facilmente vanno anche incontro ad idratazione (Mustoe, 1983), processo che favorisce anche l'alterazione fisica (i minerali idrati sono meno resistenti delle forme anidre).

Quindi, la letteratura scientifica ha già ampiamente discusso e dimostrato come le litologie granitoidi siano particolarmente soggette e suscettibili ai processi di alterazione chimica e fisica in ambienti periglaciali e non solo (Paradise, 2015). Infatti, si ricorda che forme di alterazione/erosione su rocce granitoidi simili alle *weathering pits* (tafoni) sono anche molto comuni in ambienti semi-aridi e/o costieri, dove però giocano un ruolo più importante i processi di alterazione legati alla precipitazione di sali (alloclastismo) e di erosione riconducibili al vento.

L'insieme di tali processi in presenza di acque stagnanti nelle irregolarità del substrato (giunti, strie glaciali, piani di foliazione etc.) porta, quindi, ad un'importante alterazione ed erosione selettiva nelle rocce granitoidi (Samuelsson e Werner, 1978). I materiali alterati sono anche facilmente disgregati dai processi di gelifrazione (gelo e disgelo) e tendono successivamente ad accumularsi sul fondo della depressione e ad essere facilmente rimossi dal vento o dalle acque trascinanti durante gli eventi di precipitazione intensa (Timms e Rankin, 2015; Tian et al., 2013).

Una volta che si è formata la depressione iniziale ed è disponibile una frequenza sufficiente di bagnatura e asciugatura, la depressione si approfondisce generalmente con un tasso di deterioramento più elevato rispetto al substrato roccioso circostante e si forma una cavità. Alcune cavità continuano ad espandersi autonomamente dove le condizioni micromorfologiche e ambientali prevalenti lo consentono, portando anche a fenomeni di coalescenza, spiegando così la presenza di forme molto irregolari e/o bilobate con rapporto di larghezza massimo e minimo di quasi 2 a 1.

Tale fenomeno è favorito dalla presenza di sottili “letti” di minerali sialici più resistenti che limitano l’approfondimento e facilitano l’alterazione/erosione laterale delle vaschette, generando forme larghe e poco profonde (Wang et al., 2020).

Quando la vaschetta è piena, l’acqua tracima lungo l’altezza minima della cavità. Il percorso di overflow genera un solco noto in letteratura come exutorio o sfioratore. Questo avviene soprattutto su superfici inclinate lungo il margine inferiore della vaschetta.

Alcune forme riconoscibili in ambienti montani glacializzati sono state anche attribuite all’erosione basale dei ghiacciai, ma tale ipotesi non è più accettata poiché è stato dimostrato che l’erosione glaciale, particolarmente nei ghiacciai caldi (medie e basse latitudini) porta ad una rimozione delle *weathering pits*. Quindi, la loro formazione è riconducibile, almeno alle nostre latitudini, alle fasi post-glaciali o periodi interglaciali (Domínguez-Villar et al., 2006; 2009). Gli stessi studi, condotti su depositi morenici tardo Olocenici (Piccola Era Glaciale), hanno dimostrato che sono sufficienti poche centinaia di anni per la loro formazione (Domínguez-Villar et al., 2006).

Il clima, le caratteristiche tessiturali della roccia, la persistenza dell’acqua, oltre alle dinamiche di drenaggio superficiali, sono i principali fattori responsabili della formazione e distribuzione di tali cavità sulle rocce granitoidi, anche nell’area di studio. Di fatto sui versanti del monte Rocciaré le vaschette si rinvengono solo alle quote più elevate dove in passato le temperature più basse e la maggiore umidità favorivano una morfogenesi periglaciale. In particolare, i tors, caratteristici dell’area di studio, testimoniano proprio l’azione dei processi di gelificazione o crioclastismo legati ai cicli di gelo e disgelo del permafrost, ai margini dei corpi glaciali. Attualmente il permafrost nelle Alpi è presente primariamente a quote superiori i 2400 m (Ribolini e Fabre, 2006), ma nel momento di massima espansione glaciale (Last Glacial Maximum; 26.5-20/19 ka, Clark et al., 2009), le Alpi e le Prealpi erano interamente ricoperte da una coltre glaciale e il limite del permafrost scese fino a 1200 m (Oliva et al. 2018). Dall’ultimo glaciale l’incremento della temperatura ha ristretto notevolmente l’ambiente periglaciale e la presenza di permafrost in ambiente Alpino di bassa quota, ma alcuni processi periglaciali (es: microgelivazione), in forma attenuata, legati alla presenza di gelo stagionale, sono sicuramente perdurati durante la fase post-glaciale dell’Olocene e possono considerarsi ancora attivi nell’aria di studio alle alte quote.

La numerosità di *weathering pits* in quest’area è anche da ricondurre, quindi, all’alta suscettibilità all’alterazione del metagranito o gneiss di Borgone, ricco di grossi porfiroclati di feldspato potassico e miche. Inoltre, la tessitura e la spinta foliazione degli gneiss facilitano la formazione di superfici rocciose molto scabre e rugose, che in contesti di scarsa inclinazione permettono l’accumulo e il ristagno puntuale dell’acqua. La maggior parte dei gruppi di vaschette sono state rinvenute sulle ampie superfici piane degli gneiss foliati e meno nei massi sommitali costituiti da metagranito più massivo e caratterizzate da geometrie più complesse. Inoltre, è anche evidente il forte controllo strutturale delle rocce sul drenaggio superficiale, evidenziato dalla frequente associazione tra fratture/diaclasi e vaschette.

Questa marcata differenza però non è solo riconducibile alle caratteristiche tessiturali della roccia e morfologiche della superficie, ma risulta fortemente condizionata dagli apporti idrici. I singoli massi del crinale “catturano” solo le acque piovane, mentre le “bancate” di roccia sottostanti sono interessate da apporti maggiori, riconducibili alla presenza di sorgenti e/o affioramenti di flussi ipodermici. La

distribuzione delle vaschette è quindi limitata sui massi sommitali a pochi punti di accumulo alla base di superfici inclinate o contropendenze dei massi, mentre nella parte bassa è più diffusa, e rispecchia chiaramente il reticolo di drenaggio superficiale che si genera e si imposta sulle superfici debolmente inclinate e scabre dei graniti foliati a seguito degli abbondanti apporti.

Anche la prevalente distribuzione sui versanti sud-sud/ovest può essere legata alla maggiore insolazione dei versanti che contribuisce ad incrementare la temperatura, e quindi alterazione chimica (Paradise e Yin, 1993); ma anche ad enfatizzare le escursioni termiche giornaliere e quindi a favorire i processi di gelo e disgelo e le fasi di bagnatura ed essiccamento (Paradise, 2015; Domínguez-Villar et al., 2008). Naturalmente, le vaschette sono assenti in tutte quelle superfici di recente formazione o esposizione, dove i processi di alterazione/erosione non hanno avuto ancora tempo di impostarsi o esplicarsi.

Alla luce di quanto osservato, visto il ben definito contesto geologico/geomorfologico dell'area di studio e la numerosa letteratura esistente, lo scrivente ritiene inutile proporre ulteriori approfondimenti ed analisi minero-petrografiche. Le presunte "coppelle" del monte Roccerè corrispondono a *weathering pits* o, meglio, a **gnammas**. La loro formazione probabilmente risale alla fase terminale dell'Ultimo Glaciale e interessa quelle aree a morfogenesi periglaciale non interessate direttamente dall'esarazione glaciale (crinali), o successivamente liberate dai ghiacci a seguito della regressione tardo Pleistocenica.

Numerosi sono in tutte le Alpi i casi dove, erroneamente, le vaschette di alterazione sono state associate a manufatti (Pace F., 2013; Schwegler, 2016). Mentre in altri casi, è stata rimarcata l'origine naturale delle numerose cavità, attribuite prettamente all'alterazione chimica (*weathering pits*), sui massi erratici censiti durante il progetto e che, anche in questo caso, erano state erroneamente attribuite a coppelle (Motta e Motta, 2013).

Nel caso in questione, le perizie precedentemente richieste a liberi professionisti, basate principalmente sull'impossibilità degli "agenti atmosferici" di alterare rocce "dure", denotano una scarsa se non nulla conoscenza della letteratura scientifica ma, soprattutto, dei processi di alterazione riguardanti le rocce granitoidi, ormai ben definiti e descritti nelle differenti fasi e ambienti. Molte affermazioni sono semplici opinioni non supportate da referenze e citazioni scientifiche, e non sembrano corrispondere a quanto osservato dallo scrivente.

In particolare, la distribuzione delle coppelle risulta palesemente controllata dal drenaggio/accumulo superficiale dell'acqua che a sua volta è condizionato dai caratteri morfologici e dalle discontinuità delle rocce. Infine, le perizie escludono l'azione dei processi di alterazione fisica (termoclastici, sfogliazione granulare), quando invece tutt'ora si rinvengono all'interno delle cavità, su superfici molto scabre, detriti sabbiosi. Tali processi, naturalmente, non interessano tutte le superfici esposte ma solo le aree di accumulo dell'acqua poiché operano in presenza di acqua (microgelivazione) e congiuntamente all'alterazione chimica, come precedentemente spiegato.

Durante il sopralluogo, in prossimità della grotta di Balmascura, è stata visionata anche la presunta pittura rupestre (antropomorfo). Non essendoci elementi sufficienti per esprimersi sulla natura della patina di pigmento, se l'Amministrazione lo ritiene di interesse, lo scrivente propone un'indagine di dettaglio mediante microscopia elettronica a scansione. Mediante il microscopio a scansione ottica (SEM), oltre ad ottenere informazioni di tipo morfologico e strutturale sul campione analizzato (pochissimi mg) e il riconoscimento delle forme cristalline dei suoi costituenti, è possibile condurre un'analisi semi-quantitativa dei singoli elementi, abbinando al microscopio elettronico a scansione una microsonda. Questo garantirebbe di definire con certezza la natura della "patina". Lo stesso approccio potrebbe essere utile alla caratterizzazione delle patine scure all'interno delle vaschette di alterazione.

In conclusione, a seguito del sopralluogo condotto, lo scrivente ritiene che nell'area relativamente ristretta e circostante il monte di Rocceré, sono presenti elementi geologici e geomorfologici di particolare rilevanza scientifica, divulgativa, didattica ed estetica, testimoni della storia geologico-evolutiva di questo settore di catena alpina. Ciò, unitamente ad un suggestivo contesto storico culturale ed a una corretta valorizzazione e gestione, può rappresentare un formidabile tassello da associare allo sviluppo socio-economico del territorio. Lo scrivente e l'Università di Genova hanno una lunga tradizione nella valorizzazione del patrimonio geologico (geositi e geoparchi), pertanto potrebbero supportare l'Amministrazione comunale nello studio e nella valorizzazione di questa importante risorsa "naturale".

Genova, 11/09/2023

Prof. Rellini Ivano

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ivano Rellini', with a horizontal line extending to the right.

TAVOLA 1

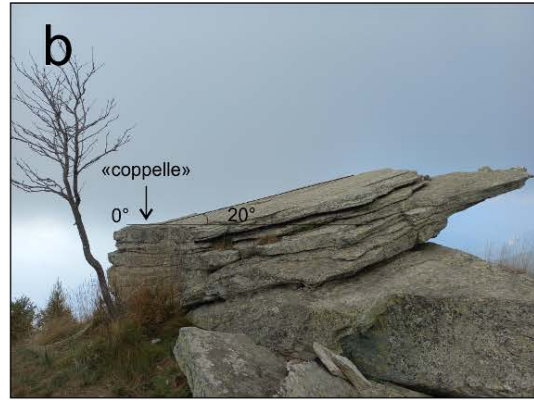


TAVOLA 2

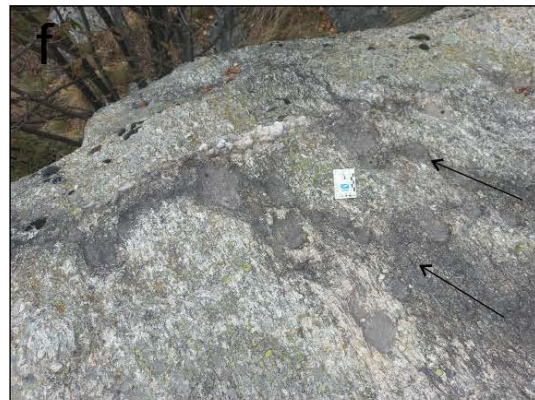


TAVOLA 3



BIBLIOGRAFIA

- BLANGINO S. (1905) - "Alcune cave di marmi arenarie e pietre da lavoro del Piemonte". Tipografia Artigianelli, Torino, 295 pp.
- CADOPPI P. (1990) - Geologia del basamento cristallino nel settore settentrionale del Massiccio Dora-Maira (Alpi Occidentali), Tesi di Dottorato, Consorzio TO-GE-CA, 208.
- CLARK P.U., DYKE A.S., SHAKUN J.D., CARLSON A.E., CLARK J., WOHLFARTH B., MITROVICA J.X., HOSTETLER S.W., MCCABE A.M. (2009) - The Last Glacial Maximum. *Science*. 325(5941):710-4. doi: 10.1126/science.1172873.
- DOMÍNGUEZ-VILLAR D. (2006) - Early formation of gnammas (weathering pits) in a recently glaciated area of Torres del Paine, southern Patagonia (Chile). *Geomorphology* 76 (2006) 137–147.
- DOMÍNGUEZ-VILLAR, D., JENNINGS, C.E. (2008a) - Multi-phase evolution of gnammas (weathering pits) in a Holocene deglacial granite landscape, Minnesota (USA). *Earth Surface Processes and Landforms* 33, 165–177.
- DOMÍNGUEZ-VILLAR D., ARTEAGA C., GARCÍA-GIMÉNEZ R., SMITH E.A., PEDRAZA J. (2008b) - Diurnal and seasonal water variations of temperature, pH, redox potential and conductivity in gnammas (weathering pits): Implications for chemical weathering. *CATENA*, Volume 72, Issue 1, Pages 37-48
- DOMÍNGUEZ-VILLAR, D., RAZOLA, L., CARRASCO, R., JENNINGS, C.E., PEDRAZA, J. (2009) - Weathering phases recorded as gnammas developed since last glaciation at Serra da Estrela, Portugal. *Quaternary Research* 72, 218–228.
- FAHEY, B.D. (1986) - Weathering Pit Development in the Central Otago Mountains of Southern New Zealand. Taylor & Francis, Ltd. *Arctic and Alpine Research*, Vol. 18, No. 3, pp. 337-347
- GERRARD A.J. (1994) - Classics in physical geography revisited: the problem of tors, *Progress in Physical Geography* 18; pp. 559-563
- HALL A.M., PHILLIPS W.M. (2006) - Weathering Pits as Indicators of the Relative Age of Granite Surfaces in the Cairngorm Mountains, Scotland. *Geografiska Annaler Series A Physical Geography* 88, pp. 135-150
- HUGGETT, R. J. (2011). *Fundamentals of Geomorphology*. 3th Ed., Routledge, New York. 516
- MOTTA L., MOTTA M., (2013) - Massi erratici, singolari testimonianze glaciali nel paesaggio. Regione Piemonte.
- MUSTOE G.E. (1983) - Cavernous weathering in the Capitol Reef Desert, Utah. *Earth Surface Processes and Landforms* 8: 517–526.
- OLIVA, M. ŽEBRE, M. GUGLIELMIN, P.D. HUGHES, A. ÇINER, G. VIEIRA, X. BODIN, N. ANDRÉS, R.R. COLUCCI, C. GARCÍA-HERNÁNDEZ, C. MORA, J. NOFRE, D. PALACIOS, A. PÉREZ-ALBERTI, A. RIBOLINI, J. RUIZ-FERNÁNDEZ, M.A. SARIKAYA, E. SERRANO, P. URDEA, M. VALCÁRCEL, J.C. WOODWARD, C. YILDIRIM (2018) - Permafrost conditions in the Mediterranean region since the Last Glaciation. *Earth-Science Reviews*, Volume 185, p.p 397-436
- PACE F. (2013) - False coppelle in Valle Spluga e Valtellina, in *Notiziario Istituto Archeologico Valtellinese* 11, Sondrio, pp. 21-28
- PARADISE T.R., ZHI-YONG YIN (1993) - Weathering pit characteristics and topography on stone mountain, Georgia, *Physical Geography*, 14:1, 68-80, DOI: 10.1080/02723646.1993.10642468
- PARADISE T.R. (2015). *Tafoni and Other Rock Basins*, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, Elsevier, doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.09570-1.
- RIBOLINI A., FABRE D. (2006) - Permafrost existence in the rock glaciers of the Argentera Massif (Maritime Alps, Italy). *Permafr. Periglac. Process.*, 17 pp. 49-63
- ROBERTS D. (1968) - Occurrences of Weathering Pits from Sørøy, Northern Norway. Taylor & Francis, Ltd., *Physical Geography*, Vol. 50, No. 1, pp. 60-63 Published by: Society for Anthropology and Geography
- SAMUELSSON L., WERNER M. (1978) - Weathering Pits in the Lake Mjörn Area Northeast of Göteborg. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, Vol. 60, No. 1-2, pp. 9-21.

- SANCHO C. E BENITO G. (1990) - Factors controlling tafoni weathering in the Ebro Basin (NE Spain). Zeitschrift fur Geomorphologie 34: 165–177.
- SCHWEGLER U. (2016) - Was sind Schalensteine? Eine illustrierte Dokumentation über Schalensteine (online su academia.edu)
- TIAN F., TIAN M., LIU J. (2013) - Characteristics, multi-phase evolution and genesis of weathering pits in Qing Mountain, Inner Mongolia, China. J. Earth Sci., 24 (3) (2013), pp. 457-470
- TIMMS B.V., RANKIN C. (2015) - The geomorphology of gnammas (weathering pits) of northwestern Eyre Peninsula, South Australia: typology, influence of haloclasty and origins, Transactions of the Royal Society of South Australia. <https://doi.org/10.1080/03721426.2015.1115459>
- TWIDALE, C.R. (1982) - Granite landforms. Amsterdam. Elsevier. 372 pp
- TWIDALE, C.R.; VIDAL ROMANI, J.R. (2005) - Landforms and Geology of Granite terrains. Amsterdam. Balkema. 352 pp.
- WANG, W., HUANG, R., FENG, J. (2020) - A new method for determining weathering rates in weathering pits. Earth Surface Processes and Landforms, 1262-1272.