

Presentazioni Istituzionali

Presentazione del Ministro per gli affari regionali e le autonomie

La montagna italiana riflette la diversità e la ricchezza delle caratteristiche regionali, anche dal punto di vista fisico e paesaggistico: i villaggi e i piccoli borghi, alcuni catalogati tra i più belli d’Italia, animano le valli e i versanti alle quote più basse, in stretto rapporto con le foreste e i boschi che le circondano; alle quote più elevate, le praterie e le rocce nude sono, come noto, gli elementi comuni e più rilevanti.

La vera differenza fisica tra le montagne delle Alpi e quelle degli Appennini e delle isole maggiori si manifesta nell’alta quota, dove i ghiacciai sono in grado di modellare paesaggi unici e di creare le condizioni per ecosistemi particolari.

L’alta montagna glacializzata alpina sta soffrendo, dalla fine dello scorso millennio, per gli effetti di una crisi climatica che ha velocemente e radicalmente cambiato il paesaggio, il corso delle stagioni e dei fenomeni atmosferici e la normale evoluzione dei versanti montani.

Ma, anche sui rilievi dell’Appennino, al centro della regione Abruzzo e della catena del Gran Sasso d’Italia, culmine della penisola, resiste, affaticato, un “cuore” di ghiaccio: si tratta del piccolo ghiacciaio del Calderone, a cui questa monografia è dedicata.

Il lettore che intraprenderà il percorso, suggerito dal filo conduttore di questa monografia, di scoperta di questo piccolo apparato glaciale, rimarrà sorpreso dalla ricchezza delle testimonianze presenti negli archivi, dell’iconografia e della più moderna fotografia, anche digitale e da piattaforme aeree; rimarrà, anche, meravigliato del fatto che il ghiacciaio, dalla fine dello scorso millennio, non sia più classificabile come apparato *tout court*, perché suddiviso in due più piccole placche glaciali.

Auguro, allora, di intraprendere questo percorso di “scoperta” alle lettrici e ai lettori incuriositi, ma, soprattutto ai ragazzi ed ai giovani, perché diventino consapevoli della ricchezza della montagna italiana e possano trasformarla non solo nel motivo di una visita o di frequentazione sportiva, ma anche di vita e di lavoro.

On. Prof. Francesco Boccia

Presentazione del Capo del Dipartimento per gli affari regionali e le autonomie

Il Ghiacciaio del Calderone, come noto, pur se in sofferenza e suddiviso in due placche di glaciali, è l’unico apparato glaciale residuale dell’Abruzzo, della catena Appenninica e

dell'area Mediterranea. Considerate queste peculiarità, è oggetto di studio da parte della comunità scientifica e motivo di interesse da parte della cittadinanza e del grande pubblico.

Il dr. Massimo Pecci, già ricercatore presso l'Ente Italiano della Montagna (EIM) ed attualmente, dal 2010, in servizio presso il Dipartimento per gli affari regionali e le autonomie, ha curato, da 25 anni, il monitoraggio del piccolo ghiacciaio, diventandone, nel tempo, referente nazionale per il Comitato Glaciologico Italiano, e internazionale, per il World Glacier Monitoring Service.

Questa materia e il coordinamento delle relative attività, già in capo all'EIM, a seguito della soppressione dell'Ente, ai sensi del dPCM 30 novembre 2010, sono state trasferite al Dipartimento e vengono trattate nell'ambito delle sue competenze.

Il dr. Pecci ha proposto la redazione della Monografia sul ghiacciaio come progetto individuale per la partecipazione all'ultimo bando di Lavoro Agile della PCM dello scorso dicembre 2019; dopo la successiva valutazione ed approvazione, le attività hanno avuto inizio a gennaio 2020 e si sono concluse, con la produzione dell'allegato lavoro nei tempi previsti, a fine giugno 2020, che hanno dovuto tenere conto e si sono dovute "contemperare" con le esigenze e le necessità derivanti dagli effetti prodotti della pandemia da Covid 19.

La monografia presenta lo stato dell'arte delle conoscenze geografico-fisiche e glaciologiche sull'apparato glaciale dell'ultimo venticinquennio ed è corredata dalle relative fotografie, figure e tabelle; i contenuti sono, però, arricchiti anche da un apparato iconografico e bibliografico che evidenzia le variazioni glaciali negli ultimi due secoli, a testimonianza della ricchezza degli archivi storici e documentali, anche in formato digitale, a nostra disposizione.

Il Dipartimento, con la divulgazione di questa opera, oltre alla diffusione dei risultati e dei dati, vuole rendere evidente che la progettualità contenuta ed espressa dal lavoro agile è in grado di produrre i suoi migliori risultati, se opportunamente indirizzata ed organizzata, ed è, quindi, lieto di poter mettere a disposizione di tutti la ricchezza delle informazioni e delle immagini raccolte nella monografia, tramite la sua pubblicazione sul sito web del Dipartimento, auspicandone la fruizione soprattutto da parte delle popolazioni di Abruzzo, che vivono ai piedi del Gran Sasso d'Italia, e, in particolare, della gioventù locale.

Cons. Elisa Grande

Presentazione del Coordinatore dell'Ufficio per le politiche urbane e della montagna, la modernizzazione istituzionale e l'attività internazionale delle autonomie regionali e locali

Nell'introdurre questo lavoro, elaborato da Massimo Pecci, non mi soffermerò evidentemente su considerazioni tecniche o aspetti scientifici di cui la monografia è indubbiamente ricca.

Lascerò ai tecnici valutare il lavoro secondo i parametri propri della ricerca e dell'accademia.

Vorrei infatti dedicare le poche righe che seguono a sottolineare come il lavoro elaborato sia frutto di un'osservazione lunga venticinque anni, dedicati alle attività di monitoraggio del Calderone.

L'elaborato che segue, infatti, costituisce soltanto il momento terminale di un'intensa e appassionata attività di ricerca, che, personalmente, negli ultimi due anni ho avuto modo di condividere con Massimo.

Condividere nel senso più puro del termine, attraverso gli esaustivi report, le chiacchierate occasionali, le fotografie e gli episodici seminari svolti presso il Dipartimento e presso le Università.

Rendere disponibile alla comunità scientifica questi dati rappresenta il miglior riconoscimento per l'attività di un ricercatore che è transitato senza traumi dall'EIM agli Uffici della Presidenza del Consiglio dei Ministri.

Tutti i passaggi sono per loro stessa natura traumatici e vanno affrontati con professionalità e serenità.

Questo è esattamente ciò che ha fatto Massimo, portando all'interno del Dipartimento per gli affari regionali l'entusiasmo del cultore della montagna e il rigore scientifico del ricercatore.

Le pagine che seguono ripercorrono venticinque anni di grandi cambiamenti per un ghiacciaio, che situato nel Gran Sasso d'Italia, costituisce una delle principali caratterizzazioni dell'Abruzzo e dell'Italia intera.

Attraverso una meticolosa e documentata analisi, la storia del Calderone rappresenta in pillole la storia del riscaldamento del pianeta e ci rende partecipi di un fenomeno globale.

Pur essendo il lavoro nato come prodotto dell'attività di "lavoro agile" in tempi di *lockdown*, questo costituisce, come detto, la *summa* di venticinque anni di attento lavoro.

Un prodotto unico per ricchezza di dati e per accuratezza, un elaborato che sarebbe stato folle riservare alla sola dirigenza della Presidenza del Consiglio dei Ministri.

È con questo spirito che, fin dall'inizio, insieme a Massimo abbiamo valutato l'opportunità di condividere tale patrimonio con l'intera comunità scientifica nazionale e internazionale di cui Massimo è parte integrante.

Sicuro dell'apprezzamento unanime di tale lavoro e del contributo che questo potrà offrire a tutti i ricercatori impegnati sul tema, colgo l'occasione per ribadire pubblicamente quale soddisfazione abbia per me rappresentato coordinare per oltre due anni le attività dell'Ufficio di cui Massimo Pecci era e resta parte integrante.

Cons. Francesco Tufarelli

Premessa

Le notizie e, ancor di più, le immagini che hanno ritratto nel corso degli ultimi mesi del 2019 i ghiacciai del mondo e, in particolare, quelli italiani, non lasciano presagire inversioni di tendenza rispetto alla fusione ed al ritiro generalizzati, che stanno caratterizzando questi anni di crisi climatica.

Il ghiacciaio del Calderone non si allontana, certo, dalla tendenza generale manifestata dai ghiacciai planetari, anche se il suo comportamento continua a presentare, in questo venticinquennale periodo di osservazione, una spiccata peculiarità, riconducibile, non solo e semplicemente, alla posizione geografica e ai caratteri climatici.

In particolare, alla fine di 25 anni di osservazioni glaciologiche e di rilievi nivologici e di relativi dati di bilancio di massa, è sembrato importante, per la comunità scientifica e per le popolazioni montane residenti, fare il punto della situazione e valutare i risultati relativi ad una serie storica venticinquennale nel quadro più generale della crisi della criosfera in atto.

La redazione di questa monografia tematica è stata resa possibile a partire dalla proposta dell'Autore di progetto individuale, da realizzare in modalità Smart Working, per il primo semestre 2020; la proposta è stata recepita ed autorizzata dai vertici della Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento per gli affari regionali e le autonomie, che si ringraziano.

La redazione della monografia ha fornito, inoltre, l'occasione per menzionare e ricordare le Istituzioni e gli operatori che hanno partecipato, a vario titolo, spesso gratuito, alle attività di ricerca relative al ghiacciaio del Calderone nel corso dei 25 anni presi in considerazione e, naturalmente, per ringraziare il parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga, Ente tecnico-amministrativo di riferimento territoriale, nonché il gestore, sig. Luca Mazzoleni, e lo staff del rifugio "Carlo Franchetti" del CAI, sezione di Roma, per il supporto logistico e la disponibilità garantiti in tutto il periodo.

Nel caso in cui qualcuno fosse stato involontariamente tralasciato, l'Autore se ne scusa anticipatamente.

Di seguito sono elencate gli Enti e le Istituzioni partecipanti e, in Tab. 1, è riportato il quadro di dettaglio, in ordine cronologico, dei ricercatori/operatori partecipanti, degli Enti e delle Istituzioni di appartenenza, e delle relative attività di competenza.

Istituzioni ed Enti con ruolo di coordinamento e personale affiliato:

- **Servizio Geologico Nazionale** (anni 1993-1994): Dott. Massimo Pecci (responsabile del monitoraggio), Dott. Maurizio D'Orefice, Sig. Renato Ventura, Sig.ra Silvana Falcetti;
- **ISPESL-Istituto Superiore per la prevenzione e la Sicurezza sul Lavoro, DIPIA-** Dipartimento Insediamenti Produttivi e Impatto Ambientale (anni 1995-2004): Dott. Massimo Pecci (responsabile del monitoraggio), Dott. Francesco Silvestri, Dott.ssa Gerardina Di Filippo, Dott.ssa Alessandra Marino, Dott. Giuseppe Bonanni, Dott. Alessio Rinaldini;
- **Istituto Nazionale della Montagna** (anni 2005-2010): Dott. Massimo Pecci (responsabile del monitoraggio), Dott. Pinuccio D'Aquila, Dott. Stefano Pignotti;
- **Dipartimento affari regionali della Presidenza del Consiglio dei Ministri** (anno 2011-in corso): Dott. Massimo Pecci, Ing. Franco Guiducci;

Istituzioni partecipanti

- **Università degli Studi di Chieti e Pescara** – Istituto di Architettura: dott. Lucio Ledonne (1994-1995); Dipartimento di Scienze Geologiche (Pinuccio D'Aquila, 2003-2005);
- **Università degli Studi di Milano** – Dipartimento di Scienze della Terra “Ardito Desio”: Prof. Claudio Smiraglia (1993-2020);
- **Università degli Studi di Milano Bicocca** – Dipartimento di Scienze dell’Ambiente e della Terra (DISAT): Prof. Valter Maggi – dott.ssa Angela Marinoni, Prof. Ezio Bolzacchini (2000-2001);
- **Università degli Studi di Roma “La Sapienza”** - Dipartimento di Ingegneria: Prof. Frank Marzano, dott.ssa Ing. Marianna Biscarini, Dott. Ing. Gianluca Palermo (2019-2020);
- **Università degli Studi di Perugia**: Prof. Pietro Buzzini (2008-2010), Prof. David Cappelletti (2009-2020), Angelo Grilli (2009-2012), Prof. Ermanno Federici (2014-2015);
- **Università degli Studi dell’Aquila**, CETEMPS: Dott. Paolo Tuccella, Dott. Domenico Cimini, Dott. Edoardo Raparelli, Sig. Thomas di Fiore, Sig. Paolo Boccabella (2019-2020);
- **Università degli Studi di Roma Tre** - Dipartimento di Scienze Geologiche: Andrea Barbolla (2009-2011); Dipartimento di Fisica e Matematica: Prof.ssa Elena Pettinelli, Prof.ssa Elisabetta Mattei, Dott.ssa Barbara Cosciotti, Dott. Sebastian Lauro, dott. Angelo Monaco, dott. Marco Scozzafava (2019-2020);

- **Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN)** - Laboratori Nazionali di Frascati (RM);
Dott.ssa Antonella Balerna, Dott. Enrico Bernieri, Dott. Adolfo Esposito (1995-2000);
- **CNR - Istituto Inquinamento Atmosferico**: Dott.ssa Rosamaria Salvatori (2011); Dott. Giulio Esposito (2016-2020);
- **Volontari delle Sezioni del Club Alpino Italiano (CAI) e delle stazioni del Corpo Nazionale Soccorso Alpino e Speleologico (CNSAS)**: in particolare Luca Lombardi (CAI, sez. di Roma, 2005-2009), Mattia Pecci (CAI, sez. di Roma, 2012-2020), Tiziano Caira (CNSAS, staz. di Cassino, 2015-2020), Thomas Zanoner (Soccorso Alpino Trentino, staz. di Moena, 2007); Roberto Monsignori (ISA, CAI, sez. di Perugia, 2009) e Luca Ferretti (CAI, sez. di Perugia, 2009), Francesco Armiento (CAI, sez. di Roma, 2011); Pinuccio D'Aquila (CNSAS, staz. di Chieti, 2005-2020), Cristiano Iurisci (CAI, sez. di Lanciano, 2013-2015);
- Luca Antonini (geologo, Roma, 2012).

Anno	Coordinamento	Collaborazioni	Attività	Note
1993	Servizio Geologico Nazionale (SGN)	Unimi (Smiraglia) UniPescara (Ledonne)	1^ Partecipazione al CGI	Contatti e formazione
1994	SGN	Unimi (Smiraglia) Volontari CAI-CNSAS SGN (D'Orefice)	Posa delle prime paline (2,5 m)	Inizio rilievi nivo/glaciologici
1995	ISPESL (Istituto Superiore Prevenzione e Sicurezza del Lavoro)	Unimi (Smiraglia) SGN (D'Orefice)	Rilievi nivologici e glaciologici, creazione di archivio dati georeferenziati (GIS)	1° bilancio di massa 1994-1995
1996 1997	ISPESL	Unimi (Smiraglia) SGN (D'Orefice)	Rilievi nivologici e glaciologici	Bilanci di massa
1998	ISPESL	Unimi (Smiraglia) SGN SGN (D'Orefice) Volontari CAICNSAS	Rilievi nivologici e glaciologici	Bilanci di massa e installazione centralina meteo rif. Franchetti
1999 2000	ISPESL	Unimi (Smiraglia) SGN (D'Orefice) Unimi Bicocca (Maggi) UniChieti (D'Alessandro) Volontari CAI-CNSAS	Rilievi nivologici e glaciologici indagini geofisiche perforazione Glaciale superficiale	Bilanci di massa, GIS Calderone e rilievi georadar con individuazione spessore ghiacciaio, cartografia geomorfologica e glaciologica
Dal 2000 al 2005	ISPESL-IMONT (Istituto Nazionale della Montagna)	Unimi (Smiraglia) UnimiBicocca (Maggi, Bolzacchini) UniChieti (D'Alessandro)	Rilievi nivologici e glaciologici campionamenti analisi ambientali e d'inquinamento	Bilanci di massa con GIS. Rilievi chimica ambientale.
Dal 2005	IMONT-EIM (Ente Italiano Montagna)	UniPerugia (Buzzini, Cappelletti)	Rilievi nivologici e glaciologici	Bilanci di massa con GIS (Geodatabase e WebGis)

al 2010		Volontari CAI-CNSAS	campionamenti analisi ambientali e d'inquinamento. Rilievi GPS e Laser GPS per georeferenziazione del geodata base	del Calderone). Approfondimento su rilievi e cartografia geomorfologica. Rilievi chimica ambientale. Capisaldi GPS
Dal 2013 al 2019	PCM – Dipartimento Affari regionali e autonomie - CGI	Dal 2013: UniPerugia (Cappelletti, Federici); Volontari CGI, CAI-CNSAS (Caira, D'Aquila, Pecci Mattia) Dal 2019: UniRM3 (Pettinelli, Mattei, Cosciotti, Lauro, Monaco, Scozzafava) CETEMPS (Tuccella, Raparelli, Cimini, Boccabella, Di Fiore, UniRM1 (Marzano, Biscarini, Palermo)	Rilievi nivologici e glaciologici, campionamenti e analisi ambientali e d'inquinamento. Transizione, nel 2015, da rilievi tradizionali a rilievi geodetici (fotogrammetria terrestre e da drone)	Transizione da calcolo del bilancio di massa tradizionale a confronto di DTM di settembre (anno passato-anno in corso). Rilievi di chimica ambientale. Dal 2019: Rilievi georadar, analisi e modelli neteo-climatici, anche da piattaforme satellitari

Tab. 1 – Enti ed Istituzioni partecipanti, con i relativi ricercatori/operatori affiliati, ed attività di competenza.

Un ultimo, doveroso, cenno va fatto alla attenzione che è stata posta, in coordinamento con il Comitato Glaciologico Italiano, alla formazione e crescita di giovani ricercatori, al fine di rafforzare e mantenere la tradizione della ricerca glaciologica italiana anche sulle montagne dell'Appennino. A questo scopo è stato promosso un assegno di ricerca quadriennale nell'ultimo periodo di attività dell'Ente Italiano Montagna e, anche presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento per gli affari regionali e le autonomie a partire dal 2014 sono state attivate 2 convenzioni in collaborazione con l'Università degli Studi di Perugia per svolgere 2 specifici progetti di ricerca nel settore scientifico relativo alla Glaciologia ("SnowDust" e "CryoDust") incentrati sull'area di vetta del Gran Sasso d'Italia, che, fino al 2019, hanno permesso l'attivazione di assegni di ricerca per la crescita di giovani ricercatori specializzandi nella materia.

La monografia è corredata e completata da una corposa bibliografia che va oltre le dovereose citazioni e che, dato l'interesse storico e l'intento di condivisione delle informazioni e dei dati raccolti, è particolarmente arricchita nella cronistoria oggetto dell'Appendice 1.

Introduzione

Tutto ha il suo momento, e ogni evento ha il suo tempo sotto il cielo

Qoelet, 3 - 1

Agli inizi del secolo scorso, molto si è disputato sull'esistenza del ghiacciaio del Calderone, sino a quando Marinelli & Ricci (1916) non ne confermarono la natura glaciale; a più di un secolo di distanza, al contrario, molto si discute, ancora, nelle sempre più torride estati, soprattutto sul palcoscenico dei *media*, se il ghiacciaio del Calderone esista ancora come apparato, o meglio, fino a quando resisterà nel presente quadro di crisi climatica.

A dimostrazione e, allo stesso tempo, misura di quanto velocemente sia mutata la percezione del cambiamento del clima nell'arco di circa un secolo, vale la pena sottolineare come la discussione scientifica si sia spostata, dai dibattiti di inizio '900 (finita da pochi decenni la Piccola Età Glaciale) sulle caratteristiche minime per considerare una massa glaciale un vero e proprio ghiacciaio, alle attuali su quali siano i caratteri che permettono di considerare, ancora tale, un ghiacciaio (Smiraglia, 2018).

Anche se suddiviso in due placche di ghiaccio (*glacieret*) a partire dalla fine dello scorso millennio (Pecci *et al.*, 2001), e, quindi declassato nell'ultimo catasto nazionale (Smiraglia e Diolaiuti, 2015) nei due *glacieret Calderone Superiore* e *Calderone Inferiore*, il ghiacciaio del Calderone continua a mantenere il toponimo ed è ancora considerato il ghiacciaio più meridionale d'Italia e dell'area mediterranea a partire dalla fine della Piccola Età Glaciale-PEG - *Little Ice Age-LIA* - (Demangeot, 1965; Federici, 1979; Jourand, 1999; Giraudi, 2000 e 2002; D'Orefice et al. 2000; Pecci 2001 e 2006; Pecci *et al.*, 2001 e 2008).

Il ghiacciaio del Calderone, dunque, figurò a pieno titolo nell'*Elenco dei ghiacciai italiani* (Porro, 1925), nel *Catasto dei ghiacciai italiani* del Comitato Glaciologico Italiano (1962) e, a partire dal 1988, nel "World Glacier Inventory" (IHAS- UNEP-UNESCO, 1989).

Le osservazioni scientifiche degli ultimi 25 anni, più che gli scoop giornalistico/sensazionalistici, hanno già sentenziato, dall'anno idrologico 1999-2000 (Pecci *et al.*, 2001) il declassamento del ghiacciaio del Calderone a 2 placche di glacionevato

(*glacierets*) separati, quasi a metà della circo-vallone, dall'affioramento inequivocabile, nell'estate del 2000, di rocce calcaree montonate (Fig. 1).

Attualmente, dopo la suddivisione - e il conseguente declassamento dell'anno 2000 - il ghiacciaio del Calderone continua ad essere monitorato per l'elevato interesse scientifico e in quanto sensibile "antenna" della crisi climatica in atto e figura annualmente, con il toponimo originario di "ghiacciaio del Calderone", nelle relazioni delle campagne glaciologiche annuali del Comitato Glaciologico Italiano (vedi bibliografia e www.glaciologia.it), nei bollettini e nelle relazioni sulle fluttuazioni glaciali del *World Glacier Monitoring Service* (www.wgms.ch) e nel più recente "Nuovo Catasto dei ghiacciai Italiani" (Smiraglia, 2015).



Fig. 1 – Il ghiacciaio del Calderone nel luglio del 2001: veduta generale e particolare della fascia di rocce calcaree mtonate che, a partire dall'estate 2000, ne hanno interrotto la continuità e, conseguentemente, l'unitarietà.

Nei primi anni del monitoraggio venticinquennale, l'apparato è stato "utilizzato", con successo, non solo come oggetto di studio per metodologie e tecnologie specifiche, ma come vero e proprio "laboratorio naturale" per registrare e cercare di comprendere non solo le dinamiche, emergenti proprio in quegli anni, di un rapido riscaldamento dell'atmosfera, ma anche per cercare di decifrare il contributo e l'azione degli inquinanti di origine antropica rispetto alla qualità delle risorse idriche immagazzinate nel ghiaccio e rispetto all'accelerazione del processo stesso di fusione e, più in generale, dell'aria.

I risultati di tutti questi anni di monitoraggio sul terreno, di analisi dei dati, di interpretazione dei risultati e di modellazione degli scenari sono presentati nella monografia e supportati da una robusta bibliografia: ci si augura che non rappresentino l'atto finale, di certificazione della scomparsa di un ghiacciaio, ma la testimonianza dello sforzo di comprensione della comunità scientifica per poter decifrare i cambiamenti e le crisi e intervenire in senso positivo.

CAPITOLO 1

IL QUADRO TERRITORIALE

1.1 Caratteri geologici

Le caratteristiche geologico-strutturali hanno improntato in maniera significativa e indelebile l'assetto morfotettonico e, quindi, geomorfologico dell'intera area del gruppo montuoso del Gran Sasso d'Italia e, quindi, del ghiacciaio del Calderone, presente nella sua area di vetta. La catena, infatti, con la sua orientazione circa Est-Ovest, rappresenta un elemento di discontinuità nel generale sviluppo della catena appenninica, caratterizzato da una tipica orientazione NW-SE. In Fig. 2 è riportato uno sketch geo-litologico semplificato dell'area.



Fig. 2 - Sketch geo-litologico semplificato (ridisegnato da Pecci & Scarascia Mugnozza, 2007); con asterisco giallo è indicata la posizione del ghiacciaio del Calderone, al centro dello schema.

Come ampiamente illustrato e discusso nelle “Note illustrative della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000” (ISPRA, in stampa), l’edificio strutturale del Gran Sasso d’Italia è il risultato dell’azione e messa in posto di due imponenti sovrascorimenti (*thrusts*) dei più antichi litotipi carbonatici appartenenti all’Unità del Gran Sasso al di sopra delle più recenti unità marnoso-arenacee della Laga.

Questi eventi deformativi, riconducibili ad una evoluzione dinamica “*en enechelon*” (tradotto letteralmente dal francese “a gradinate”), hanno prodotto l’attuale struttura ad arco, che sembra riprodurre l’originario paleomargine della piattaforma carbonatica Laziale-Abruzzese, di età mesozoica, verso la zona di transizione rappresentata dal bacino Umbro-Marchigiano.

Nell’interpretazione di questo spettacolare ed evidente palcoscenico della storia naturale (non solo geologica) dell’Appennino Centrale, si sono cimentati numerosi Autori e Gruppi di ricerca, a partire dall’Illuminismo sino ai giorni nostri, e di essi è ricostruito un esaustivo quadro nelle già menzionate “Note illustrative della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000”. Nell’area del ghiacciaio del Calderone, che, come già detto, risulta essere “di vetta” del gruppo montuoso, avviene l’interferenza tra tutte le varie strutture tettoniche (Fig. 2).

I *thrust* principali sono tagliati da faglie dirette, che ribassano fortemente i blocchi meridionali della catena del Gran Sasso d’Italia. La coesistenza di strutture tettoniche tipiche di regimi deformativi diversi, pur se diacroni, è stata interpretata in vario modo:

- come riconducibile ad un modello di evoluzione dinamica del tipo “*thrust fuori sequenza*” (Ghisetti & Vezzani, 1990);
- come un’evidenza di una “tetonica di inversione” (Adamoli, 1992);
- come legata a faglie normali con geometrie sia a basso che ad alto angolo nella crosta e in accordo con il campo di stress preesistente, con un importante ruolo di controllo giocato dalla topografia sulla migrazione della fagliazione normale (D’Agostino *et al.*, 1999);
- come riconducibile a un sistema a *thrust* nel contesto di una propagazione della deformazione in sequenza su scala regionale, caratterizzata da attività sincrona di più strutture, con raccorciamento crescente verso SE, controllate da discontinuità preesistenti e nel più generale ambito di “ereditarietà” geologico strutturale (Calamita *et al.*, 2002);
- come evidenza di *thrust* frontali pliocenico-quaternari di significato litosferico, con elevazione strutturale e raccorciamento crostale massimi (Calamita *et al.*, 2006);

- come evidenza di un'architettura ad archi di tipo imbricato a “fan”, complicata da sistemi duplex di ordine minore (Patacca & Scandone, 2006).

Le fasi salienti deformative si sono susseguite a partire dal Miocene superiore (Messiniano) fino al Pliocene superiore (Adamoli, 1992).

A partire dal Pleistocene, la catena fu interessata da una tettonica distensiva, in parte con riattivazione di antiche faglie giurassiche, che ha controllato la formazione ed evoluzione del *semi-graben* di Campo Imperatore e delle strutture monoclinali dell'allineamento meridionale. L'attività tettonica, tuttora in corso, è testimoniata dall'attività sismica di tutto l'Appennino Centrale, dalle scarpate di faglia, dalla dislocazione di depositi continentali recenti e dalla re-incisione dei depositi che riempiono la depressione di Campo Imperatore; tra questi, sono abbondanti in affioramento i depositi di origine glaciale, organizzati anche in forma di archi e cordoni morenici, risalenti all'ultima fase di ritiro quaternaria dell'apparato glaciale di Campo Imperatore.

1.2 Caratteri geomorfologici

Il territorio di montagna in cui si è sviluppato il ghiacciaio del Calderone - che ha ospitato, anche, le sue pulsazioni, a seguito delle oscillazioni climatiche del Quaternario - rientra, interamente, nell'area di vetta del Gran Sasso d'Italia, che costituisce la culminazione della catena Appenninica, e, al tempo stesso, il suo “baricentro”.

Come già visto nel paragrafo precedente, questa area è posta in corrispondenza del fronte di sovrascorrimento della catena del Gran Sasso d'Italia che, essendo una catena montuosa di genesi recente (alla scala dei tempi geologici), presenta, principalmente, forme controllate dalla morfotettonica e dai processi legati alla criosfera; subordinatamente sono presenti forme legate alla gravità, allo scorrimento delle acque superficiali e ai fenomeni carsici, a causa della natura carbonatica del substrato.

Un esempio rappresentativo di questa evoluzione morfodinamica è rappresentato dall'altipiano di Campo Imperatore, che, compreso tra le quote di circa 1850 e 1450 m, delimita il bordo meridionale della catena, a poche centinaia di metri in linea d'aria dalla vetta del Corno Grande. Si tratta di un'estesa conca intramontana, che si è sviluppata durante la fase distensiva dell'orogenesi appenninica, riferibile, secondo Cavinato & De Celles (1999),

al Pleistocene inferiore, e che, durante il Quaternario è stata modellata dalla morfogenesi glaciale, che ha scolpito forme caratteristiche e ancora oggi perfettamente riconoscibili.

Solo successivamente al ritiro della grande lingua glaciale quaternaria – il più esteso apparato della catena appenninica, lungo fino a 11 km circa (come testimoniato dai depositi glaciali della morena frontale affioranti a Coppe Santo Stefano) e distribuito su oltre 22 km² (Ente Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga) - i fenomeni legati alla morfogenesi carsica nell'area di basso strutturale a drenaggio endoreico del “campo” così individuato, ne hanno permesso la strutturazione secondo un enorme *polje* (Demangeot, 1965).

Le indagini ed i rilievi sul terreno condotti nel corso dell'ultimo ventennio hanno permesso di completare il quadro delle conoscenze relative ai principali processi morfodinamici ed alle relative forme, pervenendo alla realizzazione della carta geomorfologica dell'area di vetta del Gran Sasso d'Italia, pubblicata in 2 monografie successive, la prima relativa al settore centro orientale (D'Alessandro *et al.*, 2003) e la seconda relativa a quello centro occidentale (Pecci & d'Aquila, 2011); di quest'ultima è riportato uno stralcio in Fig. 3.

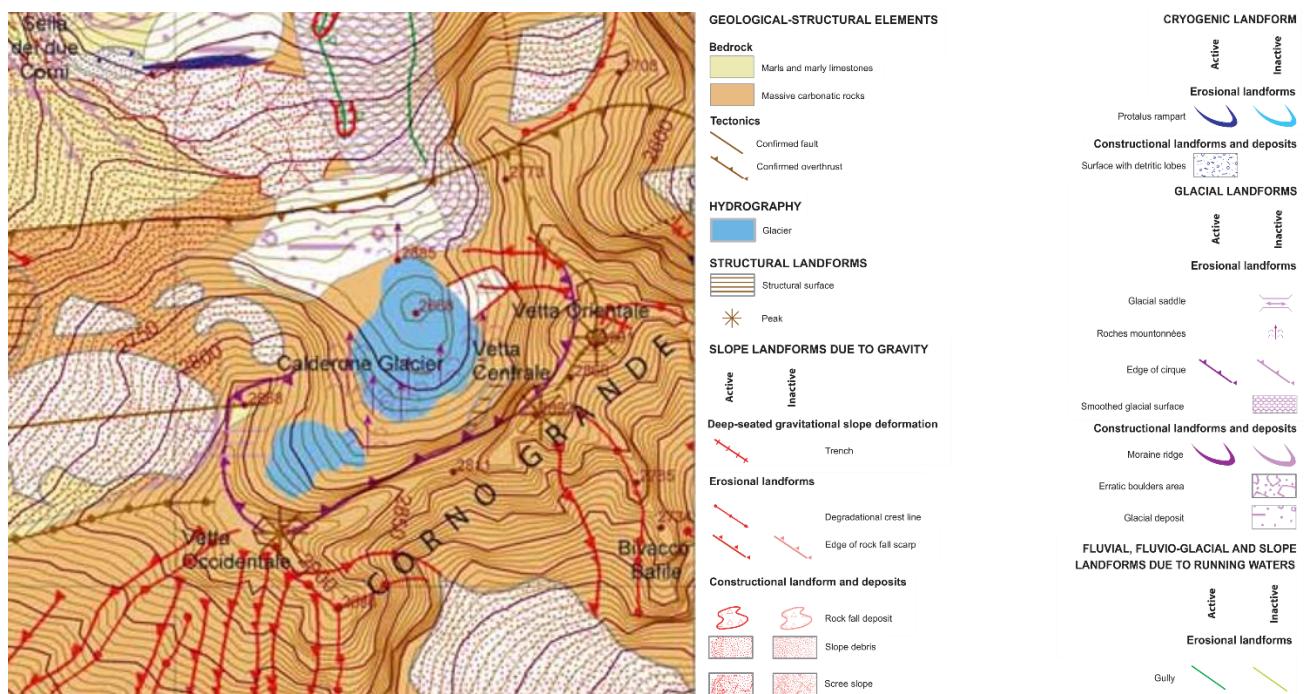


Fig. 3 – Stralcio di carta geomorfologica, ridisegnata da Pecci & d'Aquila (2011).

La fase interglaciale, seguita alla conclusione dell'ultimo massimo glaciale (UMG), risulta tutt'ora in corso e è stata caratterizzata da una fase di *optimum climaticum* che sta velocemente

lasciando il posto ad una fase di *crisi* climatica, caratterizzata da rapido innalzamento delle temperature medie.

Gli effetti della crisi climatica e della conseguente deglaciazione si stanno sempre più chiaramente evidenziando e affermando, nell'area di vetta del Gran Sasso d'Italia, come un chiaro esempio di ambiente e, quindi, di processo paraglaciale (*sensu* Ballantyne, 2002).

Questa fase paraglaciale è cominciata a rendersi evidente a partire dagli ultimi decenni del secolo scorso, a seguito della riduzione dell'apparato glaciale e della degradazione del permafrost (Dramis *et al.*, 2002; Pecci, 2006), con la promozione di fenomeni di instabilità confinati non solo e non più nell'ambito del detrito, ma anche generalizzati a più estesi versanti in roccia, di cui il fenomeno di crollo del Paretone del 22 agosto 2006 (Pecci & Scarascia Mugnozza, 2007) sembra rappresentare uno dei fenomeni precursori, anche se "ad alta visibilità ed impatto".

A questo fenomeno parossistico e alla progressiva riduzione dell'ambiente glaciale e periglaciale, si sono ulteriormente affiancati importanti fenomeni ad evoluzione rapida, rappresentati anche nello stralcio di Fig. 3, e ascrivibili principalmente a forme legate all'azione della gravità (*block toppling* - di ribaltamento di blocchi di roccia), all'azione delle acque dilavanti e correnti (*gully* - solchi concentrati di erosione) e a fenomeni del tipo colata rapida di detrito (*debris flow*) descritti e analizzati anche in Cappelletti *et al.* (2014), e, in alcuni casi, mai registrati prima d'ora nell'area; si tratta, in particolare:

- della progressiva riduzione e (già descritta) suddivisione dell'apparato glaciale in due placche, (Pecci *et al.*, 2001): la suddivisione, incipiente negli anni 1998-2000 e, poi, evidente a partire dal 2000, è stata anche accompagnata dalle variazioni dei nevai permanenti e dalla incipiente segregazione del ghiaccio sepolto, ormai separato dalla placca centrale dell'apparato al di sotto della morena frontale e laterale;
- della progressiva variazione nella distribuzione degli accumuli nevosi e della loro caratterizzazione, anche ai fini dei rischi ambientali (D'Orefice *et al.*, 1996; Pecci *et al.*, 1997; Pecci & Smiraglia, 2001; D'Alessandro & Pecci, 2001; De Sisti *et al.*, 2004; Pecci *et al.*, 2004; d'Aquila & Pecci, 2006; Pecci, 2007; Pecci, 2009a; Pecci *et al.*, 2009);

- della presenza del lago Sofia, piccolo bacino a carattere intermittente, segnalato con un diametro anche fino a 100 m (Tonini, 1961) e completamente scomparso a partire dal 1995 (Pecci *et al.*, 1997), per poi riapparire nel 2012, in forma estremamente rapida ed effimera (per meno di una settimana), a seguito di eventi di precipitazione concentrata con una dinamica di tipo “estremo” e legata a fenomeni di erosione e di frana (Cappelletti *et al.*, 2014);
- di evidenze di instabilità gravitativa di varia grandezza, secondo meccanismi di crollo con successivi spostamenti verso le depressioni morfologiche, che coinvolgono blocchi di varie dimensioni e che sono diffuse in tutte le aree di alta quota (Pecci, 2006; Pecci & Scarascia Mugnozza, 2007; Pecci & d'Aquila, 2011);
- di evidenze geomorfologiche di fenomeni di DGPV osservabili in corrispondenza delle creste più elevate del Corno Grande e del Corno Piccolo, laddove presenti superfici di discontinuità strutturale (Pecci, 2006; Pecci & D'Aquila, 2011);
- della distribuzione e variazione delle precipitazioni e del pattern delle temperature (Pecci & Smiraglia, 2006; Pecci & Scarascia Mugnozza, 2007; Pecci, 2009b).

Anche le valanghe di neve sono da annoverare tra i fenomeni ad evoluzione rapida caratteristici dell’alta quota del Gran Sasso, pur se limitati al solo periodo invernale (D’Alessandro & Pecci, 2001; De Sisti *et al.*, 2004; D’Aquila & Pecci, 2006); da sempre essi hanno un particolare impatto sulla frequentazione turistica ed alpinistica, in riferimento alle condizioni di rischio che si vengono a generare (Pecci & d’Aquila, 2010).

Infine, sul detrito affiorante nel settore inferiore del ghiacciaio, in sinistra idrografica e su ambedue i versanti dell’arco morenico latero-frontale (Fig. 4), sembra confermarsi un’effettiva transizione, almeno nei settori più distali, contenuti, però, in un ristretto ambito spaziale, dai tipici processi e forme glaciali a quelli periglaciali e paraglaciali così come osservato negli ultimi 15 anni (Pecci, 2006; Pecci, 2009; Pecci & Smiraglia, 2017) e messi in evidenza dal movimento del detrito per gravità, e di un generale, anche se lento collasso, di tutte le strutture originariamente a nucleo glaciale, verso il basso.



Fig. 4 - Confronto tra settembre 2002 e settembre 2019 dei depositi glaciali soggetti a trasporto per gravità. Sulla morena fronto-laterale, il generale effetto di collasso è reso più evidente dalla apparizione di nuovi blocchi, che, anche tenendo conto del diverso angolo di presa della foto, affiorano per asportazione del materiale più fine (Pecci, 2006b).

1.3 Elementi di idrogeologia e di geologia applicata

La costituzione geologica e l'assetto strutturale del Gran Sasso d'Italia, in quanto dorsale a composizione prevalentemente carbonatica, estesa per oltre 700 km², influenza in maniera determinante la dinamica idrogeologica dell'Italia Centrale, e, subordinatamente, il comportamento geologico-tecnico, in termini di stabilità dei versanti.

Dal punto di vista idrogeologico, lo studio del gruppo montuoso ha preso avvio sin dall'inizio del secolo scorso (Perrone, 1901), per concentrarsi, nell'ambito degli studi promossi, durante gli anni '60 (Monjoie, 1975) e negli anni '80 dalla Cassa per il Mezzogiorno, finalizzati a valutare la risorsa idrica disponibile nel nostro paese (Celico, 1983).

In quegli stessi anni, è stata, però, la realizzazione del Tunnel autostradale e dei laboratori sotterranei dell'INFN ad aver catalizzato l'interesse dei ricercatori e lo sforzo progettuale (vedi principalmente ANAS-COGEFAR, 1980). Negli anni successivi, ad opere realizzate, sono stati analizzati e descritti gli effetti della costruzione sull'acquifero e le modificazioni indotte sulla circolazione delle acque sotterranee, principalmente da Adamoli (1990), da Massoli-Novelli & Petitta (1997), da Farroni *et al.* (1999) e da Petitta & Tallini (2002). La dorsale carbonatica del Gran Sasso d'Italia, in particolare, nella zona di massima culminazione morfologico-topografica, già definita come "area di vetta", rappresenta l'idrostruttura più significativa, in quanto serbatoio idrico per l'Abruzzo e per il versante adriatico di questo settore della penisola: l'estensione e lo sviluppo verticale del Corno Grande, infatti, lo rendono una vera e propria "torre d'acqua" (*sensu* Hanspeter *et al.*, 1998), alimentata dalla

pressoché assenza totale di deflusso superficiale, controllato, a sua volta, dallo sviluppato sistema di faglie e di giunti di fratturazione, che favoriscono l'infiltrazione efficace delle acque meteoriche e di quelle di fusione delle nevi. La circolazione idrica che si genera a seguito dell'immagazzinamento delle acque di infiltrazione nella falda profonda (Pecci & Scarascia Mugnozza, 2007), con principali aree di ricarica nelle depressioni di alta quota di Campo Pericoli e, specialmente, di Campo Imperatore, viene condizionata dall'assetto strutturale dell'area, dai fenomeni carsici e dalle discontinuità tettoniche presenti nell'ammasso roccioso; tali discontinuità influenzano in maniera significativa la permeabilità dell'acquifero; le estese fasce cataclastiche che le caratterizzano, infatti, alternano generalizzati fenomeni di ri-cementazione, che limitano i travasi tra aree contigue, ed aree più permeabili, che, invece, favoriscono il deflusso sotterraneo.

Il recapito principale di quest'ultimo è rappresentato, principalmente, dalle sorgenti basali poste lungo il versante meridionale, nella zona dell'aquilano (Vera, Coppito, Tempera) e nella Valle del fiume Tirino (Capo d'Acqua e Presciano) e, ancora oltre, dalle importanti sorgenti di S. Calisto e di Capo Pescara (Popoli), mentre la porzione settentrionale del massiccio viene drenata principalmente dalle sorgenti del Ruzzo, di Chiarino, di Rio Arno e del Vitello d'Oro. In questo complesso schema di scorrimento naturale, di interesse e portata regionali, è andato ad interferire il drenaggio operato dal traforo autostradale dell'A25, che ha provocato, a partire dalla sua esecuzione, l'abbassamento del livello piezometrico della falda di circa 600 m (che, prima dell'esecuzione dei lavori, raggiungeva, nel settore più elevato della catena, la quota di 1600 m circa), con le conseguenti implicazioni sull'acquifero, che alimenta le sorgenti del Ruzzo e l'acquedotto del teramano. Il modello di circolazione proposto da Petitta & Tallini (2002) prevede che le acque intercettate in galleria, in quanto provenienti dalle aree di ricarica centrali e, in particolare, sommitali dell'acquifero, vadano a costituire il punto di partenza del flusso sotterraneo regionale, che si dirige dal centro verso la periferia del massiccio, prendendo in carico ed aumentando, in questo percorso, dal punto di vista idrochimico, sia il contenuto in sali disciolti, sia la temperatura. Si accenna solamente al fatto che sarebbe di grande interesse effettuare un approfondito studio con i traccianti al fine di determinare in maniera quantitativa il contributo delle acque di infiltrazione a seguito della fusione delle nevi e del ghiaccio. Infine, sono da segnalare piccole sorgenti in quota, per lo più attribuibili a modeste falde idriche sospese. Queste sorgenti sono, dunque, riconducibili a limitati

acquiferi costituiti dai depositi carbonatici, tamponati da livelli litologici meno permeabili, come quelli marnosi, distribuiti all'interno della successione stratigrafica, o da ricondursi alla presenza di depositi detritici cementati di copertura quaternaria.

Nello schema di Fig. 5 sono riportati i caratteri principali dell'idrostruttura (Di Sabatino *et al.*, 2005) e la localizzazione delle sorgenti principali, le cui acque sorgive sono, in qualche maniera, legate all'area di vetta del Gran Sasso d'Italia.



Fig. 5 – Schema idrogeologico dell'area di vetta del Gran sasso d'Italia, sorgenti principali e unità litologiche.

Il quadro idrogeologico non può essere completato senza un doveroso richiamo agli elementi di vulnerabilità dell'acquifero, che si sono manifestati, a partire dall'entrata in esercizio del traforo autostradale sino ad oggi, per effetto sia del traffico veicolare, sia delle attività sperimentali svolte all'interno dei laboratori INFN, che hanno portato, a partire dall'estate

2019, a pesanti limitazioni di traffico autostradale per superamento dei valori di concentrazione di alcuni inquinanti nelle acque di uso potabile, rilevata a valle della presa dell'Acquedotto, fino alla costa (città di Teramo compresa).

Quanto avvenuto, oltre a sottolineare l'esistenza di una problematica ambientale e di un uso delle risorse idriche ancora lontana dalla sostenibilità, ha mostrato la necessità di affrontare la tematica, da parte delle autorità competenti, in maniera multidisciplinare e coordinata, in primis, con la popolazione e con i portatori di interesse locali.

Da un punto di vista geologico-tecnico, l'area di vetta del Gran Sasso d'Italia è costituita, partendo dai settori basali del Corno Grande verso l'alto, dalle seguenti unità litotecniche (Pecci & Scarascia Mugnozza, 2007), suddivise secondo le caratteristiche litologiche e di fratturazione che le contraddistinguono:

- Unità litotecnica 1 (formazione delle marne con cerroga, individuata come depositi terrigeni in Fig. 5): marne e marne calcaree, caratterizzate da notevole fratturazione, riferibili a formazioni strutturalmente complesse (AGI, 1977), anche in relazione al comportamento idraulico. Sono state misurate (ANAS-COGEFAR, 1980) resistenze a compressione semplice comprese tra 30 e 80 MPa e moduli di deformabilità dell'ordine di 10 GPa.
- Unità litotecnica 2 (successione giurassico-miocenica rovesciata, *sensu* Calamita *et al.* (2002), individuata come successioni carbonatiche in Fig. 5): calcari, calcari marnosi e calcareniti più o meno fittamente stratificati e intensamente fratturati.
- Unità litotecnica 3 (calcare dolomitico, accorpati alle successioni carbonatiche in Fig. 5): calcari dolomitici e dolomie, in cui la matrice rocciosa è contraddistinta da elevata resistenza a compressione semplice, ma, allo stesso tempo, da elevata fratturazione, caratteristiche queste che conferiscono all'ammasso roccioso una deformabilità complessivamente superiore a quella dell'unità sovrastante.
- Unità litotecnica 4 (calcare massiccio, sub-unità del Corno Grande, *sensu* Adamoli (1992), accorpata alle successioni carbonatiche in Fig. 5): si tratta di oltre 1500 metri di spessore di calcari massivi, mediamente fratturati, con resistenza alla compressione semplice della matrice rocciosa elevata (circa 150 MPa) e modulo di deformabilità molto inferiore a quelli delle unità sottostanti (ANAS-COGEFAR, 1980).

Le unità 1 e 2 presentano caratteristiche di deformabilità più elevate e caratteristiche geomeccaniche decisamente più scadenti rispetto alle unità soprastanti (unità 3 e 4).

Da un punto di vista della stabilità dei versanti e dell’evoluzione dei fenomeni di dissesto, ne discende una maggior presenza di frane di crollo e ribaltamento nelle unità carbonatiche, contraddistinte da caratteristiche meccaniche migliori, di cui il crollo del 26 agosto 2006 è stato l’esempio più spettacolare e studiato (Pecci & Scarascia Mugnozza, 2007; AA.VV., 2007) negli ultimi anni, soprattutto per l’evoluzione a più lungo termine dell’intera parete Est del Corno Grande (il così detto “Paretone”), mentre nelle unità contraddistinte da caratteristiche meccaniche più scadenti prevalgono fenomeni ad evoluzione più lenta, ascrivibili agli scorrimenti e agli scivolamenti. Nelle zone di contatto tettonico tra unità carbonatiche e terrigene e di sovrascorrimento è frequente l’innesto e l’evoluzione di fenomeni di *creep* e di DGPV (Deformazioni Gravitative Profonde di Versante) che, in concomitanza di eventi meteorologici estremi e/o scosse sismiche, possono evolvere in maniera molto veloce ed anche parossistica. Gli eventi appena menzionati possono rappresentare, durante la stagione invernale e in presenza del manto nevoso, l’elemento scatenante di fenomeni valanghivi che possono avere effetti non solo sugli alpinisti, gli scialpinisti e gli appassionati di montagna, che sempre più frequentemente percorrono i pendii sommitali del Corno Grande e del Corno Piccolo, ma anche sulle strutture a valle, come nel caso della valanga del 18 gennaio 2017, che ha provocato danni, fortunatamente limitati alle strutture alberghiere, e nessuna vittima a Prati di Tivo, a differenza di quanto successo, nello stesso giorno, a Rigopiano, dove una valanga catastrofica ha distrutto un Albergo e causato 29 vittime presenti nella struttura.

Per una trattazione più approfondita sui fenomeni franosi si rimanda alla cartografia geomorfologica ed ai risultati del rilevamento geomorfologico applicativo riportati in Pecci & d’Aquila (2011) e, per quanto riguarda le valanghe, a quanto descritto in D’Alessandro & Pecci (2001), De Sisti *et al.* (2004) e in Pecci & D’Aquila (2011).

1.4 Inquadramento climatico

Il caratteristico andamento Est-Ovest della catena del Gran Sasso d’Italia, come visto al paragrafo 1.1, “fuori sequenza” rispetto al generale andamento delle creste appenniniche

peninsulari, determina una grande differenza fra le condizioni climatiche del versante meridionale rispetto a quello settentrionale.

La vicinanza in linea d'aria dei due mari (circa 140 km il Tirreno e circa 40 km l'Adriatico), l'energia del rilievo e l'imponenza del massiccio, la complessità della superficie topografica, articolata in conche, altipiani, creste e valloni e la presenza, a partire dal secolo scorso, del lago artificiale di Campotosto, favoriscono, soprattutto alle quote pedemontane, la genesi di microclimi locali (Pecci *et al.*, 1997), quasi mediterranei; questi risultano, in particolare, condizionati dall'azione mitigatrice dei grandi bacini di acqua, che agiscono mitigando le basse temperature dovute alle correnti fredde provenienti dai quadranti orientali e nord-orientali.

Alle più alte quote e, in particolare, in corrispondenza dell'area di vetta del Corno Grande, le caratteristiche orografiche propiziano condizioni climatiche tipiche dell'ambiente alpino con inverni lunghi e l'inizio della primavera ritardato dalla persistenza della neve al suolo. Dal punto di vista delle precipitazioni liquide, la piovosità è caratterizzata (Pecci, 2007) da una distribuzione bimodale, con massimo principale nel periodo primaverile e secondario nel periodo estivo, in particolare nel mese di agosto, in forte contrasto con quanto registrato nelle stazioni di misura poste più a valle, come, ad esempio quella di Pietracamela (1000 m s.l.m.), che vede il massimo principale di pioggia nella stagione autunnale e quello secondario nella stagione primaverile, manifestando una chiara tendenza alla diminuzione.

Una dinamica caratteristica che si è cominciata a manifestare, a partire dagli ultimi anni del secolo scorso, sono le precipitazioni concentrate nel tempo e nello spazio, spesso con connotazioni violente fino, addirittura, ad estreme: tra queste, quelle di metà settembre 2012, che hanno portato alla formazione, in poche ore, di un lago effimero nella depressione del ghiacciaio del Calderone, sono state analizzate con estremo dettaglio in Cappelletti *et al.* (2014). Si stima che tali precipitazioni abbiano raggiunto, in alta quota, nelle dodici ore mattutine del 14 settembre 2012, un picco (calcolato per difetto) di 52,1 mm, cui è corrisposto, nella stazione di Isola del Gran Sasso, ai piedi del massiccio, ad una quota di 420 m., una precipitazione giornaliera cumulata, per la medesima giornata, di 178,2 mm.

Alle alte quote, la copertura nevosa al suolo si mantiene per gran parte dell'anno, anche per 300 giorni, soprattutto sui versanti a Nord, dove dà luogo anche a nevai permanenti, come nel caso del nevaio del Rifugio "C. Franchetti" del C.A.I. o dei nevai periferici al ghiacciaio

del Calderone. In Fig. 6 è riportato l'andamento della neve al suolo, registrata nei 25 anni di osservazione sul ghiacciaio del Calderone, ad inizio della stagione di ablazione (solitamente prima decade di giugno) e del *firn* (neve trasformata estiva) a fine stagione di ablazione (solitamente metà settembre): dall'osservazione del grafico risulta bene evidenziata la quasi completa fusione, a fine stagione estiva, della neve di precipitazione invernale, registrata in diverse annate, in particolare nelle estati del 1996, dal 1998 al 2003, del 2006-2007, del 2009-2010, del 2012-2013 e del 2017.

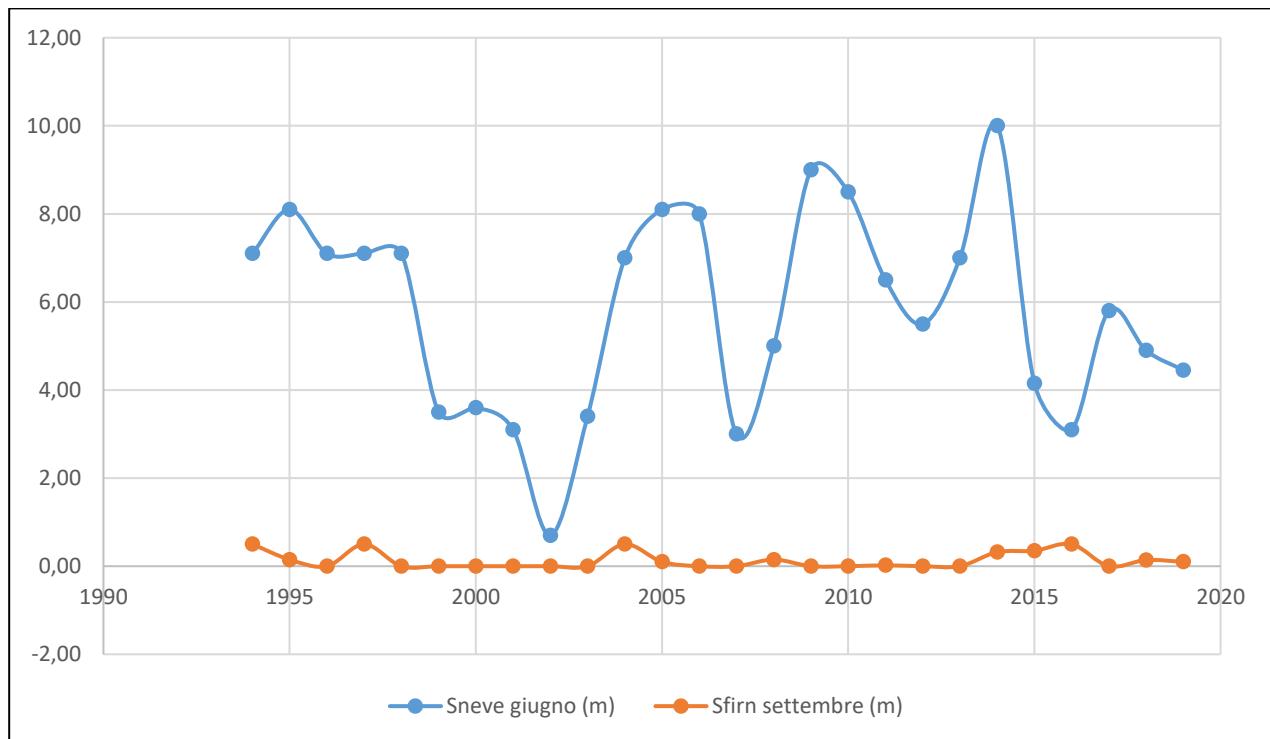


Fig. 6 – Spessore della neve e del firn (S) al suolo misurati all'inizio ed alla fine della stagione di ablazione (da fine maggio/inizio giugno a metà/fine settembre) sul ghiacciaio del Calderone nei 25 anni di osservazione; gli spessori (S) sono espressi in m.

La distribuzione delle temperature mensili medie nell'arco dell'anno registra, nell'alta quota (Pecci & Scarascia Mugnozza, 2007), la persistenza di un semestre freddo (anche se non continuativo), esteso, come durata, da novembre ad aprile, circa, e come valori estremi delle temperature negative che si spingono anche a diversi gradi al di sotto dello zero; a titolo di esempio si riportano i valori estremi registrati nel 2002 presso la stazione meteorologica installata al rifugio Franchetti dall'ISPESL¹ (in Pecci & Scarascia Mugnozza, 2007) che hanno

¹ (Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza sul Lavoro) stazione meteorologica automatica comprensiva di sensori di pressione atmosferica, T, UR, pioggia, spessore e T della neve, radiazione globale, direzione e velocità del vento, installata presso il Rifugio "Carlo Franchetti" del CAI-Roma ad una quota di 2433 metri s.l.m. e funzionante dall'estate del 1998

raggiunto una T minima pari a -13,23 °C il giorno 25/3/2002 ed una T massima pari a 15,13 °C il giorno 10/7/2002, nel periodo di riferimento di funzionamento continuativo intercorso dall'8 gennaio 2002 al 6 gennaio 2003, unico anno in cui la stazione ha garantito una continuità temporale di registrazione. In questo periodo la temperatura media annuale è stata pari a: $T = 1,71 \text{ } ^\circ\text{C}$.

In tempi più recenti, presso la stazione meteorologica automatica installata dall'Associazione AQ Caputfrigoris dell'Aquila (per le caratteristiche e i sensori funzionanti si veda: www.caputfrigoris.it), nell'anno 2019 si sono registrati i valori estremi di T pari a -16,2 °C e 21,4 °C, con una escursione termica massima annuale di 35,2 °C, di 7,3 °C superiore rispetto a quella registrata 17 anni prima ed una temperatura media annua di + 3 °C, di 1,3 °C circa superiore a quella registrata nel 2002-2003 (dati cortesemente forniti dall'Associazione AQ Caputfrigoris, che si ringrazia).

Per quanto riguarda i gradienti di temperatura, da osservazioni empiriche protratte nel lungo periodo storico (Plini & Napoli, 1992) è stato notato che per 100 m circa di dislivello la temperatura diminuisce mediamente di 0,3 °C circa nei versanti esposti a Sud e di 0,4 °C circa in quelli esposti a Nord durante l'inverno e rispettivamente di 0,7 °C circa e di 0,6 °C durante l'estate.

Per completare il quadro dei parametri atmosferici, i venti rappresentano, sicuramente, l'elemento dominante in questa zona e con la loro azione marcata contribuiscono a complicare il clima, promuovendo effetti locali non in accordo con la circolazione generale. Spirano da tutte le direzioni durante l'anno, con picchi di velocità massima spesso sopra i 160 km/h (Demangeot, 1965). Generalmente, da aprile fino a novembre, dominano i venti da Sud-Ovest, (quindi, di provenienza sub-atlantica), mentre durante l'inverno prevalgono quelli da Nord, Nord-Est (quindi, di provenienza adriatica).

Da un punto di vista climatico, il clima dell'area di studio può essere classificato come temperato freddo di alta montagna (Dfc, secondo Koppen, 1936), caratterizzato da uno spiccato regime legato ai venti, da un inverno lungo e freddo, con minime assolute dell'ordine di -25 °C e da brevi estati temperate, con massime dell'ordine di 20-25 °C.

all'estate del 2004, ma, purtroppo, non in maniera continuativa, a causa dei numerosi e prolungati danni provocati dalle bufere di vento e neve (dati concessi dall'Ente Parco del Gran Sasso e Monti della Laga).

Gli effetti del clima sull'alta quota sono evidenziati in maniera diretta e con risposta quasi-immediata (anche in termini di tempi di reazione) sulla criosfera globalmente intesa (ghiacciaio del Calderone, nevai e permafrost, *sensu* Pecci, 2009), che sembra confermarsi come un indicatore fedele della fase di generale riscaldamento che sta contraddistinguendo anche questo inizio di millennio dopo un ventennio finale decisamente "caldo" e che, allo stesso tempo, sta manifestando una veloce transizione verso l'ambiente paraglaciale, estremamente reattivo.

Il clima del Gran Sasso, in quanto più alta montagna dell'Italia peninsulare, influisce grandemente sulla diffusione, varietà e particolarità della vita in tutte le sue forme, flora soprattutto, ma anche fauna, contribuendo al mantenimento di specie rare, come la Stella Alpina appenninica (*Leontopodium nivale*), di numerosi endemismi appenninici, sia nell'ambito della flora, sia della fauna, e di alcuni relitti dell'ultimo massimo glaciale, come il Camedrio Alpino (*Dryas Octopetala*). Di fatto, il Gran Sasso d'Italia e la Maiella sono le uniche montagne a presentare un piano bioclimatico alpino caratterizzato da flora e vegetazione tipiche (Catonica & Manzi, s. a.). Tali caratteristiche floristiche e faunistiche uniche al mondo hanno contribuito, a fine anni '80 del secolo scorso, all'istituzione del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga.

Per ulteriori approfondimenti sulle tematiche ecologiche e di conservazione si rimanda al sito del Parco (www.gransassolagapark.it).

1.5 Lineamenti dell'ecosistema di alta quota del Gran Sasso d'Italia

L'alta quota glacializzata del Gran Sasso d'Italia, in particolare il circo (circo-vallone) in cui si sviluppa il ghiacciaio del Calderone, fino all'inizio del nuovo millennio sarebbe stato considerato, in compagnia degli altri ambienti permanentemente ghiacciati ed estremi della Terra, come l'Antartide, l'Artide e le più elevate aree glaciali montane, un territorio inospitale e privo di vita.

Invece, l'apparizione e la prorompente affermazione, in pochi lustri, dell'ambiente e del processo paraglaciale hanno comportato la liberazione dai ghiacci e dalle nevi perenni, almeno durante il semestre estivo, di porzioni di territorio in maniera via via maggiori e sempre più persistenti ed estese.

Queste aree, abbandonate dal ghiaccio, non solo hanno lasciato il campo libero, in senso geomorfologico, ad altri processi, ma hanno anche permesso la colonizzazione del terreno da parte di specie pioniere e, in ultima analisi, l'affermazione di nuovi ecosistemi.

A questo mutamento delle condizioni macroscopico-ambientali ha corrisposto, anche, la contemporanea conferma che alla scala microscopica l'ambiente glaciale veniva via via colonizzato da microrganismi, lieviti, in particolare, definiti psicrofili, cioè in grado di sopravvivere anche a temperature eccezionalmente negative e sul ghiaccio (Buzzini *et al.*, 2010 a e b) e tipici di ambienti estremi, ma anche, allo stesso tempo, di comunità batteriche, originarie del deserto e trasportate in alta quota, nel corso di eventi "sahariani", che si sono adattate alla vita su neve e ghiaccio, per lo meno nel periodo di ablazione (Montalbani *et al.*, 2014; Federici *et al.*, 2015), quando il sole è più alto sull'orizzonte e più caldo.

In queste stesse condizioni, a partire dal nuovo millennio, sono state anche registrate particolari "fioriture" algali (*algal bloom*), di colore dal rosso al vinaccia (Fig. 7), probabilmente riferibili agli stessi gruppi tassonomici riconosciuti sui ghiacciai alpini e segnalate in Di Mauro *et al.* (2020), con maggiore proliferazione in corrispondenza dell'equinozio, persistenti durante tutto il periodo di ablazione estiva.



Fig. 7 – Campionamento della fioritura algale presente il 13 settembre 2014.

Parimenti, sempre nel medesimo intervallo temporale, si è cominciata a registrare anche sulla superficie del ghiacciaio del Calderone la formazione e presenza delle tipiche conchette crioconitiche, in analogia con quanto avveniva anche sulle superfici glaciali delle Alpi

Per quanto riguarda l'ecosistema di alta quota, è di riferimento la Carta della Natura del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga – Note illustrative alla Carta degli Habitat alla scala 1:25.000, di recente pubblicazione (Bagnaia *et al.*, 2017), a cui si rimanda per ulteriori approfondimenti riguardanti il massiccio del Gran Sasso d'Italia.

Di essa si riporta uno stralcio in Fig. 8, dove sono rappresentate, con le lettere, i seguenti habitat:

- a) Ghiacciai e superfici costantemente innevate;
- b) Rupi basiche dei rilievi dell'Italia meridionale;
- c) Ghiaioni basici alpini del piano altimontano e subalpino;
- d) Praterie discontinue e scorticate dell'Appennino;
- e) Faggete acidofile e neutrofile dell'Appennino centro-settentrionale.

L'habitat "Ghiacciai e superfici costantemente innevate (cod. 63)", che nella cartografia corrisponde al circo del ghiacciaio del Calderone, viene delineato nella maniera seguente (Bagnaia *et al.*, 2017): "Ghiacciai e nevi perenni localizzate ad alte quote, caratteristiche del piano nivale. In particolari condizioni geomorfologiche (esposizione Nord e alte pareti che impediscono il soleggiamento) possono trovarsi anche al di sotto del limite delle nevi perenni. In diversi casi i ghiacciai si possono presentare ricoperti da coltri detritiche.

Sono inclusi in questa categoria i depositi morenici di detrito e ghiaccio con ghiaccio dominante. Possono essere abitati da alghe e invertebrati".

Regione biogeografica: alpina.

Piano altitudinale: nivale, localmente ed in particolari condizioni geomorfologiche, alpino.

Geoambienti: circhi, valli e vallecole glaciali; aree cacuminali sopra il limite delle nevi perenni.

Sintassonomia: vegetazione assente o estremamente limitata.

Specie guida: nessuna.

Relazioni con la nomenclatura EUNIS: coincide con H4 (*Snow or ice-dominated habitats*).

Relazioni con la nomenclatura Natura 2000: include 8340 (Ghiacciai permanenti)."

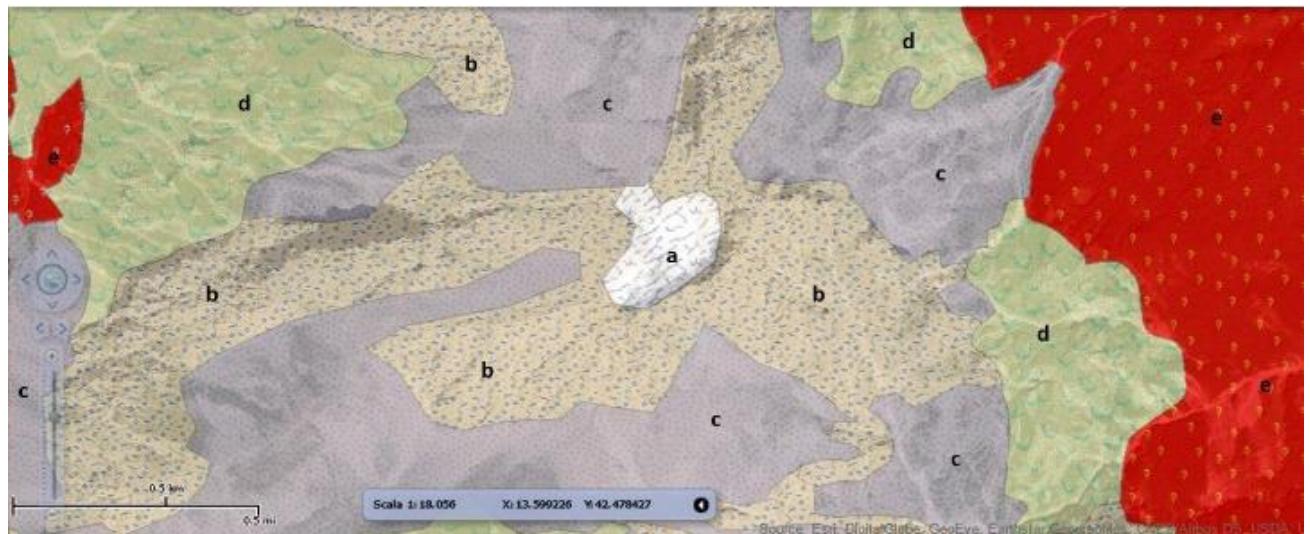


Fig. 8 – Stralcio, ridisegnato dalla Carta della Natura del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga – Note illustrative alla Carta degli Habitat alla scala 1:25.000 (Bagnaia *et al.*, 2017), centrato sul ghiacciaio del Calderone.

1.6 La dinamica del territorio ed i rischi naturali

La peculiare dinamicità del territorio di tutta la catena del Gran Sasso d’Italia e, in particolare, della sua area di vetta, è legata, da una parte, agli effetti dell’orogenesi appenninica, tutt’ora in corso, e dall’altra, alla ricerca di un equilibrio morfodinamico, non ancora raggiunto, venuto meno a seguito del ritiro dei grandi apparati glaciali quaternari che riempivano tutte le vallate e i “campi” di alta quota.

Ne è risultata, in prospettiva geologica, la progressiva affermazione, dal Tardoglaciale sino ad oggi (da circa 13.000 a circa 11.000 anni fa, in Italia, a seconda delle zone geografiche), di un ambiente e di un processo paraglaciale (*sensu* Ballantyne, 2002) attivo, che, attualmente, comporta la presenza di pendii montani in una condizione molto lontana dall’equilibrio, per effetto sia del ritiro glaciale, sia dell’energia del rilievo di derivazione orogenetica, maestosamente messa in evidenza dal “Paretone”, e di aree sub-pianeggianti fortemente in evoluzione, per effetto di una tettonica molto attiva e pervasiva.

Questa forte interazione, in un territorio fragile e particolare, ha prodotto, in un ambito territoriale ristretto e in pochi anni, gli eventi significativi di Tab. 2 e di Fig. 9, sia dal punto di vista ambientale, sia, in termini di rischio, per gli effetti sulla popolazione residente.

Data	Tipo fenomeno	Ubicazione	Interazione processi	Note
26/08/2006	Frana di crollo	Pareto (parete NE anticima Vetta orientale)	Gravitivo Paraglaciale (degradazione del permafrost) predisponente,	Volume distaccato stimato in circa 30.000 m ³ (Pecci & Scarascia Mugnozza, 2007). Nessun ferito e danni gravi al bosco, limitati per il resto (chiusura temporanea A24)
06/04/2009	Terremoto	L'Aquila e Italia centrale appenninica	Tettonico/strutturale	309 vittime, oltre 1.600 feriti e oltre 10 miliardi euro di danni (it.wikipwdia.org)
18/03/2011	Frana di crollo-mista	Pietracamela (TE)	Gravitativo, tettonico (predisponente)	Volume coinvolto di circa 10.000 m ³ (Il Centro 22/03/2011)
18/01/2017	Valanga	Rigopiano (PE)	Gravitativo, componente tettonica?	29 vittime (it.wikipwdia.org)
18/01/2017	Valanga	Prati di Tivo (TE)	Gravitativo, componente tettonica?	Danni alle strutture alberghiere

Tab. 2 – Principali fenomeni che hanno generato condizioni di rischio naturale, occorsi nel nuovo millennio.

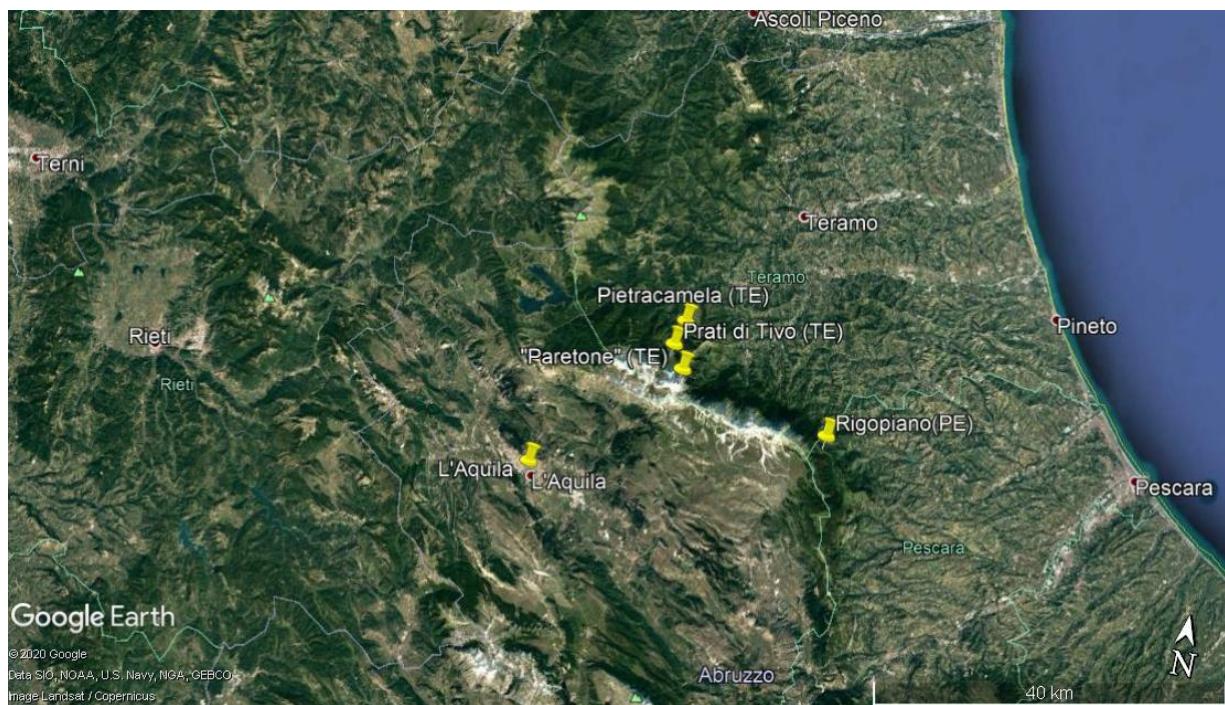


Fig. 9 – Ubicazione dei principali fenomeni che hanno generato condizioni di rischio naturale occorsi nel nuovo millennio, rispetto alla catena del Gran Sasso d'Italia, caratterizzata da un caratteristico andamento circa Est-Ovest (Base cartografica: immagine Google Earth).

Per una descrizione ed una trattazione approfondita degli stessi, si rimanda alla bibliografia citata; sicuramente è importante sottolineare la profonda ed intima correlazione ed interazione tra processo paraglaciale e dinamica tettonico-strutturale alla base dell’evoluzione parossistica comune, che, nel futuro, non potrà che esprimersi, ancora una volta, in tutti le situazioni caratterizzate da equilibrio prossimo al limite.

È importante chiarire che queste, nella quasi totalità dei casi, sono tipicamente ubicate in alta quota e in aree remote, ma, in caso di evoluzione parossistica, potrebbero riuscire a far giungere gli effetti, potenzialmente disastrosi, anche in aree caratterizzate dalla presenza e/o dall’attività umana, come i fatti di cronaca recente hanno dimostrato, in particolare a carico di turisti ed alpinisti, sia nel periodo estivo, che invernale.

Come ricordato al paragrafo 1.2, il ritiro delle lingue glaciali, a partire dall’ultimo massimo glaciale, ed il successivo confinamento degli apparati glaciali all’interno dei circhi ha consentito l’instaurarsi, nelle aree liberate dai ghiacci, inizialmente delle forme tipiche dei processi crionivali, quali rilevanti nivomorene, *rock glaciers*, nicchie di nivazione, canaloni di valanga e forme di criosoliflusso, accompagnato dalla crescente produzione di gelifratti, che hanno alimentato le falde di detrito poste alle basi delle pareti rocciose ed i coni allo sbocco dei canaloni in roccia. I processi gravitativi, oltre alle falde ed ai coni di detrito, hanno interessato i versanti in roccia, con frane di scorrimento e di crollo, che si sono manifestate in maniera diversa a seconda delle condizioni strutturali, giaciturali, litologiche e di acclività del versante.

Il territorio ha, quindi, risposto con una propria inerzia al mutare delle condizioni al contorno; di conseguenza i maggiori cambiamenti legati alla fine dell’età glaciale hanno iniziato a mostrare i propri effetti solo successivamente. I tempi di risposta di un processo o di un ambiente morfo-climatico dipendono in buona parte dalla sua massa e, di conseguenza, dalla sua estensione: la conoscenza della morfodinamica d’alta quota risulta particolarmente importante per la comprensione dei delicati equilibri climatici e di fondamentale importanza per cogliere eventuali segnali di rischio incipiente sul territorio, oltre che fornire importanti dati per la comprensione delle oscillazioni climatiche.

AREA DEL CALDERONE

Tutta l’area di interesse, sia lungo le pareti, in roccia, sia sul detrito, mostra i segni evidenti di movimenti gravitativi, legati anche in questo caso, rispettivamente, a dinamiche di crollo

e/o ribaltamento e *debris-flow*, che sembrano, quindi, indicare una diretta implicazione della deglaciazione e della degradazione del permafrost (Dramis & Kotarba, 1994; Dramis *et al.*, 2003) nell’evoluzione dei versanti, siano essi costituiti in roccia o in detrito.

Questo fenomeno è particolarmente evidente sul detrito affiorante nel settore inferiore, in sinistra idrografica e su ambedue i versanti dell’arco morenico fronto-laterale e sembra confermare un’effettiva transizione, almeno nei settori più distali, contenuti, però, in un ristretto ambito spaziale, dai tipici processi e forme glaciali a quelli periglaciali e paraglaciali (Fig. 4).

In particolare, l’incipiente transizione ad un sistema paraglaciale attivo e ben articolato è testimoniata, infatti, dall’evoluzione dei versanti rocciosi del circo glaciale che, a fronte delle numerose e interessanti testimonianze fotografiche, in particolare Marinelli & Ricci (1916), sono stati sede di un veloce abbassamento dello spessore di ghiaccio, che recenti studi (D’Orefice *et al.*, 2000) hanno valutato, nel secolo scorso, fino a un massimo di 70 metri.

Il rilascio tensionale a carico delle rocce, seguito all’abbassamento del ghiacciaio, ha provocato diffusi fenomeni di crollo e di ribaltamento e, almeno di recente, una frana più significativa che ha causato il distacco e il successivo accumulo nella parte centrale del ghiacciaio di un grosso masso con ancora segnato il numero dell’itinerario, che in origine percorreva la cresta soprastante (Pecci, 2006).

1.7 Il territorio ed il Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga

Il territorio del Parco del Gran Sasso e dei Monti della Laga (Fig. 10), in posizione baricentrica rispetto al dipanarsi meridiano degli Appennini, si estende su un’area di circa 1.500 km², ha il suo perno nella massima elevazione della catena, in un ambiente e in un paesaggio tipicamente di alta montagna e, per molti versi, di tipo “dolomitico” con presenza, nelle zone sommitali, di rocce carbonatiche che sviluppano pareti estese lateralmente anche per molti km e con sviluppo verticale notevole, che, nel caso della parete NE della Vetta orientale del Corno Grande (il “Paretone”), raggiunge i 2 km di sviluppo verticale.

Il settore orientale è costituito dai contrafforti della catena che si incontrano, provenendo dal Mare Adriatico, solo poche decine di chilometri in linea d’aria (tra circa i 25 e i 40 km, a

seconda dell'ubicazione delle cime considerate) dalla linea di costa, mentre quello occidentale confina con le valli, le conche intramontane e i gruppi dell'Appennino più interno.

Il territorio del Parco contiene, all'interno del suo perimetro, tre gruppi montuosi principali:

- il Massiccio del Gran Sasso d'Italia, culminante con il Corno Grande, 2912 m s.l.m.;
- i Monti della Laga, con massima elevazione il Monte Gorzano, 2458 m s.l.m.;
- i Monti Gemelli (Montagna dei Fiori e di Campli), culminante con il M. Girella, 1814 m.

Nel territorio del Parco sono presenti i seguenti Tipi di Paesaggio (Bagnaia *et al.*, 2017):

- Montagne carbonatiche (Gran Sasso d'Italia, Monti Gemelli, il Montagnone);
- Montagne terrigene (Monti della Laga);
- Altopiani intramontani (Campo Imperatore e Campo Pericoli);
- Conca intermontana (Conca di Amatrice, Conca del Tirino);
- Colline terrigene (Colline pedemontane del Gran Sasso d'Italia);
- Lago (Lago di Campotosto).

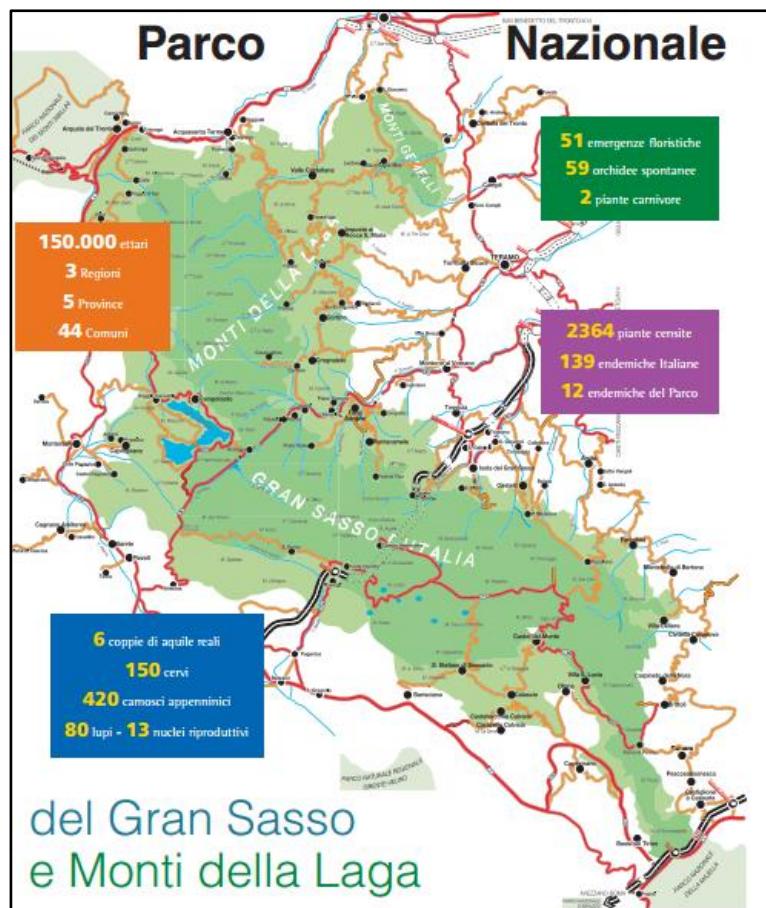


Fig. 10 – Carta del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga, tratta da www.gransassolagapark.it.

Le quote variano dai circa 200 metri, punto più depresso topograficamente, in corrispondenza delle Gole di Popoli, fino alla sommità dei 2912 m s.l.m. del Corno Grande, vetta più elevata della catena appenninica, con il territorio che si sviluppa prevalentemente in ambito montano: l'82% del Parco si estende al di sopra dei 900 metri di quota (limite superiore indicativo per il paesaggio collinare), ed il 5,6% al di sopra dei 2000 metri, con una quota media di 1555 m s.l.m. (www.gransassolagapark.it).

Alla gestione di un territorio così particolare e, allo stesso tempo, così fragile, provvede il Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga (www.gransassolagapark.it), che è stato istituito con la Legge 6 dicembre 1991, n. 394 - "Legge Quadro sulle Aree Protette".

Con Decreto del Presidente della Repubblica in data 5 giugno 1995 è stato istituito l'Ente Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga, è stata definita la perimetrazione attuale e sono state stabilite e, in apposito allegato, le misure di salvaguardia per le due zone 1 e 2.

Attualmente, il Parco (Fig. 10) è esteso sul territorio di tre Regioni (Abruzzo, Lazio e Marche), di cinque Province (L'Aquila, Teramo, Pescara, Ascoli Piceno e Rieti) e dei seguenti 44 Comuni:

- in provincia dell'Aquila: Barete, Barisciano, Cagnano Amiterno, Calascio, Campotosto, Capestrano, Capitignano, Carapelle Calvisio, Castel del Monte, Castelvecchio Calvisio, L'Aquila, Montereale, Ofena, Pizzoli, Santo Stefano di Sessanio, Villa Santa Lucia degli Abruzzi;
- in provincia di Teramo: Arsita, Campli, Castelli, Civitella del Tronto, Cortino, Crognaleto, Fano Adriano, Isola del Gran Sasso d'Italia, Montorio al Vomano, Pietracamela, Rocca Santa Maria, Torricella Sicura, Tossicia, Valle Castellana;
- in provincia di Pescara: Brittoli, Bussi sul Tirino, Carpineto della Nora, Castiglione a Casauria, Civitella Casanova, Corvara, Farindola, Montebello di Bertona, Pescosansonesco, Villa Celiera;
- in provincia di Rieti: Accumoli, Amatrice;
- in provincia di Ascoli Piceno: Acquasanta Terme, Arquata del Tronto.

Il territorio è organizzato, inoltre, nei seguenti 11 Distretti ambientali, turistico-culturali del Parco:

1. Tra i Due Regni
2. Cascate e Boschi

3. Strada Maestra
4. Valle Siciliana
5. Grandi Abbazie
6. Valle del Tirino
7. Terre della Baronia
8. Alte Vette
9. Alta Valle Aterno
10. Sorgenti del Tronto
11. Via del Sale

Con i suoi nove centri direzionali, la rete dei Musei e dei Centri visita, il Parco è impegnato nella cura e nella tutela del territorio come nella valorizzazione del patrimonio antropologico. Di seguito sono riportati alcuni numeri (www.gransassolagapark.it), che rendono conto della ricchezza naturalistica del Parco:

- 51 emergenze floristiche,
- 59 orchidee spontanee,
- 2 piante carnivore,
- 2651 piante censite,
- 139 piante endemiche italiane,
- 12 piante endemiche del Parco,
- 11 coppie di aquile reali,
- 500 cervi,
- 1000 camosci appenninici,
- 120 lupi (20 nuclei riproduttivi).

Nel 2001, la sede istituzionale ed amministrativa del Parco è stata trasferita, dalla prima ubicazione nel centro storico dell'Aquila, ad Assergi (AQ), nel trecentesco ex convento francescano del quale lo stesso Ente ha curato il restauro grazie a un cofinanziamento della Regione Abruzzo. Contemporaneamente, il territorio protetto è stato suddiviso in undici distretti, dai confini puramente virtuali, ma utili per una efficace programmazione di opere di infrastrutturazione e per la pianificazione degli interventi, che da allora si sono susseguiti.

Il Parco è punto di riferimento non solo amministrativo e per le azioni di tutela, ma anche per tutte le attività che intendono promuovere lo sviluppo sostenibile e le attività formativa all'interno del suo territorio.

1.8 La presenza e le attività dell'uomo

Il massiccio del Gran Sasso d'Italia, ed in particolare la sua culminazione, che si materializza con il Corno Grande, ha attratto da sempre lo sguardo e l'interesse umano; nelle zone circostanti, a più bassa quota, è stata documentata la presenza dell'uomo, con la specie *Homo neanderthalensis*, sin da 80.000-100.000 anni fa (https://it.wikipedia.org/wiki/Gran_Sasso) e poi, in maniera quasi continua, fino all'epoca storica.

Le prime testimonianze scritte risalgono al periodo romano; risulta, infatti, che i romani lo indicassero con il nome di *Fiscellus Mons* (Monte Ombelico); nel Medioevo, con il nome di Monte Corno, si indicava la sommità e, allo stesso tempo, l'intera catena (consuetudine rimasta viva, ancora oggi, tra gli abitanti del luogo); soltanto a partire dal Rinascimento, comincia ad essere introdotto il nome di Gran Sasso, e, nella seconda metà del XVIII secolo, c'è il riferimento preciso del primo documento in cui entrambe le denominazioni compaiono ("Carta topografica del Contado e della diocesi dell'Aquila"), con l'indicazione "Monte Corno overo Gran Sasso d'Italia" (https://it.wikipedia.org/wiki/Gran_Sasso).

Il passaggio storico e culturale che ha portato l'uomo, dalla visione e contemplazione della "pericolosa montagna" alla sua scoperta, si preannuncia, come per quasi tutti gli altri campi dell'attività umana, durante il Rinascimento, ma avviene praticamente, dopo un paio di secoli di "maturazione", nell'Illuminismo. Le alte vette del Gran Sasso d'Italia rimangono, ancora per i lunghi anni della Piccola Età Glaciale², luoghi inhospitali e ricoperti di nevi perenni, come ben descritto, in versi, dal Pontano (1553):

...Est praecutinis in montibus horrida cautes,

² Piccola Età Glaciale (PEG) - ingl. Little Ice Age (LIA): periodo della storia climatica della Terra che, pur con una non totale convergenza degli studi, può essere considerata come una Fase stadiale dell'attuale periodo interglaciale. È stata caratterizzata da un raffreddamento dell'atmosfera nell'emisfero Settentrionale, con temperature medie che si sono abbassate di circa 1 °C tra la seconda parte del XV e la prima parte del XIX secolo.

Indigenae vocitant Cornu de vertice cuius

Manat aquae gelidus per saxa rigentia torrens...

...Tra le montagne Precutine è presente una cima severa,
che i locali chiamano Corno, dalla cui sommità
sgorga da blocchi di ghiaccio un torrente di acqua gelida...

La prima salita alla vetta, ad opera del capitano bolognese Francesco De Marchi, effettuata dal versante aquilano, il 19 agosto del 1573, è, infatti, da considerare - a tutti gli effetti - come antesignana delle grandi salite di conquista ed esplorazione scientifica delle Alpi di età illuministica. A fine Settecento, con la salita di Orazio Delfico (Delfico, 1796) dal versante teramano, il 30 luglio del 1794, la storia alpinistica ed esplorativo-scientifica della "conquista" del Gran Sasso può essere considerata conclusa, in quanto realizzata da entrambi i versanti, quello Aquilano, dal De Marchi, e quello Teramano, dal Delfico, proprio nel momento in cui cominciava, sulle Alpi, l'epopea delle scalate dei maestosi ed innevati Quattromila.

Un approfondimento sull'attività di esplorazione scientifica ed alpinistica sarà presentato nel Capitolo 2.

Nel XIX e nella prima metà del XX secolo la presenza dell'uomo continua a rimanere temporanea e praticamente solo diurna sulla montagna, in quanto direttamente legata alla esplorazione e successiva frequentazione alpinistica.

In Grazzini & Abbate, 1992, vengono individuati i seguenti intervalli temporali, contraddistinti dai relativi profili umani caratteristici, per l'approfondimento dei quali si rimanda ad una lettura della Guida:

- 1875-1886: gli Alpinisti
- 1887-1900: i Pionieri
- 1900-1929: i Vagabondi senza guida
- Anni '30: Aquilotti e Aquilani
- 1946-1966: Alpinisti cittadini, il primo Rinascimento

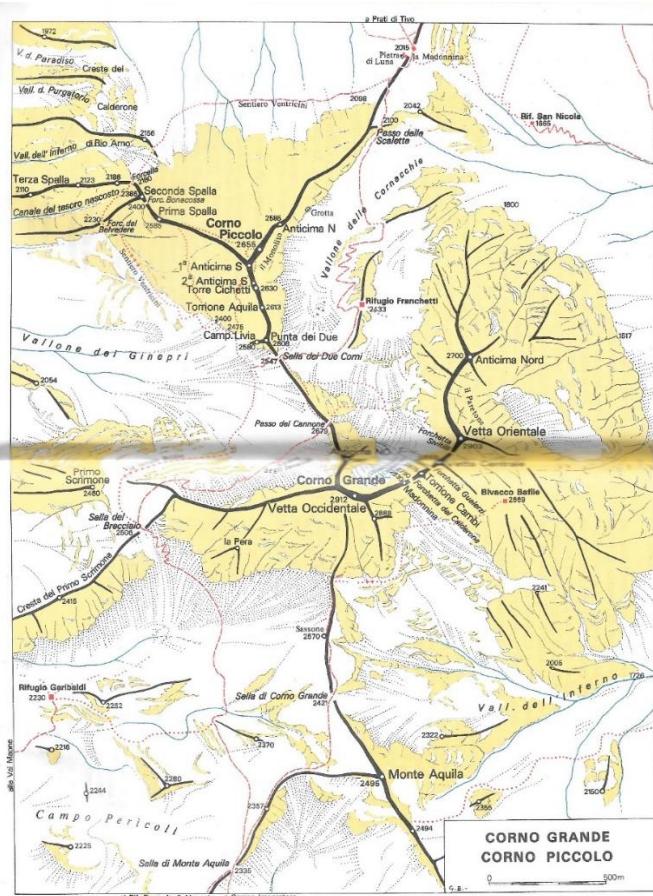
È senz'altro doveroso fare riferimento alla fondazione di un gruppo di alpinisti giovanissimi denominato "Aquilotti del Gran Sasso", avvenuta nel 1925, da parte del medico Ernesto Sivitilli. Il gruppo, di cui egli stesso era, oltre che fondatore, ispiratore e guida, era animato

da finalità educative e sportive e anticipava, di molti anni, la creazione dei principali gruppi ed associazioni di alpinisti non professionisti, come gli "Scoiattoli" di Cortina (1° luglio 1939) o i "Ragni" di Lecco (1946).

Nel campo naturalistico-escursionistico-culturale è degna di menzione la pubblicazione della prima Carta topografica dei sentieri, ad opera di Frietzche (1887), alla scala 1.80.000, con un riquadro di dettaglio, dell'area sommitale alla scala 1:25.000.

Nel primo dopoguerra avviene il vero e proprio cambiamento di paradigma, con il passaggio da una frequentazione giornaliero/diurna dell'uomo ad una presenza costante, nell'area di vetta, anche se limitata ai mesi centrali della stagione estiva (giugno-settembre), con la costruzione del rifugio "Carlo Franchetti", ad opera della Sezione di Roma del C.A.I. (Club Alpino Italiano).

Edificato nel 1959 ed inaugurato il 2 ottobre del 1960, il rifugio è ubicato ad una quota di 2433 m s.l.m. (Fig. 11) su di uno sperone calcareo (roccia mordonata, scolpita ad opera del ghiacciaio Quaternario) che divide in due, in prossimità della parte più alta, il Vallone delle Cornacchie; è stato dedicato al barone Carlo Franchetti, alpinista e speleologo.



Di seguito, in Tab. 3, è riportato l'elenco delle vette che racchiudono il circo-vallone del ghiacciaio del Calderone, tutte con altezza superiore ai 2700, di maggior interesse storico-alpinistico fino al primo dopoguerra del millennio scorso.

Quest'area è tornata ad essere frequentata, con una certa costanza e a ritmo annuale, a partire dal 1994, con la ripresa delle attività di monitoraggio, nell'ambito delle campagne del Comitato Glaciologico Italiano, descritte nel presente lavoro e tutt'ora in corso.

Nome	Altezza (m s.l.m.)	Note
Corno Grande, Vetta Occidentale	2912	Vetta principale del massiccio
Corno Grande, Vetta Orientale	2903	Sommità del Paretone, sovrasta la piana di Teramo
Corno Grande, Vetta Centrale	2893	
Corno Grande, Torrione Cambi	2875	In memoria di Mario Cambi, morto in un tentativo invernale (1929)
Corno Grande, Vetta Occidentale, Anticima NO	2867	
Punta Loretta	2850	
La Madonnina	2830	Detta anche Punta Sivitilli
Piccolo Campanile della Forchetta	2780	
Corno Grande, Vetta Orientale, Anticima Nord	2700	Punto di presa storico delle foto panoramiche del ghiacciaio

Tab. 3 – Principali cime dell'area di vetta del Gran Sasso d'Italia, che racchiudono la conca del ghiacciaio del Calderone (Grazzini & Abbate, 1992) tra le creste N e NE della Vetta Occidentale.

CAPITOLO 2

STUDI PRECEDENTI E RICERCHE D'ARCHIVIO

La ricerca bibliografica, iconografica e delle fonti scritte riguardo al ghiacciaio del Calderone e, più in generale, dell'area di vetta del Gran Sasso d'Italia, ha costituito “una ricerca nella ricerca” e sicuramente potrebbe essere considerata come un filone a sé stante, data la ricchezza, varietà e complessità dei materiali disponibili, che attraversa, come si è visto, circa cinque secoli di storia, a partire dalla data della prima salita al Corno Grande.

Essa ha comportato una certosina e paziente opera di visione, analisi, revisione, vaglio ed eventuale riproduzione dei fondi e dei documenti disponibili presso i due archivi principali della regione Abruzzo; si tratta dell'archivio ospitato presso la Biblioteca provinciale dell'Aquila “Salvatore Tommasi” (ospitato, al tempo delle ricerche, presso il Liceo Ginnasiale della città, a Piazza del Convitto), oltre all'Archivio di Stato di L'Aquila³, e della Biblioteca “Melchiorre Delfico” di Teramo (ospitata presso il Real Liceo di Teramo).

Questi archivi principali si sono rivelati degli scrigni preziosi, che raccolgono, spesso con documenti originali, una lunga narrazione della storia naturale, articolata su un lungo arco di tempo, cui è corrisposta, in termini di ricerca di archivio, una frequentazione ed una raccolta di notizie e di documenti (per i più antichi con traduzioni anche dal latino o interpretazione dalla neonata lingua italiana) dalla seconda metà degli anni '90 fino ai primi anni del nuovo millennio.

2.1 Ricerche iconografiche

L'iconografia del Gran Sasso, in generale, è molto ricca, proprio a causa della pluricentenaria frequentazione, di cui si è già trattato e un repertorio aggiornato e completo è riportato, per i secoli XVI-XX in Di Eleonora *et al.*, (2012).

³ Dopo il sisma del 6 aprile del 2009, a causa dei danni subiti ad entrambi gli edifici, i due archivi sono stati trasferiti nelle nuove sedi di Bazzano.

Per quanto riguarda il ghiacciaio, invece, le testimonianze cominciano a partire dalla seconda metà del XIX secolo, proprio in concomitanza con la conclusione della Piccola Età Glaciale che, quindi, contrassegna una maggiore facilità di penetrazione verso le alte vette (a causa del ritiro verso le quote più elevate del gelo perenne), e, parallelamente, con l'avvento dei pittori naturalisti e dei disegnatori scientifici prima, e dei fotografi, successivamente, al volgere del secolo.

Non volendo e non potendo esaurire tutta la materia, che peraltro necessiterebbe di presentare le produzioni iconografiche - schizzi, studi, quadri, affreschi -, ci si limiterà a presentare l'iconografia che ha accompagnato le relazioni delle prime due salite alla sommità del massiccio - una per ciascun versante - e a presentare, con i pittori Edward Lear e Enrico Coleman, il lascito della pittura, quasi una sorte di canto del cigno, a supporto della descrizione dell'area di vetta del Gran Sasso d'Italia, ghiacciaio del Calderone compreso, immediatamente prima dell'affermazione della nuova arte della fotografia.

L'inizio della produzione iconografica può collocarsi nel 1573, con lo schizzo che accompagna la descrizione della prima salita del Capitano Francesco de Marchi, riprodotto in Fig. 12.

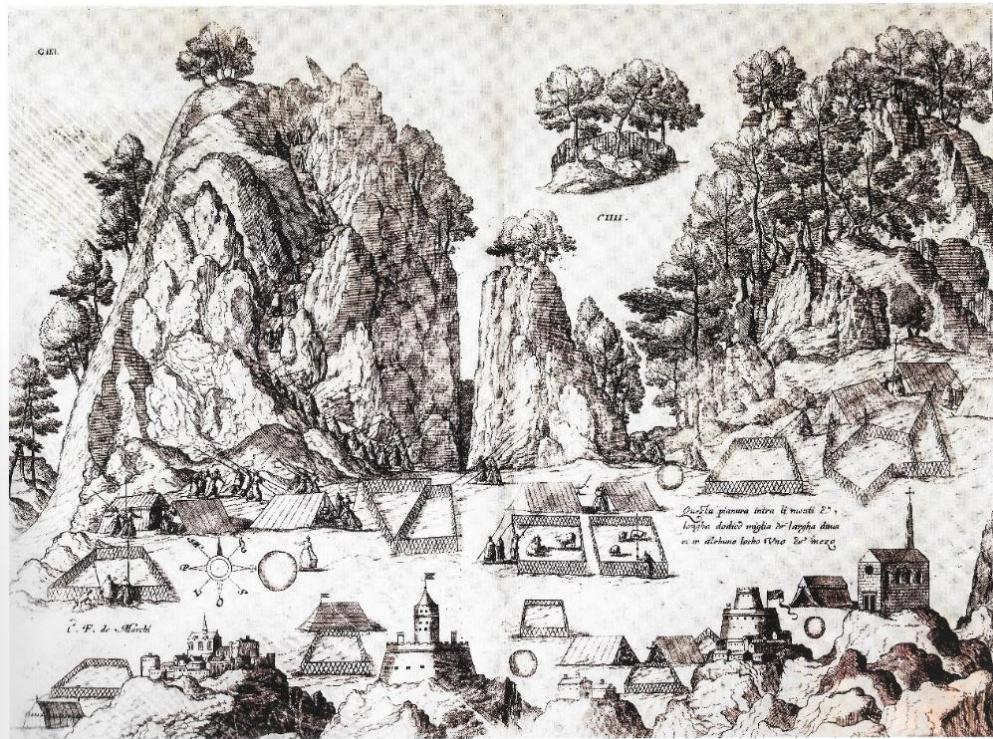


Fig. 12 - Schizzo che accompagna la relazione della prima salita alla cima del Gran Sasso d'Italia, ad opera del Bolognese, Capitano ed Ingegnere, Francesco de Marchi (riprodotta da De Marchi, 1573), Archivio Pecci.

Data la novità e l'importanza dell'impresa, con uno sforzo logistico ed organizzativo paragonabile a quelli compiuti attualmente per una vera e propria esplorazione e spedizione alpinistica, con tanto di campo base e di campi avanzati, vale sicuramente la pena ricordare il percorso effettuato, così come ricostruito in Alessandri (2006) e tracciato nella Fig. 13, che, almeno nella parte alta, corrisponde alla via normale dal versante aquilano (meridionale), per Campo Pericoli - Sella del Brecciaio - Conca degli Invalidi - Passo del Cannone - Cresta Nord-Ovest (vedi anche Fig. 11). Dal De Marchi viene anche fatta una "incursione" alla Fonte Gelata (Fig. 13): molto probabilmente doveva trattarsi di una risorgiva a metà tra le Capanne di Val Maone e le Sorgenti del Rio Arno, non più attiva attualmente, ma che tutt'ora presenta evidenti segni di un antico e abbondante ruscellamento superficiale (Alessandri, 2006), a testimonianza della presenza di gelo spesso e duraturo, anche in pieno Agosto, a quota 1600-1700 m circa, nell'area, e, più generalmente, dalla presenza diffusa di nevai perenni nei fondovalle e nei canaloni d'alta quota, e da estati brevi con forti escursioni termiche.

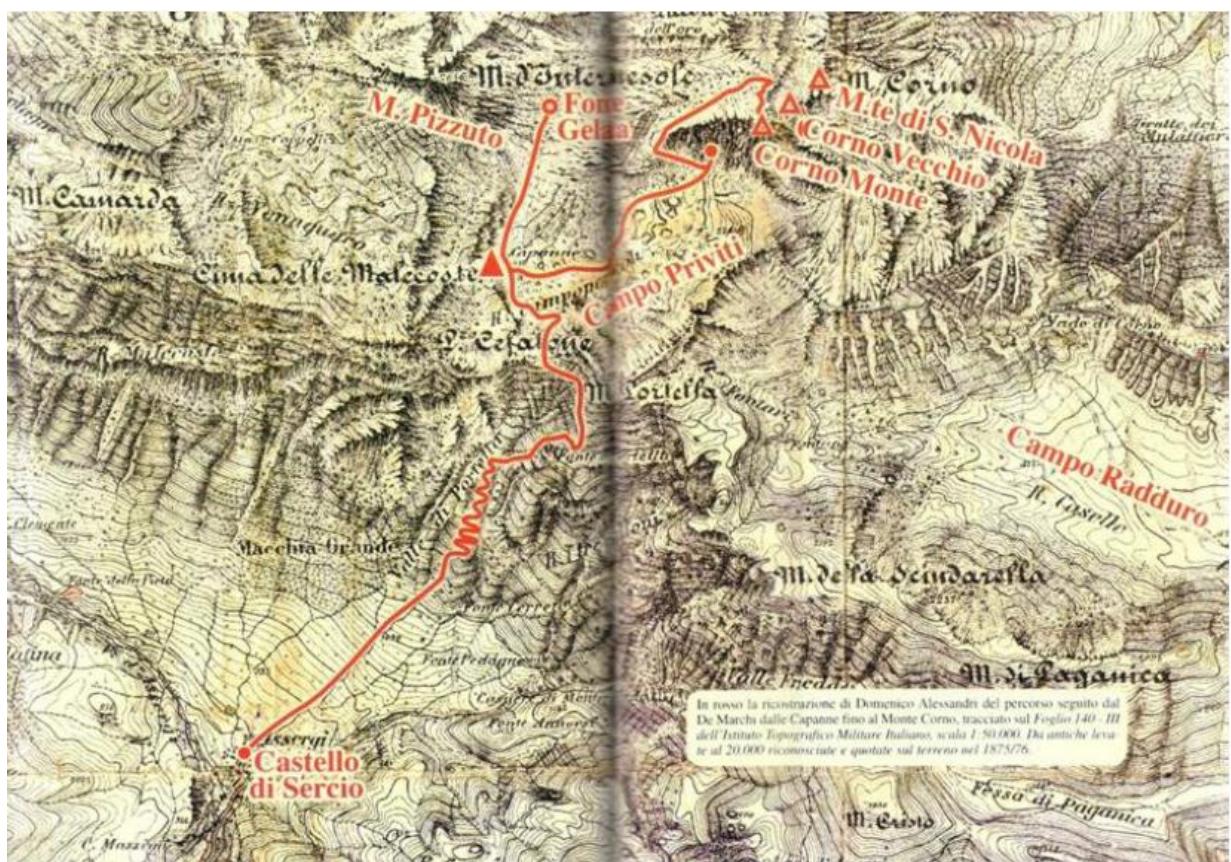


Fig. 13 – Schizzo topografico del tracciato percorso dal De Marchi nel corso della prima salita alla cima del Gran Sasso d'Italia, ricostruito da Alessandri (2006), con partenza da Assergi (AQ), salita al valico della Portella, discesa verso Campo Pericoli (Priviti) alla loc. Capanne e poi salita verso la sommità per la Cresta Nord-Ovest, dopo un velleitario tentativo diretto, dalla Sella del Brecciaio.

Il successivo, e conclusivo, passo per l’“archiviazione” dell’esplorazione e della “conquista” del Corno Grande è rappresentato, come già visto al paragrafo 1.8, dalla salita compiuta da Orazio Delfico nell'estate del 1794, che non ha solo importanza alpinistica, ma anche scientifica, per le misurazioni di pressione atmosferica e temperatura effettuate sulla cima - pratica diventata di consuetudine durante le salite alle più alte cime dell'epoca, a partire da quella alla vetta del Monte Bianco l'8 agosto del 1786, compiuta ad opera di Balmat e Paccard- e per gli schizzi topografici (Fig. 14) e le osservazioni scientifiche.

Il percorso di Delfico, dopo la giornata di avvicinamento del 29 luglio 1794 dal paese di Ornaro alla base rocciosa della cresta dell’Arapietra, coincide con la attuale via “Normale” da Nord e si sviluppa lungo tutta la cresta dell’Arapietra fino alla Madonnina (vedi anche Fig. 11), per poi accedere, dal Passo delle Scalette, nel Vallone delle Cornacchie, risalendolo fino alla sommità (passando, attualmente dal Rif. “Carlo Franchetti” del CAI, sez. di Roma) e da qui, per il ghiacciaio del Calderone, fino alla cima. Le osservazioni scientifiche del 30 luglio 1794 rendono conto di un ambiente dominato dal processo glaciale e crionivale, ancora in piena estate, come testimoniato dalle parole dello stesso Delfico (1796).



Fig. 14 – Rappresentazione dell’area di vetta del Gran Sasso d’Italia (Corno Grande-Corno Piccolo) allegata alla relazione della prima salita dal versante settentrionale (tratta da Delfico, 1796), Archivio Pecci.

Con riferimento alle arti figurative, come già evidenziato in Pecci (2001) di riferimento è il dipinto di Edward Lear, riprodotto, come l'originale, a colori in Fig. 15, dal titolo "Isola, Monte Corno, 1843"; il pittore si fermò ad Isola del Gran Sasso (TE) il 30 settembre 1843 e, oltre a dipingere questa incisiva e impressionante veduta della Vetta Orientale, descrisse con arguzia il suo arrivo al villaggio.

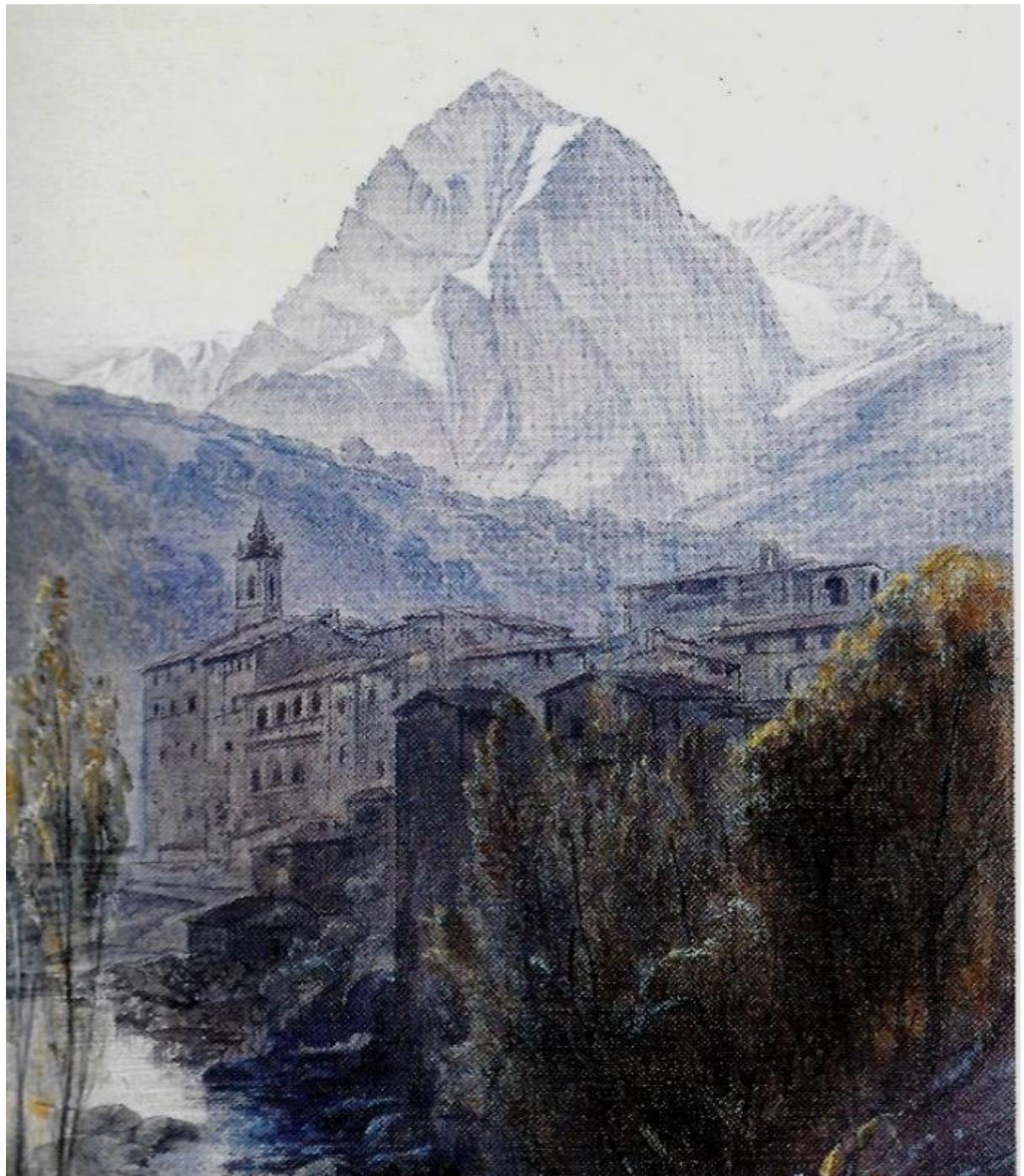


Fig. 15 – Riproduzione dell'acquarello di Edward Lear "Isola, Monte Corno, 1843", tratto da Finarte, 1994 (Arch. Pecci).

Il quadro rappresenta in maniera molto realistica il paesaggio a cui si è trovato di fronte il pittore; tenendo conto dell'abilità del Lear come paesaggista e disegnatore naturalistico, è lecito ipotizzare che le condizioni rappresentate fossero molto vicino alla realtà, descrivendo un ambiente in cui, a fine estate, la neve permaneva, sui versanti settentrionali, durante tutto l'anno, spingendosi anche a quote relativamente basse, al di sotto dei 1500 m slm.

Dalla vetta del Gran Sasso

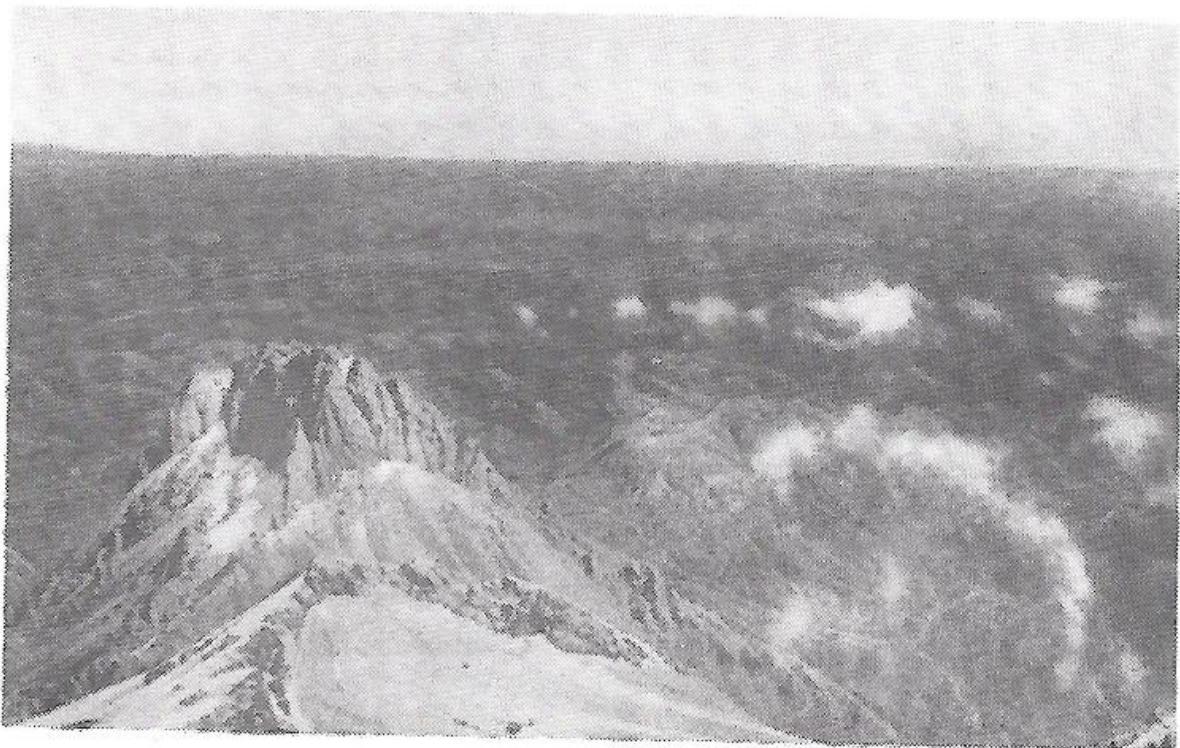


Fig. 16 - Enrico Coleman - Dalla vetta del Gran Sasso, tratto da De Rosa & Trastulli, 1988, Archivio Pecci.

Condizioni di forte innevamento permangono anche nel cinquantennio successivo, quando Enrico Coleman, tra il 1887 e il 1892, dipinse una serie di acquarelli tra, cui questo, con tecnica "a volo d'uccello", intitolato "Dalla vetta del Gran Sasso" (Fig. 16) che rappresenta in maniera molto realistica, da paesaggista qual era il Coleman, l'area di vetta del Gran Sasso, ancora completamente occupata dalle nevi perenni: nell'immagine il ghiacciaio del Calderone, che raggiunge, colmando il circo, sino alla cresta sommitale.

Da questi anni in poi la fotografia entrerà in maniera dirompente nella rappresentazione scientifica, alpinistica ed artistica del Gran Sasso d'Italia.

2.2 Ricerche e produzioni cartografiche

L'area di studio, posta nel settore centrale dell'Appennino, ha la grande fortuna di essere stata oggetto (e gli studiosi di averne, quindi, ora, la disponibilità) della produzione cartografica completa, sin dalle origini scientifiche della disciplina. Già agli albori della moderna cartografia, intorno alla fine del XVI secolo, dopo l'invenzione e diffusione della proiezione di Mercatore⁴, compaiono le prime carte geografiche, in cui è ben individuata, sia come estensione, sia come orientazione, sia come "fulcro e svincolo" dell'*Apenninus Mons*, la catena del Gran Sasso d'Italia, di cui in Fig. 17 è riportato un esempio.

Nella rappresentazione cartografica è ancora visibile, peraltro, il Lago di Celano, che lascerà spazio, dopo la bonifica dei Torlonia della seconda metà del XIX secolo, alla Conca del Fucino (o di Avezzano).

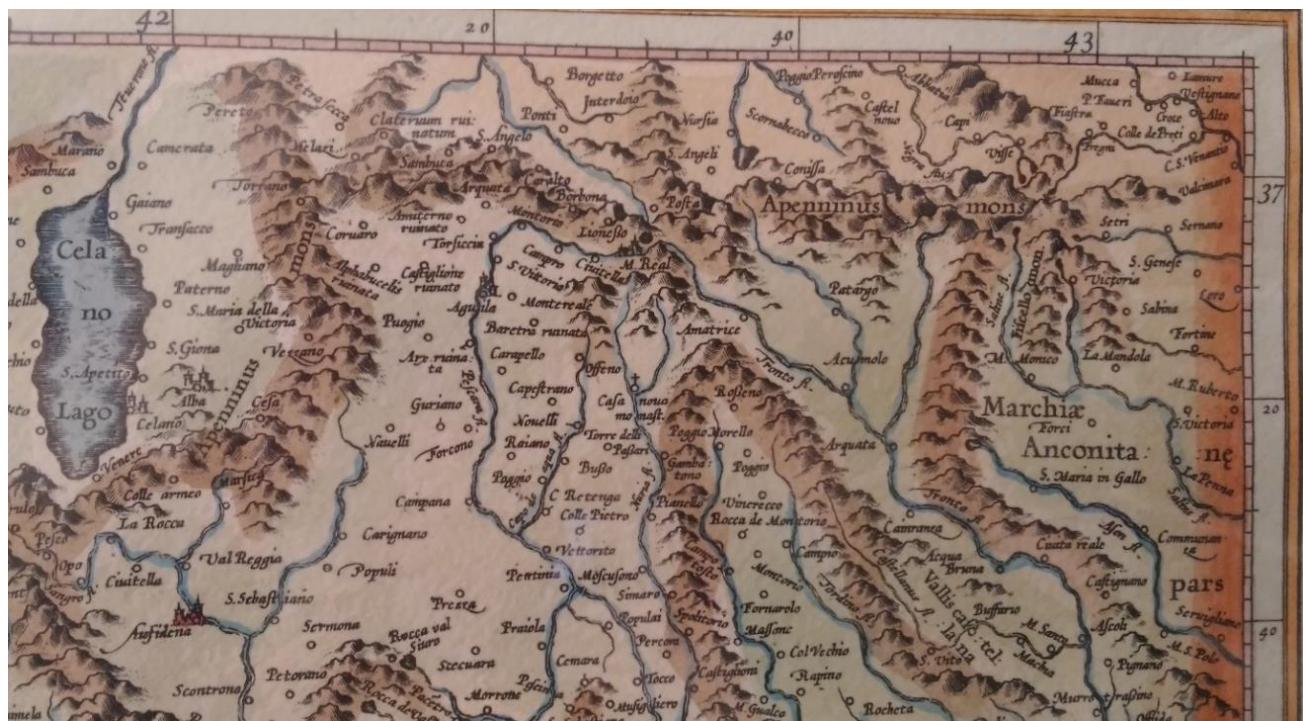


Fig. 17 - Riproduzione di carta geografica a colori: "Abruzzo et terra di lavoro", incisione in rame a colori, scala 1:750.000, proiezione di Mercatore, 1598, in Sansonno, Sec. XVII (IGM, Firenze), Archivio Pecci.

Ricordando la definizione di una carta geografica impartita nei corsi universitari di base nelle discipline geografiche (rappresentazione ridotta, approssimata e simbolica del territorio), per arrivare alla prima vera e propria carta geografica, utilizzabile anche per l'archiviazione e le

⁴ Gerardo Mercatore, in olandese Gerhard Kremer, latinizzato in Gerardus Mercator (Rupelmonde, 5 marzo 1512-Duisburg, 2 dicembre 1594), è stato un matematico, e cartografo fiammingo (www.wikipedia.org)

successive elaborazioni in ambiente G.I.S. (*Geographic Information System*), bisogna arrivare alla seconda metà del XIX secolo; l'area, a quel tempo, era sotto il controllo del Regno delle Due Sicilie, retto dai Borbone. L'evoluzione delle conoscenze cartografiche, e la conseguente disponibilità di carte via via più accurate e utilizzabili con maggior profitto nelle analisi digitali su GIS, è riportata nel quadro cronologico di Tab. 4, di cui vengono riportati i rispettivi stralci nelle Figg. 18, 19, 20, 21 e 22. Queste costituiscono, anche, le basi cartografiche, centrate sul ghiacciaio del Calderone, utilizzate per la ricostruzione delle superfici digitali, rispetto alle quali è stato possibile definire la riduzione dell'apparato negli ultimi due secoli (vedi capitolo 3).

- Prima mappa topografica a scala 1:50.000 dell'area Corno Grande (Proiezione Flaamsted modificata, con l'origine delle coordinate all'intersezione tra il Meridiano che passa per Napoli e il 40° parallelo N; equidistanza delle isoline: 20 m), rilevata sul campo dall'Istituto competente pro tempore, ITM (Istituto Topografico Militare), nel 1884-1885, e ingrandimento meccanico a scala 1:20.000 con equidistanza delle curve di livello di 10 metri.

- Utilizzando la mappa di cui sopra come base topografica, G. E. Frietsche (1887) ha pubblicato la mappa topografica del Gran Sasso d'Italia in scala 1:80.000, con la finestra allargata dell'area superiore in scala 1:25.000. Nell'area riprodotta è ben riconoscibile il "Brecciaio" (corrispondente alla parte superiore della Valle delle Cornacchie, che, al di sotto della morena fronto-laterale del ghiacciaio Calderone forma, ancora oggi, una estesa falda detritica, alla cui base, presenta una caratteristica nivomorena in parte attiva e in parte non più attiva e, per questo motivo, risulta colonizzata da vegetazione pioniera) e, **per la prima volta, compare il toponimo "Il Calderone".**

- Schizzo topografico dettagliato del ghiacciaio del Calderone a scala 1:5.000, rilevato da Marinelli & Ricci il 4 settembre 1916 e particolarmente interessante a causa dell'indicazione dell'esatta altezza della morena frontale, pari a 2712 m nel settore centrale, circa piano, e di 2744 m nel settore orientale (più rilevato).

- La prima carta topografica (tavoletta) a scala 1:25.000 dell'area di Corno Grande, a cura dell'Istituto Geografico Militare, è stata rilevata da fotografia aerea e controllata sul campo dall'IGM nel 1954-55, (coordinata geografica riferita all'Ellissoide Internazionale orientata

a Roma -M, Mario, U.T.M - Fuso di M. Mario 33, equidistanza delle curve di livello di 25 metri.

- Carta topografica di dettaglio del Ghiacciaio del Calderone a scala 1:750, rilevata nel 1990 con battuta topografica a terra da Gellatly, Tomkin, Parkinson e Latham (Gellatly et al., 1994).

Tab. 4 – Cronologia delle mappe e carte topografiche dell'area di vetta del Gran Sasso d'Italia.

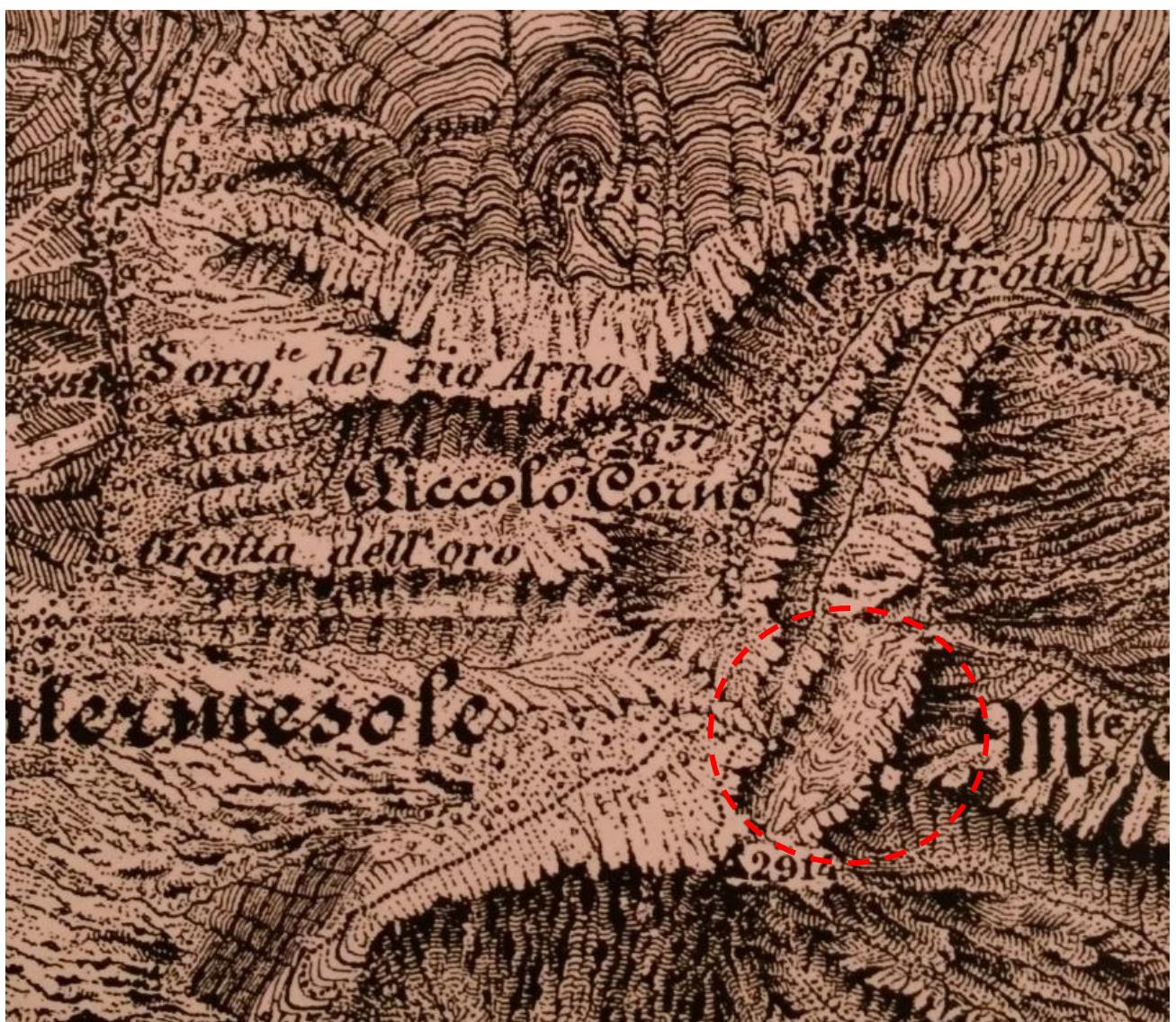


Fig. 18 – Ingrandimento dell'area di vetta, mappa topografica a scala 1:50.000 dell'area Corno Grande (ITM, 1885).
Nel cerchio tratteggiato in rosso è racchiusa l'area del ghiacciaio del Calderone con l'evidente sbocco a Est (verso l'area del Paretone) del recapito inferiore delle acque di fusione del ghiacciaio.

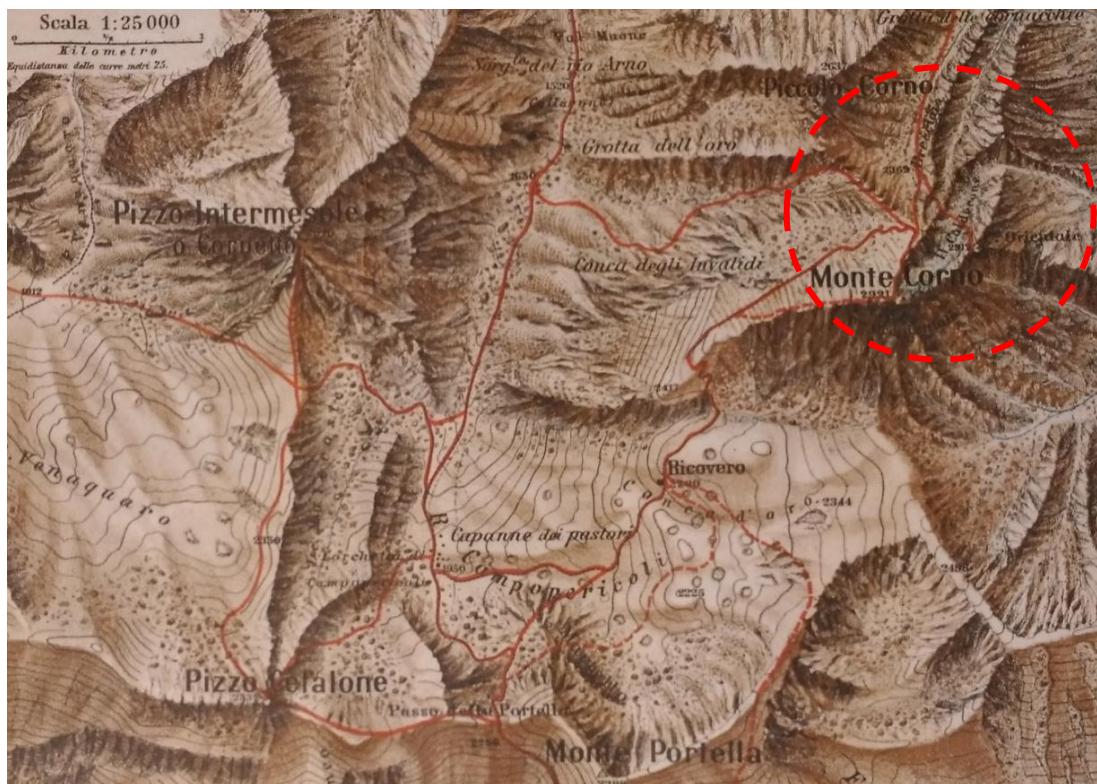


Fig. 19 – Finestra allargata a scala 1:25.000 della mappa topografica del Gran Sasso d'Italia in scala 1:80.000, del Frietsche (1887). Con linee rosse sono indicati i principali sentieri.

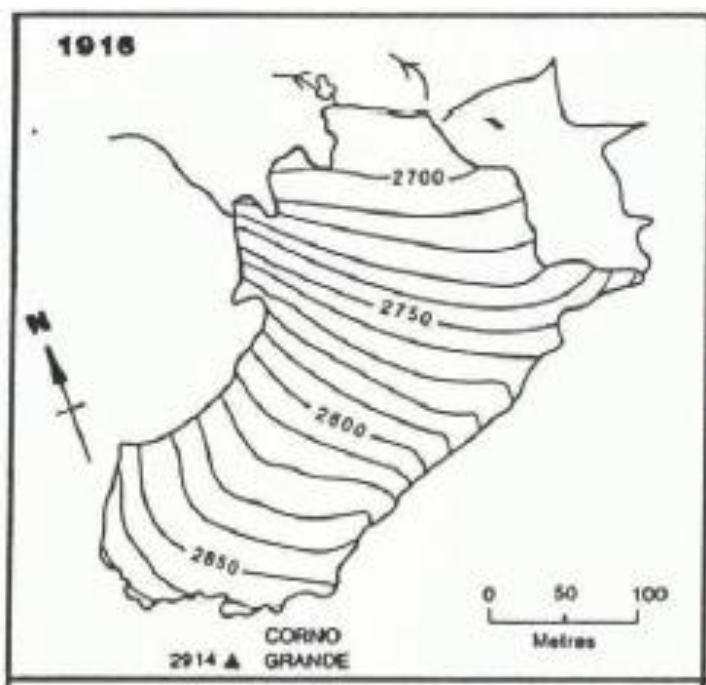


Fig. 20 – Schizzo topografico dettagliato del ghiacciaio del Calderone a scala 1:5.000, rilevato da Marinelli & Ricci il 4 settembre 1916 (ingrandimento, tratto da Gellatly *et al.*, 1994).

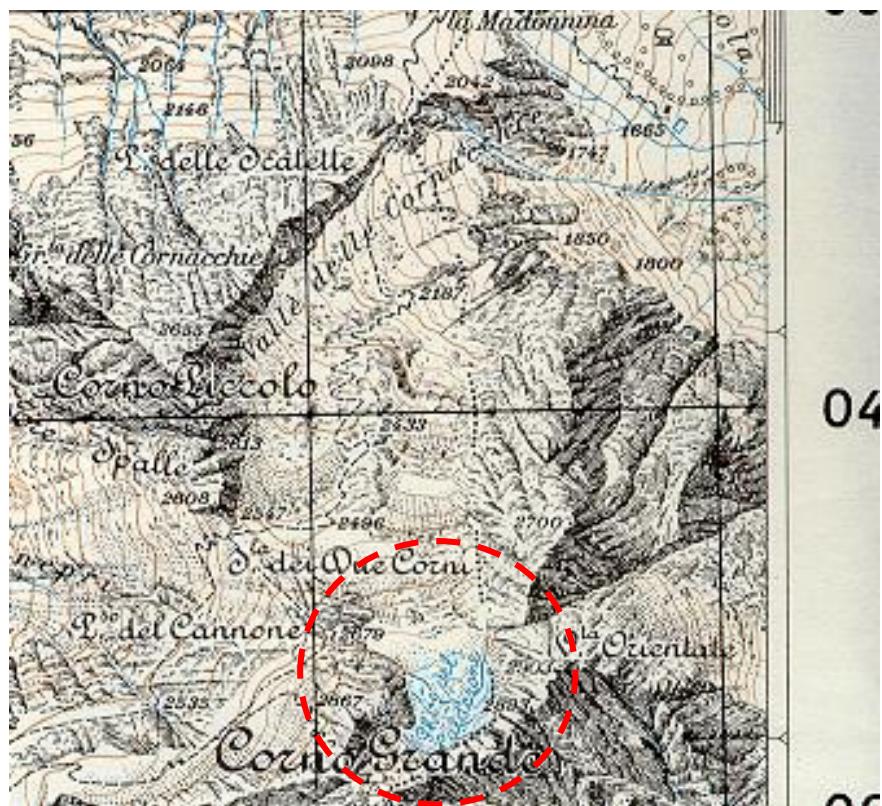


Fig. 21 - Tavolaletta a scala 1:25.000 dell'area del Corno Grande, a cura dell'Istituto Geografico Militare, rilevata da fotografia aerea e controllata sul campo dall'IGM nel 1954-55 (ingrandimento, tratto da IGM, 1955). Nel cerchio tratteggiato in rosso è racchiusa l'area del ghiacciaio del Calderone con l'evidente sbocco a Nord (verso la Valle delle Cornacchie) del recapito inferiore delle acque di fusione del ghiacciaio.

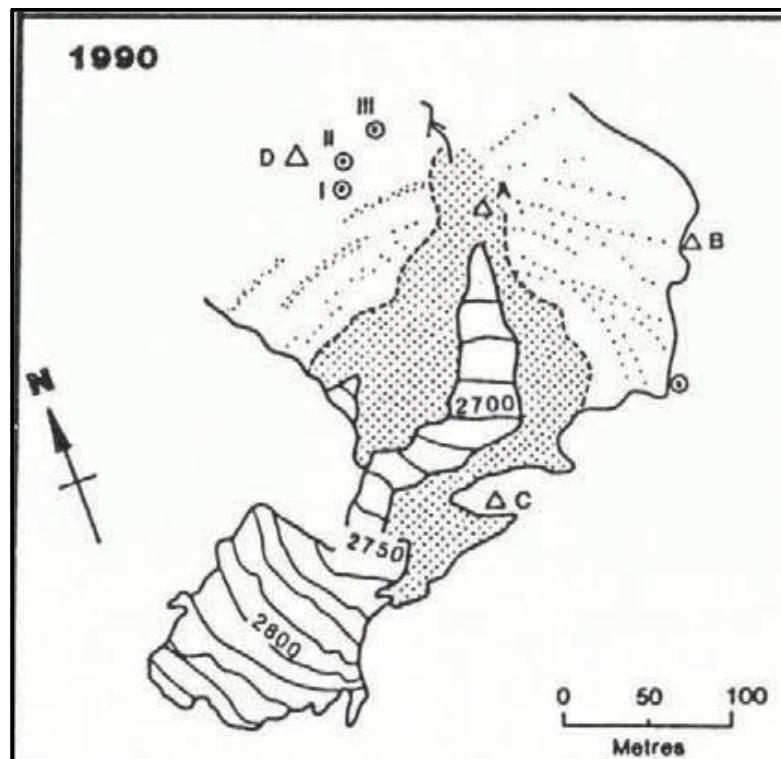


Fig. 22 - Sketch topografico del Ghiacciaio del Calderone rilevato, a scala 1:750, nel 1990 (ingrandimento, tratto da Gellatly et al., 1994).

2.3 Archivi fotografici, esplorazione scientifica ed alpinistica

Anche se l'invenzione della fotografia risale all'inizio dell'800, soltanto nella seconda metà del secolo e, in particolare, verso la sua fine, compaiono le prime fotografie con finalità scientifico-documentalistiche del ghiacciaio; come risulta anche in Di Eleonora *et al.* (2012), la prima foto che documenta lo stato di ottima salute del ghiacciaio del Calderone, anche se come sfondo di una inquadratura dell'intero Corno Grande (Fig. 23), risale al 1871, ad opera del fotografo Tommaso Gilli, ed è accompagnata dalla relazione per la "Gita al Gran Sasso d'Italia, Luglio 1871" (Ballada di Saint Robert, 1871).

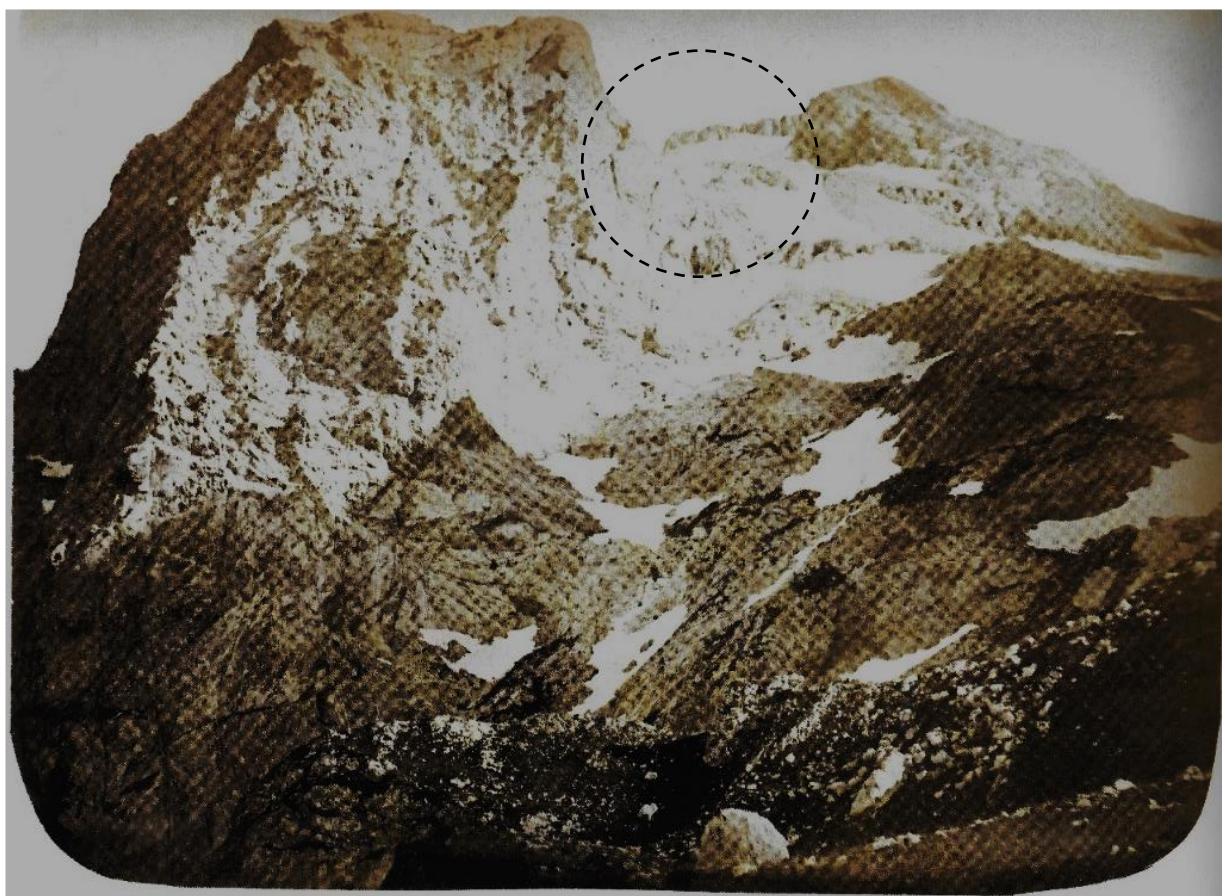


Fig. 23 - Fotografia di Tommaso Gilli "Corno Grande del Gran Sasso d'Italia visto da Ara Pietra, in BALLADA DI SAINT ROBERT, 1871, (Biblioteca Provinciale "Melchiorre Delfico, Teramo). Nel cerchio è presente il ghiacciaio del Calderone che riempie quasi completamente il circo.

La prima fotografia che ha come soggetto unico il Ghiacciaio del Calderone (Fig. 24) risale ad una quindicina di anni più tardi, esattamente al 19 settembre 1886, ad opera dell'alpinista ed "intellettuale delle montagne" Enrico Abbate, che sarà anche riprodotta sotto forma di

incisioni per l’”Escursione al Gran Sasso d’Italia per l’inaugurazione del Rifugio⁵ alla base del Monte Corno”.

Da questa data la disponibilità di fotografie dell’apparato diviene man mano maggiore, anche a seguito di una più numerosa frequentazione della montagna, per diventare, praticamente, con cadenza annuale, nel periodo a cavallo delle due guerre mondiali, che segna anche l’attività di monitoraggio, in qualità di esperto del Comitato Glaciologico Italiano, dell’Ing. Dino Tonini (Tonini, 1961).



Fig. 24 – Enrico Abbate “Il ghiacciaio del Calderone” il 19 settembre 1886 (foto Archivio Enrico Rovelli).

Il secolo XIX è importante non solo per la disponibilità dei primi elementi iconografici, cartografici e fotografici certi ed affidabili per la ricostruzione delle variazioni glaciali, ma anche per le descrizioni che sono arrivate sino a noi ad opera degli alpinisti e degli scienziati, che testimoniano, tutte, la presenza di un ambiente molto diverso da quello attuale, che risentiva ancora della fase fredda della Piccola Età Glaciale, pur se nelle sue fasi terminali.

⁵ Si tratta del rifugio di montagna più antico d’Italia, posto a 2231 m s.l.m. in località Campo Pericoli (sotto il versante occidentale del Corno Grande), nel territorio comunale di Pietracamela (provincia di Teramo), realizzato, appunto, nel 1886 e intitolato alla memoria di Giuseppe Garibaldi.

Un elenco sufficientemente esauriente della cronologia dell'esplorazione scientifica ed alpinistica ottocentesca è riportato in maniera dettagliata nell'Appendice 1 - "Cronistoria dettagliata dell'esplorazione scientifica ed alpinistica del XIX secolo", che si basa sulla ricostruzione operata da Ranalli (2001), e di cui si riportano, in Tab. 5, gli elementi salienti.

Salitore/Esploratore	Anno ascensione	Titolo relazione
Agostino Cappello	1828	<i>Sopra un nuovo fenomeno geologico al Gran Sasso d'Italia</i>
Pasquale de Virgiliis	1837	<i>Una gita al Gran Sasso D'Italia e descrizione di esso</i>
Raffaele Quartapelle	1949	<i>Manuale pel viaggiatore naturalista al Gran Sasso d'Italia</i>
Paolo Ballada di Saint Robert	luglio 1871	<i>Gita al Gran Sasso d'Italia.</i>
Giustino Fortunato	28 luglio 1874	<i>Itinerario dal versante di Teramo</i>
Douglas W. Freshfield	1875	<i>Il Gran Sasso D'Italia</i>
Corradino Sella	1880	<i>Salita iemale al Gran Sasso d'Italia</i>
Enrico Abbate	1881	<i>Ascensione del Gran Sasso d'Italia (m. 2921)</i>
Enrico Coleman	27/28 maggio 1881	<i>Ascensione del Gran Sasso d'Italia</i>
Federico D'Amato	1888	<i>Il Gran Sasso D'Italia. Ascensioni sul Monte Corno</i>
Giacinto Pannella	1894	<i>Centenario della prima ascensione al Gran Sasso d'Italia compiuta da Orazio Delfico il 30 luglio 1794</i>
Giovanni Pansa	1895	<i>Una Gita al Gran Sasso d'Italia fatta nel secolo XVI. Curiosità storiche</i>

Tab. 5 – Principali salitori del Gran Sasso d'Italia e attività svolte nel corso delle salite.

2.4 Studi scientifici

Tra la fine del XVIII e il XIX secolo, come visto al paragrafo precedente, l'esplorazione scientifica del Gran Sasso e della sua area di vetta è andata di pari passo con quella alpinistica, mantenendo, parallelamente, viva, ancora per diversi decenni, la disputa sulla natura glaciale del ghiacciaio del Calderone, principalmente per il fatto che il ghiacciaio veniva frequentato in un periodo ancora di recrudescenza climatica, coincidente con la fine della Piccola Età Glaciale, che nell'area Aprutina si è potuta considerare conclusa solo alla fine del XIX secolo. Il ghiacciaio, quindi, come riportato in diverse testimonianze e relazioni veniva trovato sempre "perennemente coperto di neve" suggerendo, in prima istanza e senza dover

incomodare apposite e nuove “teorie” geologiche, una composizione e, conseguentemente, una natura ed evoluzione “nivale”.

Con la visita al ghiacciaio da parte di Marinelli & Ricci nell'estate del 1916, nel bel mezzo del primo conflitto mondiale, e grazie alla sollecita pubblicazione dei risultati in una specifica memoria scientifica (Marinelli & Ricci, 1916), viene confermata la natura glaciale del Calderone e, a corredo della trattazione, vengono pubblicati una fotografia (Fig. 25) ed uno schizzo topografico che costituiscono un punto di riferimento per gli studi finalizzati alla ricostruzione delle variazioni glaciali dell'apparato.



Fig. 25 – Fotografia scattata il 4 settembre 1916 (Marinelli e Ricci, 1916).
Per il dettaglio della topografia corrispondente, si veda Fig. 20.

Allo stesso tempo, questo primo studio, embrionalmente multidisciplinare, costituisce la prima di una serie di monografie scientifiche che, nel corso dell'ultimo secolo circa, hanno segnato con cadenza abbastanza regolare le attività di monitoraggio e di ricerca sull'apparato e che sono riportate nel prospetto di Tab. 6 ed i cui riferimenti sono riportati nella bibliografia.

Autore/i	Titolo monografia	Anno	Contenuti/ambiti
Marinelli Ricci	<i>Alcune osservazioni sul ghiacciaio del Gran Sasso</i>	1916	Glaciologia Geomorfologia, Topografia

Tonini	<i>Il Ghiacciaio del Calderone del Gran Sasso d'Italia</i>	1961	Glaciologia Geomorfologia, Topografia, Climatologia
Smiraglia & Veggetti	<i>Recenti osservazioni sul ghiacciaio del Calderone (Gran Sasso d'Italia, Abruzzo)</i>	1992	Glaciologia, geofisica, sedimentologia
Pecci et al.	<i>Il glacialismo e la criosfera in area mediterranea come indicatori degli effetti delle attività industriali sugli ambienti di vita</i>	2004	Glaciologia, Chimica amb., Climatologia
Rovelli	<i>Il ghiacciaio del Calderone: ricostruzione delle oscillazioni recenti mediante l'analisi delle fonti iconografico-storiche e meteo-climatiche (Gran Sasso d'Italia, Abruzzo)</i>	2006	Glaciologia, Climatologia

Tab. 6 – Principali monografie scientifiche incentrate sul ghiacciaio del Calderone da inizio '900 ad oggi.

Passando dal primo studio riportato in Tab. 6, sino all'ultimo, pubblicato in anni recentissimi, i contenuti si arricchiscono di una prospettiva che, via via, cerca di privilegiare un approccio multidisciplinare, coinvolgendo studiosi di estrazione scientifica ed esperienze diverse e che sempre più si integrano mutualmente.

Per i risultati parziali di interesse, si rimanda ai singoli lavori, di cui, nel prospetto, sono stati sintetizzati i contenuti (o gli ambiti scientifici) principali.

Si vuole sottolineare che anche la presente monografia, partendo dai risultati di quelle già richiamate, ha cercato di mantenere questa prospettiva, riportando risultati, e anche problematiche, riscontrate direttamente nel corso del venticinquennio di monitoraggio, ma anche quelli di altri studiosi e gruppi di lavoro che si sono impegnati nello studio del ghiacciaio.

CAPITOLO 3

I RISULTATI DELLE ATTIVITÀ VENTICINQUENNALI DI MONITORAGGIO

Gli ultimi 25 anni, a cavallo dei due millenni, hanno registrato una serie considerevole di cambiamenti negli apparati glaciali, in particolare sul ghiacciaio Calderone, ma, parallelamente, anche nell'approccio scientifico di studio e monitoraggio, sempre più aperto alla divulgazione dei risultati conseguiti e, quindi, alla consapevolezza sociale.

Si tratteranno, nel dettaglio, le principali variazioni glaciali che vanno, comunque, considerate in un quadro di riscaldamento climatico che, a partire dalla fine dell'ultima (effimera) fase più fresca, conclusasi negli anni '70 del secolo scorso, ha fatto registrare consistenti e progressivamente maggiori arretramenti delle lingue glaciali e riduzioni degli spessori, almeno alla scala dell'emisfero boreale.

Dal punto di vista metodologico ed a scala globale, si è passati dal monitoraggio tradizionale, realizzato con paline ablatometriche e l'utilizzo di triangolazioni topografiche, utilizzato ampiamente fino alla seconda metà degli anni '90, ad una integrazione ed implementazione tecnologica via via crescente ed efficiente.

In particolare, nel caso dell'apparato in studio, nel corso della prima decade di osservazioni (1995-2005) è stato utilizzato il metodo tradizionale, con l'uso di paline ablatometriche in alluminio, della lunghezza di 2,5 m, pur se a fronte di una archiviazione ed elaborazione dei dati in ambiente GIS (*Geographic Information System*), con cui è stata registrata, a cavallo dell'estate del 2000, la frammentazione dell'apparato in 2 placche di glacionevato (Pecci *et al.*, 2001).

Dal 2005, a seguito dell'alternanza di estati più fresche, che spesso mantenevano spessori di nevato superiori ai 2 m (che coprivano le paline, non permettendo, quindi, la lettura degli spessori accumulati) ad estati estremamente calde (in grado di fondere lo spessore di ghiaccio in cui erano infisse le paline, determinandone la caduta e, quindi, l'aleatorietà della lettura) e, soprattutto, a seguito del veloce progresso tecnologico che ha messo a disposizione ad un prezzo accessibile e a volumi e pesi molto contenuti tecnologie GPS e di fotogrammetria digitale da terra e da drone, le elaborazioni, sempre in ambiente GIS, sono passate, a partire

dal 2015, all'utilizzo di queste tecnologie. Queste hanno permesso, da un anno al successivo, il calcolo dei volumi di ghiaccio risultanti, per sottrazione dei modelli digitali delle superfici rilevate. Gli anni dal 2005 al 2015 hanno visto la transizione dal metodo tradizionale a quello geodetico, ma hanno permesso sempre l'ottenimento di un risultato di bilancio di massa, anche quando la lettura sulle paline non è stata possibile, per le motivazioni prima esposte, ricorrendo al confronto fotografico al fine di pervenire, per interpolazione, ad un risultato di variazione di spessore.

Le elaborazioni sono state costantemente effettuate su piattaforma GIS nell'arco dei 25 anni.

In Tab. 7 sono riassunti i dati salienti e in Fig. 26 una foto recente dell'apparato.

Ghiacciaio del Calderone

Codice nazionale (Comitato Glaciologico Italiano): 1006

Codice internazionale (World Glacier Monitoring service): 1107

Localizzazione: Appennino Abruzzese, Gran Sasso d'Italia, Valle del fiume Vomano

Bacino idrografico: torrente Mavone, fiume Vomano

Area totale: 0,023 km², suddivisi (Pecci *et al.*, 2001) in 2 *glacieret* (0,13 km² il *glacieret* inferiore e 0,10 km² il *glacieret* superiore), dati 2019

Lunghezza: complessiva dei due settori: 250 m (140 m il *glacieret* inferiore e 110 m il *glacieret* superiore), dati 2019

Larghezza massima: 100 m circa, dati 2019

Alimentazione: mista, prevalentemente eolica e diretta e, subordinatamente, da valanghe

Esposizione: NNE

Quota della cima più elevata a monte del ghiacciaio: Vetta Occidentale del Corno Grande - 2912 m s.l.m.

Quota più elevata del ghiacciaio: 2830 m s.l.m. circa

Quota più bassa del ghiacciaio: 2660 m s.l.m. circa

Classificazione: 2 *glacieret* - *debris covered*

Attività della fronte: non identificabile; in forte riduzione areale, volumetrica e di spessore

Morene: frontale a nucleo di ghiaccio

Limite delle nevi: quando rilevato, oscillante fra 2800 e 2850 m; normalmente non determinabile, in quanto situato al di sopra della quota superiore del ghiacciaio (teorico oltre 3.000 m)

Spessore massimo di ghiaccio: circa 25 m (settore inferiore)

Superficie glacializzata effettiva all'interno del circo: circa 23.500 m²

Nota: unico ghiacciaio dell'Appennino e il più meridionale d'Europa; il bilancio d'ablazione del settore inferiore nell'ultimo venticinquennio ha comportato una riduzione di spessore complessivo (nei 25 anni) pari ad una lama d'acqua di circa 9000 mm_{weq}. Attualmente il ghiacciaio, dall'estate del 2000, si è inequivocabilmente suddiviso in due *glacieret*.

Tab. 7 - Principali caratteristiche del ghiacciaio del Calderone.



Fig. 26 – Il ghiacciaio del Calderone il 10 settembre 2019.

3.1 Il ghiacciaio del Calderone: bilanci di massa glaciale

Il ghiacciaio del Calderone, come già detto, di modestissime dimensioni e suddiviso in due glacionevati, risponde alle oscillazioni climatiche in modo molto più veloce rispetto agli apparati glaciali presenti sulle Alpi: il suo tempo di risposta (*reaction time*) degli ultimi decenni è stato stimato pari a 8 anni (Pecci *et al.*, 2004); di conseguenza, l'apparato si comporta da sensibile indicatore della crisi climatica in atto e, per la continuità delle misure e l'ampio spettro delle ricerche svolte, ha rappresentato e rappresenta un ideale laboratorio naturale per comprendere al meglio i delicati equilibri climatici e gli effetti ambientali delle attività umane.

I bilanci di massa annuali e le relative complesse ed articolate operazioni di rilievo in sito, all'inizio ed alla fine della stagione di ablazione (da inizio giugno circa a, circa, metà settembre), sono state eseguite, costantemente per tutto il periodo di osservazione, estati 1994-2019, ed il relativo grafico, espresso in termini cumulativi, è riportato in Fig. 27.

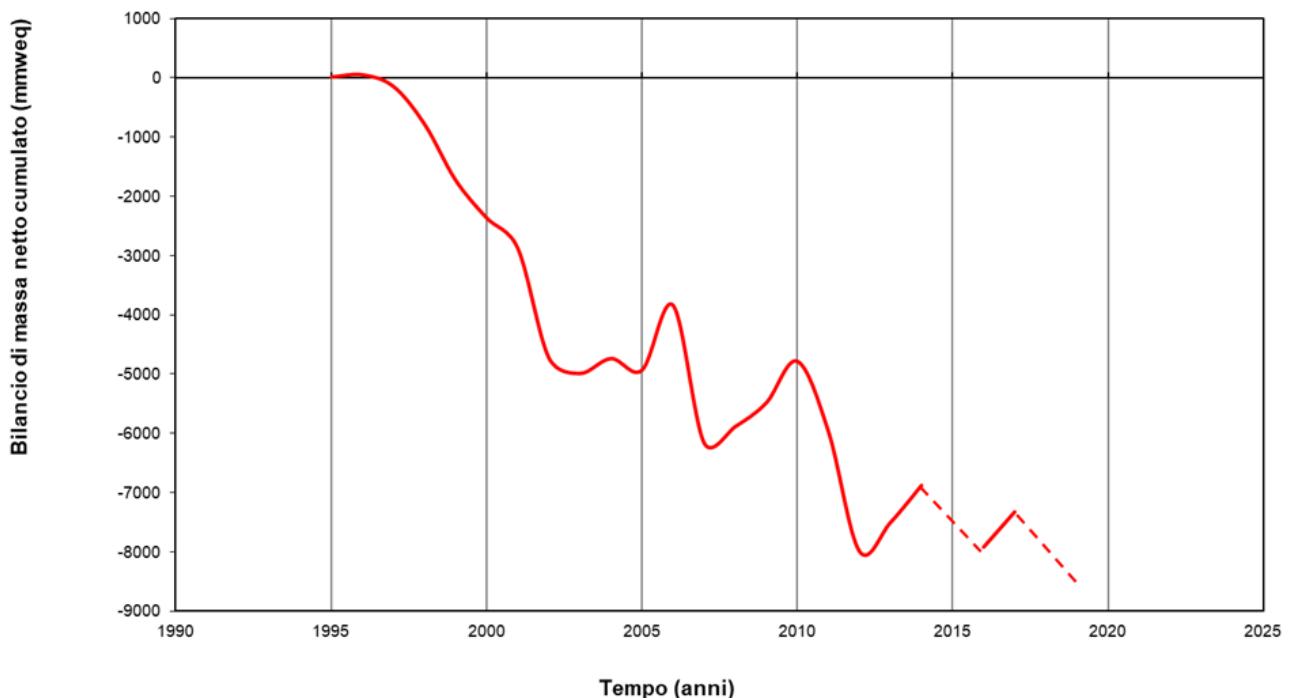


Fig. 27 – Andamento del bilancio netto di massa del ghiacciaio del Calderone nel venticinquennio di monitoraggio.

Dal grafico risultano mancanti i dati relativi al 2015 e al 2018 (linea tratteggiata): si tratta di annate glaciologiche caratterizzate: il 2015 dal passaggio dalla metodologia tradizionale (con l'uso di paline ablatometriche) a quella geodetica (per sottrazione di modelli digitali del terreno ottenuti da fotogrammetria terreste e/o da drone), che non ha consentito, materialmente, la chiusura del bilancio con dati omogeni e confrontabili, e il 2018 da perdita di dati nel rilievo di settembre, a causa della caduta del drone per una violenta raffica.

In questo arco di tempo, i bilanci di massa glaciali sono stati pubblicati nel prospetto di Tab. 8, in cui è anche indicato il link sul sito del Comitato Glaciologico Italiano per leggere la corrispondente Campagna Glaciologica, contenente, normalmente nelle ultime pagine, anche i dati dell'anno di bilancio relativi al ghiacciaio del Calderone; nella bibliografia a fine volume, è riportato il riferimento bibliografico di ogni campagna glaciologica annuale.

Anno Idrol.	Link sul sito http://gfdq.glaciologia.it/
1994-95	www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_19_1/18_GFDQ_19_1_settore_triveneto_185_198.pdf
1999-00	www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_24_2/9_GFDQ_24_2_Settore_Triveneto_251_261.pdf
2000-01	www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_24_2/9_GFDQ_24_2_Settore_Triveneto_251_261.pdf
2002-03	www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_27_2/appennini_225.pdf
2003-04	www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_28_2/appennini.pdf
2004-05	www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_29_2/appennini.pdf
2005-06	www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_30_2/appennini_312_313.pdf
2006-07	www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_31_2/appennini_322.pdf
2007-08	www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_32_2/2009_Camp_Glac_2008_GFDQ32.pdf
2008-09	www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_33_2/GFDQ_33_2_Campagna_glaciologica_2009_245_311.pdf
2009-10	www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_34_2/GFDQ_34_2_Campagna_glaciologica_2010_257_326.pdf
2010-11	www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_35_2/GFDQ_35_2_Campagna_glaciologica_2011_211_279.pdf
2011-12	www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_36_2/GFDQ_36_2_Campagna_glaciologica_2012_303_374.pdf
2012-13	www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_37_2/GFDQ_37_2_Campagna_glaciologica_2013_163_227.pdf
2013-14	www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_campagne_GFDQ/GFDQ_38_2_Campagna-Glaciologica_2015_229_304.pdf
2014-15	www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_campagne_GFDQ/GFDQ_39_2_Campagna_Glaciologica_2015_215_295.pdf
2015-16	www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_campagne_GFDQ/GFDQ_40_2_Campagna_Glaciologica_2016_233_320.pdf
2016-17	www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_campagne_GFDQ/GFDQ_41_2_Campagna_Glaciologica_2017_115_193.pdf
2017-18	www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_campagne_GFDQ/GFDQ_42_2_Campagna_Glaciologica_2018_113_202.pdf
2018-19	http://www.glaciologia.it/wp-content/uploads/FullText/full_text_campagne_GFDQ/GFDQ_43_1_Campagna_Glaciologica_2019_45_142.pdf

Tab. 8 – Anni idrologici (glaciologici) per i quali è stato pubblicato il rapporto, contenente, quando possibile, il bilancio di massa netto del ghiacciaio del Calderone sulla Rivista Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria – Campagna Glaciologica e il relativo link sul sito internet del CGI.

I bilanci di massa degli ultimi 25 anni evidenziano, pur nella generale tendenza alla perdita di massa e alla riduzione, come in alcune annate, in particolare nell’anno idrologico 2003 (sia come annata di per sé stessa, sia tenendo conto del tempo di risposta di 7/8 anni), un comportamento del ghiacciaio particolare e non assimilabile a quello di buona parte degli apparati glaciali alpini (Pecci & Smiraglia, 2006; Pecci *et al.*, 2008).

La sopravvivenza del ghiacciaio del Calderone testimonia come i processi geomorfologici legati alle oscillazioni climatiche si presentino, ormai, in maniera palese, a partire dall’ultimo

decennio, e arealmente omogenei, come conseguenza della crisi climatica in atto, sia alle quote più elevate, sia a quelle inferiori.

Ovunque, la transizione ad un ambiente e ad un processo paraglaciale attivo è ormai evidente, con una predominanza dei processi legati all'azione della gravità, come ad esempio in Val Maone o nel Vallone delle Cornacchie (sedi fino all'ultimo massimo glaciale di importanti apparati) così come nella conca del Calderone non più occupate dai ghiacci.

3.2 Rilievi ed analisi nivologiche

L'analisi delle condizioni della neve al suolo, in termini di spessori e caratteristiche del manto nevoso, è stata una delle attività "cardine" che costantemente, con cadenza annuale, sono state effettuate sul ghiacciaio del Calderone all'inizio ed alla fine della stagione di ablazione (quando possibile, con sopravvivenza della neve), in concomitanza con quelle glaciologiche. Per questo motivo, si può considerare che i rilievi nivo-glaciologici (condotti, con continuità, nel venticinquennio preso in considerazione), e, in particolare, i rilievi sulla neve al suolo, hanno permesso di pervenire annualmente al c.d. "bilancio invernale", vale a dire il volume complessivo di neve di accumulo invernale misurata all'inizio della stagione di ablazione; l'ammontare di quest'ultimo, negli ultimi anni, è stato inoltre comunicato al *World Glacier Monitoring Service*, che lo ha pubblicato e reso disponibile (www.wgms.ch).

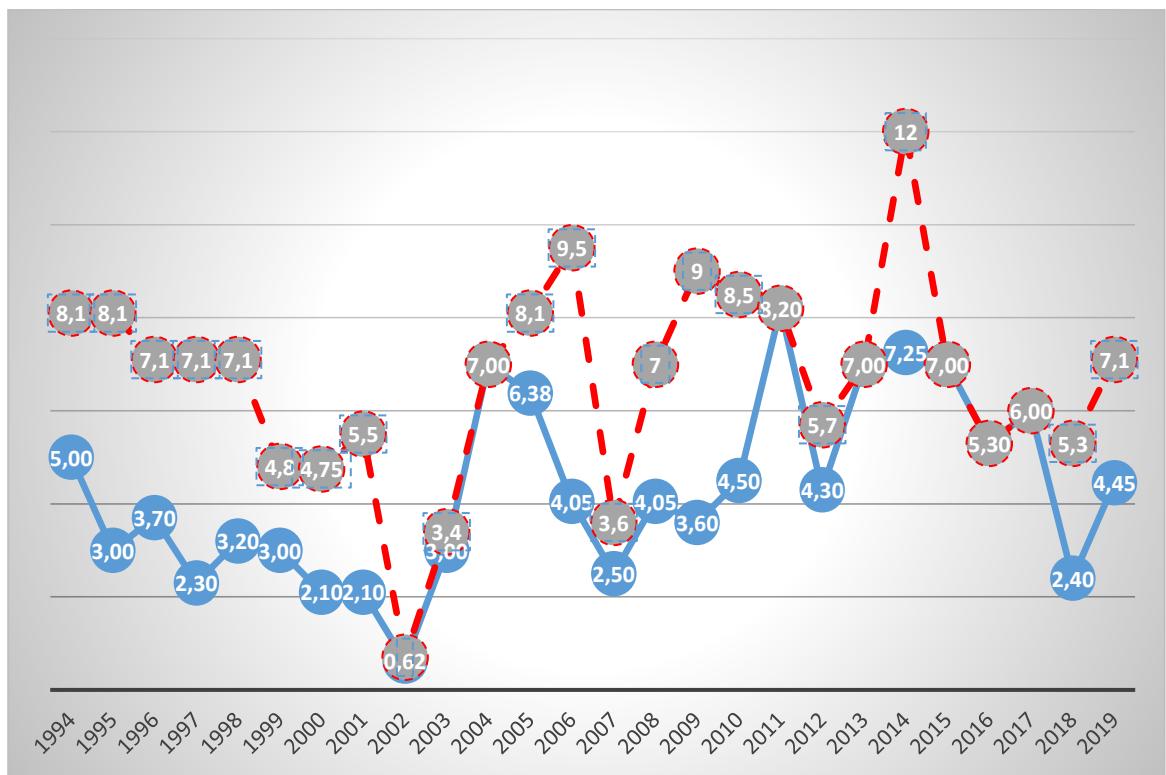


Fig. 28 - Trincea nel manto nevoso per l'esecuzione del profilo del manto nevoso e per il prelievo di campioni su cui effettuare successive analisi di laboratorio (ghiacciaio del Calderone, 6 giugno 2015).

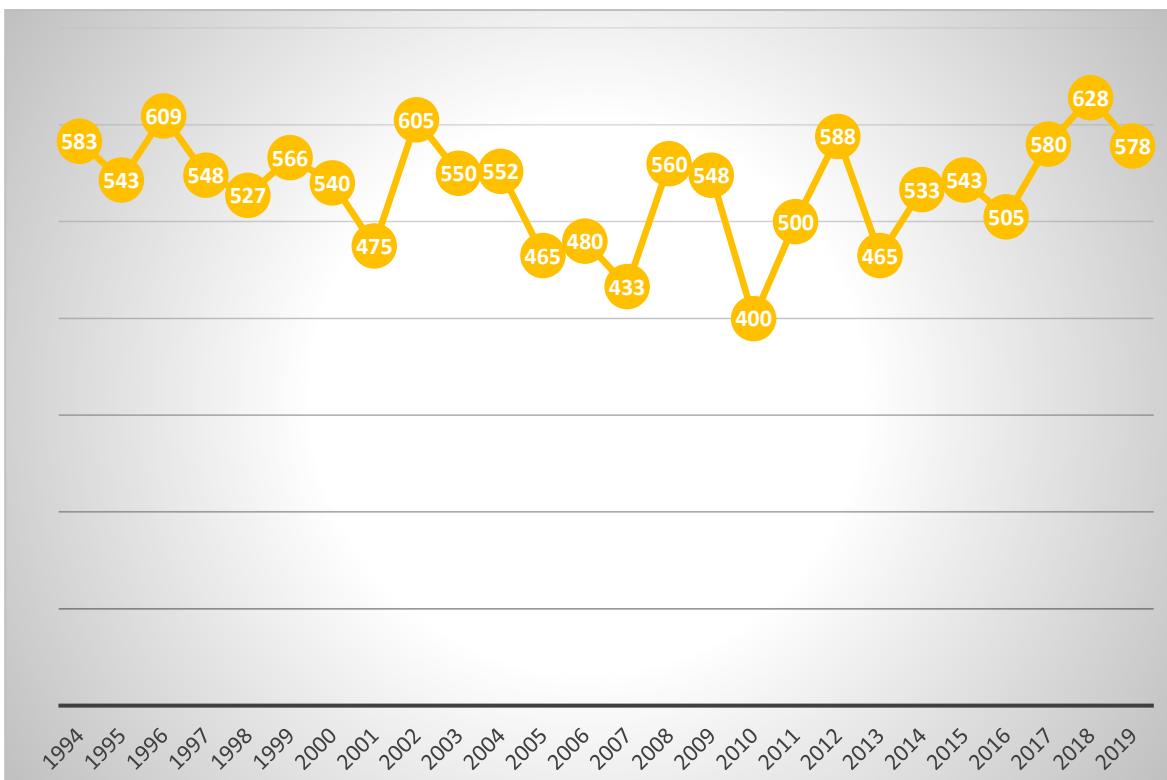
La prima pubblicazione della venticinquennale attività di monitoraggio è stata, infatti, dedicata agli spessori di neve di accumulo invernale (D'Orefice *et al.*, 1996), in particolare alla misura degli spessori (che sono risultati di tutto rispetto, con valori massimi anche di 8 m) e delle caratteristiche degli strati di neve, osservate e misurate tramite lo scavo di una trincea (Fig. 28), approfondita, quando possibile, fino al detrito supraglaciale.

Nei grafici della Fig. 29 sono riportati gli spessori, misurati in m., e le densità medie del manto nevoso in corrispondenza della trincea di osservazione, misurati a inizio stagione estiva, di solito tra fine maggio e inizio giugno, comunque entro il 15 giugno, massimi con linea tratteggiata rossa e, con linea continua blu, rilevati alla quota di 2700 m. s.l.m. poco al di sotto della strettoia che ha separato l'apparato in due *glacieret*. A questa quota, è stata, solitamente, scavata la trincea annuale per la determinazione del profilo del manto nevoso e per il prelievo di campioni di neve.

Dal grafico risulta una tendenza abbastanza costante, pur nella estrema variabilità delle singole annate, sia degli spessori, sia della densità.



a)



b)

Fig. 29 - a) Spessori, misurati in m. ed osservati a inizio stagione estiva, massimi evidenziati con linea tratteggiata rossa e rilevati alla quota di 2700 m. slm, con linea continua blu; quando coincidenti, è riportato un solo dato di spessore, come nel caso del 2002, 2004, 2011, 2015, 2016 e 2017; b) corrispondenti valori di densità media del manto nevoso nel sito di osservazione e di scavo della trincea, espressa in kg/m³

Considerando entrambe le serie di dati relativi allo spessore, il massimo valore di spessore riscontrato nei 25 anni di osservazione è stato di 12 m nell'estate del 2014 e il minimo di 0,62 m nell'estate del 2002. Sull'arco dei 25 anni considerati, il valore medio dello spessore massimo è risultato pari a 6,65 m e il valore medio dello spessore di neve registrato a 2700 m è risultato pari a 4,31m. Ciò premesso, i valori registrati nella calda estate del 2003 sono stati di poco inferiori alle rispettive medie e gli ultimi registrati, relativi all'estate 2019, sono da considerare di poco superiori alle medie.

Per quanto riguarda la densità, i valori mostrano una variabilità tra 400 e 628 kg/m³, con valore medio pari a 535 kg/m³, tipico del nevato (Cresta, 2000).

Oltre agli spessori e alla densità della neve, sono state registrate le caratteristiche stratigrafiche del manto, nonché cristallografiche, di temperatura e di resistenza dei singoli strati, che hanno confermato la classificazione del manto nevoso come "nevato", contraddistinto da grani da fusione e rigelo, spesso di piccole dimensioni, in condizione di isotermia, con resistenze e densità elevate.

Soprattutto negli ultimi anni, sono comparse le “sahariane”, con frequenza sempre maggiore e anche con più episodi nel corso della stagione di accumulo: un approfondimento sulla loro presenza e sul contenuto chimico sarà presentato nel paragrafo 3.4. Nella Fig. 30 è riportato, a titolo esemplificativo, il profilo del manto nevoso relativo alla trincea di Fig. 28, scavata fino alla base del manto nevoso a inizio stagione d’ablaione.

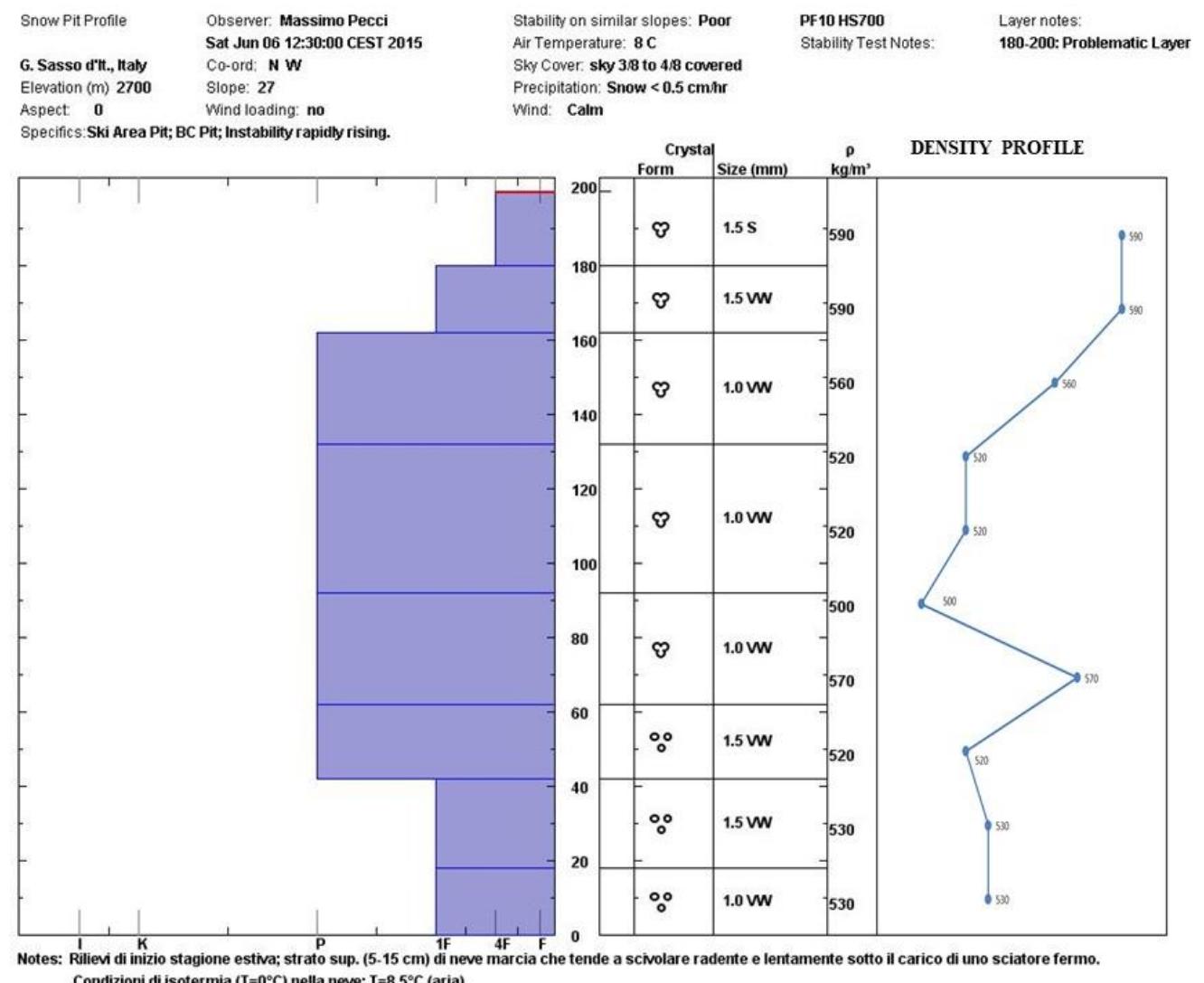


Fig. 30 – Profilo del manto nevoso relativo alla trincea della Fig. 28, scavato sino alla base della neve di accumulo dell’inverno precedente: sono riportati a sinistra l’andamento della resistenza, rilevato con il test della mano, la forma e le dimensioni dei cristalli (grani da fusione e rigelo) e l’andamento della densità, superiore a 500kg/m^3 .

Per concludere, in Appendice 2, è riportato l’album fotografico delle foto (periodo estate 1994-estate 2019) che meglio descrivono le condizioni generali di innevamento del ghiacciaio del Calderone ad inizio stagione di ablazione.

3.3 Rilievi geomorfotopografici e relativa cartografia

Nei primi anni del periodo in studio, come base cartografica per tutti i rilievi, è stata utilizzata la carta topografica alla scala 1:750 rilevata nel 1992 (Gellatly *et al.*, 1994).

A partire dal nuovo millennio e con la crescente ablazione che lo ha accompagnato, sin dall'inizio, materializzatasi da subito con la suddivisione dell'apparato nei due glacionevati, si è fatta sempre più impellente la necessità di poter disporre di una base aggiornata e facilmente aggiornabile, in formato digitale: non tanto, quindi, sotto forma di carta topografica tradizionale, in formato cartaceo, quanto di modello digitale della superficie del ghiacciaio, anche per poter calcolare, in prospettiva, direttamente a partire dalle variazioni di essa, le modificazioni volumetriche del ghiacciaio e, quindi, il suo bilancio di massa.

Per la georeferenziazione dei capisaldi (*Ground Control Point*), materializzati da punti fissi sulle rocce periferiche del substrato calcareo e da punti notevoli sul ghiacciaio (grandi blocchi, di oltre 1 m³), su cui "agganciare" la superficie digitale è stato sempre utilizzato il GPS.

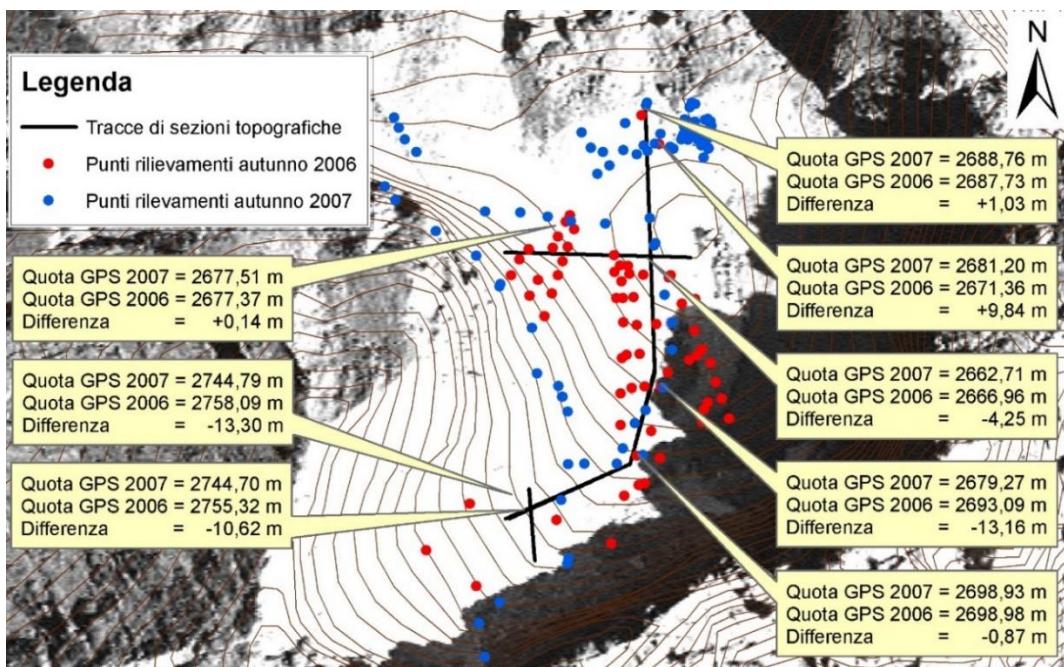
Al riguardo, c'è da evidenziare che, ancora per diversi anni, si sono scontati due principali limiti topografici e tecnologici, consistenti nella difficoltà di avere una ottimale visibilità dei satelliti, date le alte pareti subverticali di roccia in cui è contenuto l'apparato, e contestualmente, nella difficoltà ad operare in modalità differenziale in tempo reale (rispetto a stazioni appartenenti alla rete geodetica WGS84), aggravata anche dalla oggettiva difficoltà di avere un segnale costante telefonico e, poi, di rete dati.

Purtuttavia, già oltre una decina di anni orsono, con l'integrazione di metodologie e tecnologie GPS e laser-GPS (D'Aquila, Pecci & Pignotti, 2009) si è riusciti a pervenire in maniera sufficientemente accurata (con precisione variabile tra 1 cm e 10 cm), solo lungo sezioni particolarmente significative e caratterizzate da elevata disponibilità dei dati, alle variazioni di spessore, che sono state poi generalizzate ed estrapolate all'intera superficie e, quindi, al volume del ghiacciaio, ma con errori verticali decisamente superiori e mediamente attestatesi intorno al metro. Parallelamente, anche dal punto di vista morfotopografico si è riusciti ad ottenere una valutazione attendibile delle principali variazioni che si sono manifestate sulla superficie del detrito glaciale. D'altro canto, con il quadro di misure descritto, non si è potuti pervenire al calcolo di una esatta variazione volumetrica e, quindi, del bilancio di massa, per sottrazione delle superfici del ghiacciaio da un anno al successivo;

i risultati di questo primo approccio sono sintetizzati nella Fig. 31, contenente i principali elaborati tratti dal lavoro sopracitato.



a)



b)

Fig. 31 – Originali a colori delle figure originariamente riportate in B/N in D'Aquila *et al.*, 2009: a) Panoramica del Ghiacciaio del Calderone alla fine della stagione estiva 2007. Sono evidenziati: con puntinato giallo le lobature, testimoni della veloce evoluzione geomorfologica dell'area, con tratteggio nero le aree del substrato carbonatico, recentemente riesumate e, nel riquadro in basso a sinistra l'inghiottitoio presente nel settore più depresso del ghiacciaio; b) misura delle quote a confronto (risultati dei rilievi Laser-GPS eseguiti nell'autunno 2006 e 2007); sullo sfondo le curve di livello e la foto aerea.

A partire dall'estate 2015, gli abituali rilievi tradizionali, con l'uso di paline ablatometriche, sono stati definitivamente sostituiti con rilievi basati sull'utilizzo di immagini ad alta definizione da fotogrammetria terrestre, integrate da immagini da drone e, a partire dall'anno idrologico 2018-2019, solamente da drone, che hanno restituito l'ortofoto di Fig. 32.

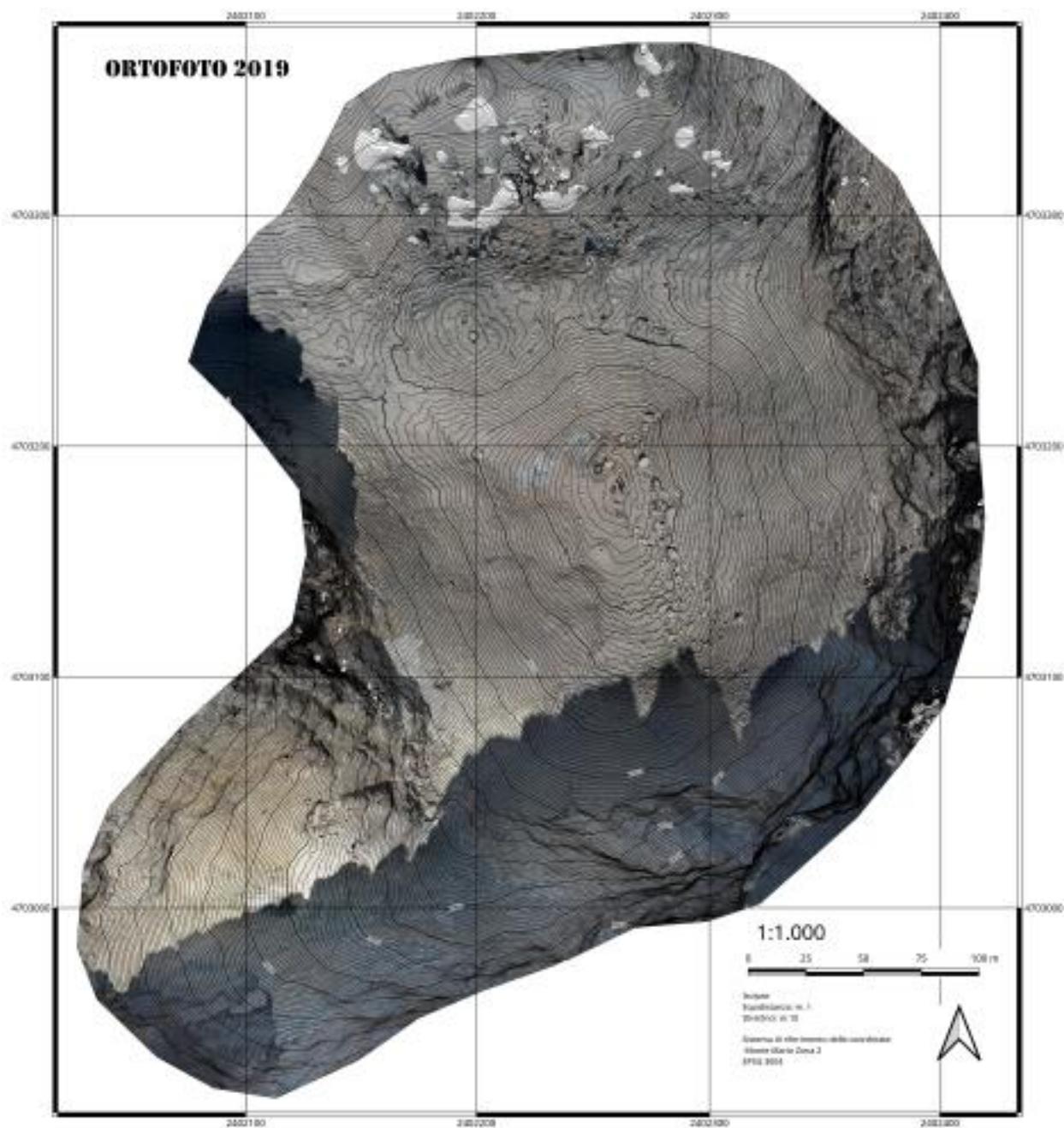


Fig. 32 – Ortofoto digitale, ripresa da drone, restituita alla scala 1:1.000, con le caratteristiche riportate in legenda
(Elaborazione: Tiziano Caira)

Negli ultimi 4 anni di rilievi digitali, le immagini sono state georeferenziate tramite un sistema di GPC (*Ground Control Point*), materializzati sul ghiacciaio e sulle pareti calcaree, sui

quali la misura delle coordinate x, y e z, nel sistema WGS 84, è stata effettuata con un GPS in modalità differenziale con correzione in tempo reale, ottenendo precisioni, sulla verticale con un errore di pochi cm, di cui, in Fig. 33, è riportato un estratto, relativo al 2019.

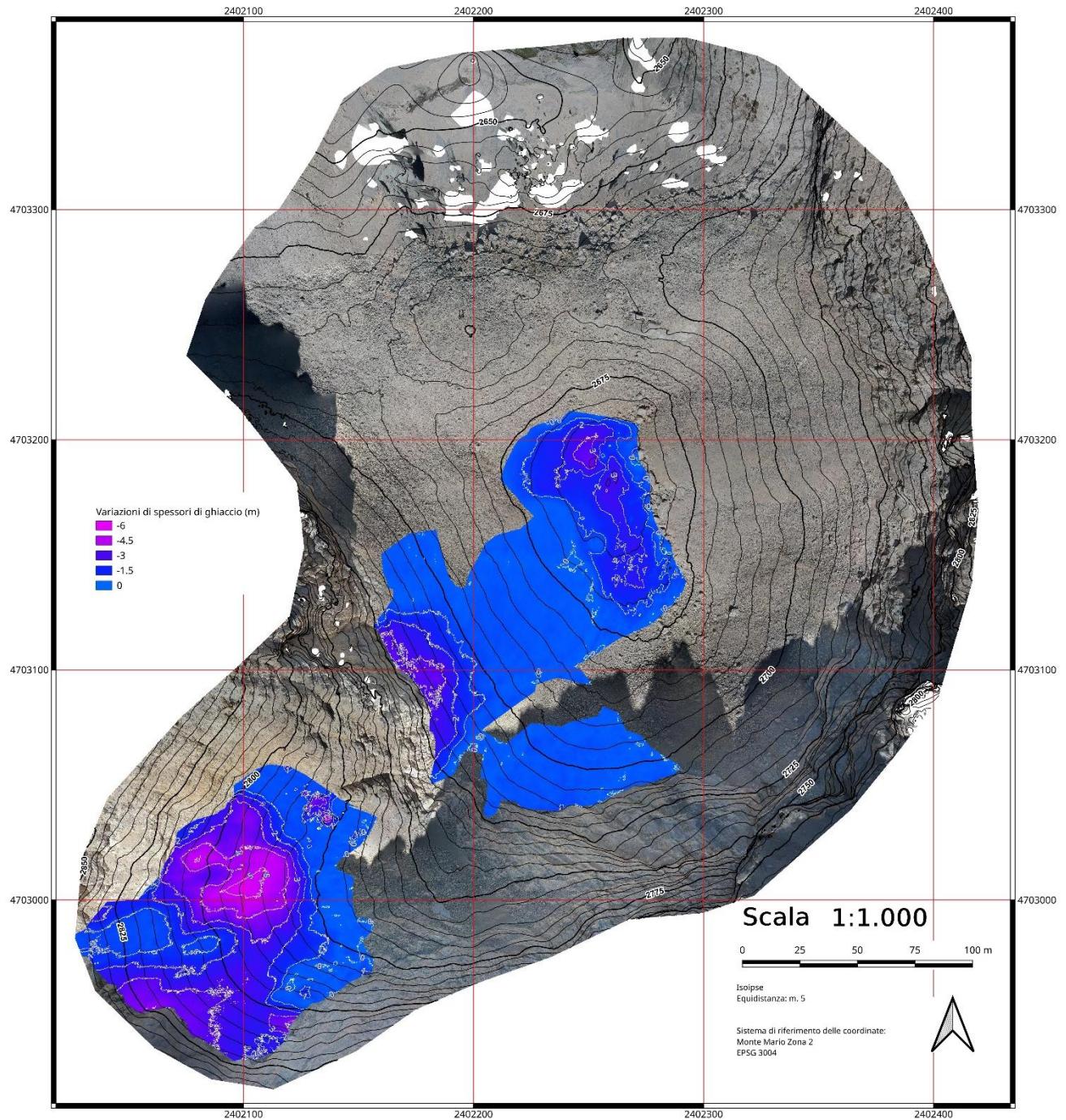


Fig. 33 – Restituzione da foto digitale, ripresa da drone, dell'area del ghiacciaio del Calderone effettuato il 14 settembre 2019; l'equidistanza tra le isoipse è di 10 m. Il modello digitale, così ottenuto, è stato sottratto al quello rilevato ed ottenuto in modo analogo a settembre 2018 e le variazioni in m sono riportate in colore, con i valori, tutti negativi, riportati nella legenda, all'interno delle aree glaciali (al di sotto del detrito di copertura) che hanno mostrato variazioni (Elaborazione: Tiziano Caira)

Da un punto di vista geomorfodinamico, è importante ribadire quanto già evidenziato nei paragrafi precedenti, vale a dire come in tutta l'area del circo-vallone del Calderone si stia assistendo ad una rapidissima transizione dall'ambiente glaciale *strictu sensu* ad un ambiente paraglaciale attivo (*sensu* Ballantyne, 2002). Questa evoluzione, rilevata e registrata, già in una fase incipiente in Pecci (2009), Pecci (2010) e in Pecci & d'Aquila (2011), è in ulteriore e rapida evoluzione, mostrando esiti legati sia ai processi gravitativi/torrentizi (*debris flow*) in occasioni di precipitazioni particolarmente severe (Cappelletti *et al.*, 2014), sia ai processi gravitativi puri (crollo di grossi blocchi dalle pareti verticali soprastanti) e/o legati al collasso di grossi blocchi dalle parti più rilevate degli accumuli detritici o degli apparati morenici, come evidenziato in Fig. 34 e Fig. 35.



Fig. 34 - Grosso blocco (con l'indicazione del percorso, in giallo), originariamente ubicato sulle pareti del circo, dove passava l'itinerario alpinistico, almeno fino agli anni '60 del secolo scorso, ed ora attualmente posto ai limiti della parte centrale della depressione del Calderone.



Fig. 35 – Vista generale e particolare dell'affioramento del Caposaldo topografico XV della rete topografica di Tonini (1961), originariamente localizzato alla sommità della morena fronto-laterale e recentemente collassato al di sotto per alcune decine di metri per effetto della fusione del nucleo in ghiaccio presente al di sotto della morena.

3.4 Rilievi ed analisi ambientali

Sul finire dello scorso millennio si è andata sempre più affermando la consapevolezza che l’alta quota e, in particolare, la criosfera in essa ospitata, fosse un’antenna molto sensibile dei cambiamenti in atto, sia climatici, sia, più in generale, ambientali.

Anche l’alta quota del Gran Sasso d’Italia e la sua criosfera sono entrate, a pieno diritto, tra i laboratori naturali delle montagne nazionali e internazionali: si veda, in particolare D’Orefice *et al.* (2000), in cui ne viene enunciato l’avvio “a partire dal 1996, dopo una fase sperimentale iniziata nel 1995, un insieme di ricerche multidisciplinari, finalizzate alla conoscenza del *Laboratorio naturale del Ghiacciaio del Calderone* e alla valutazione degli effetti delle attività antropiche sui cambiamenti locali e globali”. In una delle figure conclusive del lavoro citato, che viene riportata in Fig. 36, viene delineato il programma delle future attività di ricerca, con l’obiettivo di contribuire alla conoscenza, protezione e valorizzazione del ghiacciaio del Calderone, in quanto risorsa naturale unica al mondo.

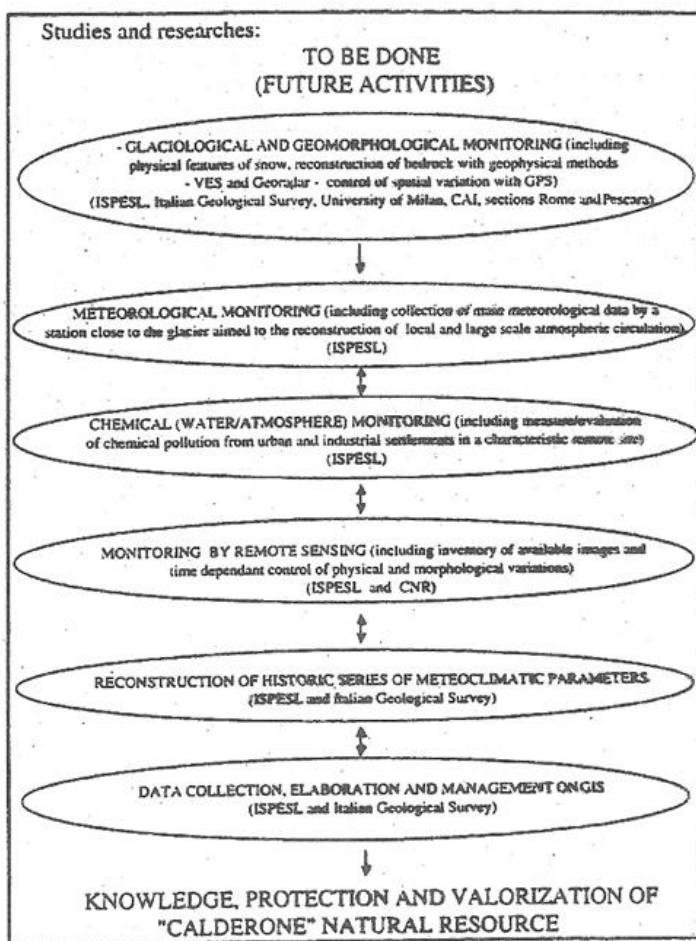


Fig. 36 – Diagramma di flusso delle attività da svolgere, tratto da D’Orefice *et al.* (2000), presente come Fig. 7 nel lavoro originario, comprendente attività proposte ed istituzioni responsabili.

A venticinque anni di distanza, le attività di studio proposte, pur se in una cornice istituzionale di Enti di ricerca e Università completamente mutata, a causa delle riorganizzazioni e soppressioni, o degli inevitabili “passaggi di consegna” per raggiunti limiti di età dei responsabili di ricerca in ambito universitario, sono state completate nei vari filoni individuati, come è viene presentato in questa monografia.

Con la pubblicazione dell’itinerario glaciologico “Il Ghiacciaio del Calderone. Un affaticato cuore di ghiaccio al centro del Mediterraneo” (Pecci & Smiraglia, 2017) è stata completata anche la proposta divulgativa per la finalizzazione della quale manca solo l’auspicata sinergia tra Parco Nazionale ed azione locale per tradurre la valorizzazione di un bene naturale anche come opportunità economica.

Ritornando alle specifiche attività di ricerca del settore ambientale, con particolare riferimento al monitoraggio chimico *latu sensu* delle componenti acqua ed atmosfera, si riportano, di seguito, i principali risultati ottenuti dalle ricerche già svolte.

1) Monitoraggio radiochimico del manto nevoso supraglaciale: nel corso delle campagne di monitoraggio delle estati del 1995 (Luglio) e del 1999 (Giugno) sono stati raccolti campioni di neve: sulle acque di fusione risultanti dai campioni sono state effettuate misure di radioattività, utilizzando un rivelatore di raggi gamma al Germanio, ad alta purezza, presso il laboratori dell’INFN di Frascati; dagli spettri ottenuti per entrambi i campioni (Balerna et al., 2001) è risultato evidente il picco a 662 keV, tipico del Cesio (Cs-137), con una attività misurata in 0,67 Bq/kg nel campione del 1995 e in 0,22 Bq/kg nel campione del 1999, mettendo in evidenza una tendenza coerente con le caratteristiche di decadimento radioattivo tipiche del Cesio e con il quadro evolutivo successivo all’esplosione del reattore di Chernobyl del 26 aprile 1986.

I risultati ottenuti hanno dimostrato che, ad un decennio circa dall’incidente, erano ancora in circolazione nell’atmosfera particelle radioattive, che venivano intrappolate nelle precipitazioni nevose e portate al suolo, e che queste concentrazioni di particelle erano maggiormente rilevabili negli strati di neve di colore più scuro.

Le misure di radioattività sono state protratte, sempre *in situ*, anche negli anni successivi con un contatore Geiger-Muller, mostrando, ancora all’inizio del decennio scorso, valori misurabili, pur se vicini all’errore di misura, e compatibili con il quadro di decadimento radioattivo del Cesio (Cs-137).

2) Monitoraggio della qualità del ghiaccio e della neve e della loro acqua di fusione: a partire dagli studi di fine millennio scorso (Pecci *et al.*, 2004) è stato condotto un vasto spettro di attività in ambito chimico-ambientale, che hanno riguardato la misura, in situ, del pH e della conducibilità elettrica, la misura della radioattività ambientale tramite contatore Geiger Muller e, non ultimo, lo “screening” ambientale della neve al suolo, effettuato sui campioni di neve prelevati e, mantenendo la “catena del freddo”, analizzati in laboratorio freddo, per la determinazione e misurazione della concentrazione dei principali anioni e cationi di origine antropica presenti nella neve al suolo e, relativamente al 1999, anche nel ghiaccio, a seguito di una perforazione specificamente dedicata, con il prelievo di campioni di ghiaccio. I risultati di questo approfondimento di analisi (Pecci *et al.*, 2004) hanno verificato nel periodo tardo primaverile:

- tramite le misure di pH in situ, l'affermarsi di un “impulso ionico” nelle acque di incipiente fusione della neve al suolo, anche sull'alta quota glacializzata del Gran Sasso d'Italia, spiccatamente acido, che tende a esaurirsi nel giro di pochi giorni, in concomitanza col repentino innalzamento delle temperature, e che, data la natura calcarea del substrato e del risultante effetto tampone, non sembrano provocare effetti sensibili sugli ecosistemi;
- la presenza sensibile di ossalati, giustificata da una intensa attività fotochimica ossidativa, collegata alla rottura dello strato atmosferico rimescolato e, quindi, all'arrivo in quota di masse d'aria di origine marina.

Le analisi sul ghiaccio del Calderone hanno dimostrato che l'apparato è sottoposto a intensi fenomeni di frazionamento e percolazione che evidenziano una certa disomogeneità del segnale isotopico.

Le indagini e le analisi di laboratorio si sono protratte, successivamente alla soppressione dell'Ente Italiano della Montagna fino ai giorni nostri, grazie ad una collaborazione con l'Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Chimica, Biologia e Biotecnologie, inizialmente a titolo gratuito e, successivamente, a partire dal 2016, con la formalizzazione di due successive Convenzioni con il Dipartimento affari regionali e autonomie per la realizzazione dei progetti *“Snowdust - Ghiacciaio del Calderone. Studio degli effetti chimici e biogeografici delle avvezioni di polveri sahariane in ambiente di montagna. Un approccio analitico e modellistico integrato per lo studio del ghiacciaio del Calderone (Gran Sasso d'Italia)”* e *“Cryodust -*

Ghiacciaio del Calderone. Dagli studi ambientali in ambiente di alta montagna del Gran Sasso d'Italia alla valutazione degli effetti chimici e biogeografici delle avvezioni di polvere sahariane", l'ultimo dei quali si è concluso alla fine del 2019.

Le ricerche, i cui risultati finali sono in corso di elaborazione per la presentazione di un lavoro su una rivista scientifica internazionale ad *impact factor*, hanno avuto come obiettivo principale lo studio qualitativo e quantitativo-analitico dei principali contaminanti inorganici nel manto supraglaciale del ghiacciaio del Calderone, con uno specifico approfondimento sul particolato, che va a costituire le così dette sahariane, che sempre più spesso si stanno presentando sullo scacchiere atmosferico della penisola italiana.

È stata studiata anche la composizione ionica delle acque di 2 punti presenti, uno al di sotto del ghiacciaio ed uno in prossimità dell'insediamento dei Prati di Tivo, che manifesta, rispettivamente, l'impronta chimica della composizione del manto nevoso supraglaciale e dello scorrimento più generale delle acque sotterranee, che, a quote più basse, si arricchisce anche di ulteriori componenti.

Da segnalare, nell'ambito della collaborazione Dipartimento affari regionali e autonomie - Università degli Studi di Perugia anche il ritrovamento e lo studio di specie di cellule vive di lieviti normalmente ritrovabili negli ambienti glaciali di Artide ed Antartide (Branda *et al.*, 2010; Buzzini *et al.*, 2010), a conferma della estrema adattabilità di questi organismi psicrofilici, anche alle condizioni più estreme.

3.5 Rilievi ed analisi geofisiche

Per le indagini geofisiche, radar-GPR (*Ground Penetrating Radar*), in particolare, come per molti degli altri rilievi presi in esame, esiste una serie storica trentennale di misure che partono nel 1990 ed arrivano ai giorni nostri.

Nella Tab. 9 e Tab. 10 vengono riportati gli anni in cui sono state eseguite le indagini, le caratteristiche tecniche degli apparati, i risultati sintetici ottenuti e le relative pubblicazioni e, nel grafico di Fig. 37, sono riportati gli spessori di ghiaccio rinvenuti con le indagini georadar, escludendo, quindi, il risultato del profilo geoelettrico ottenuto nel 1990 (Smiraglia & Veggetti, 1992), in quanto relativo ad una metodologia di indagine geofisica diversa e, soprattutto, ritenuto sottostimato dagli autori.

	Autori	Metodi geofisici usati	Titolo Pubblicazione	Rivista
1	Smiraglia & Veggetti	Elettrici (SEV)	<i>Recenti osservazioni sul ghiacciaio del Calderone (Gran Sasso d'Italia, Abruzzo)</i>	Boll. Soc. Geogr. Ital., 1992
2	Fiucci, Gigante, Rossi, Smiraglia & Veggetti	Elettrici (SEV) e GPR	<i>The Calderone Glacier (Gran Sasso d'Italia). Determination of ice thickness and bedrock morphology by means of Radio-Echo Sounding</i>	Geogr. Fis. e Din. Quat., 1997
3	De Sisti, Marino & Pecci	GPR	<i>Indagini georadar sul ghiacciaio Calderone del Gran Sasso d'Italia: primi dati relativi alla ricostruzione del ghiacciaio residuo</i>	GNGTS - Atti del 17° Conv. Naz. - Pub. 02.08, 1998
4	Pecci, De Sisti, Marino & Smiraglia	GPR	<i>New radar surveys in monitoring the evolution of the Calderone glacier (central Apennines, Italy)</i>	Suppl. Geogr. Dinam. Quat., 2001
5	Monaco & Scozzafa	GPR	<i>A preliminary survey for testing operativity and efficiency of GPR technology by means of unshielded antenna for the study of Calderone glacier, Central Italy</i>	Alpine Mediterranean Quaternary, 2017
6	Pettinelli et al.	GPR	<i>Monitoring the last Apennine glacier: recent in situ campaigns and modelling of Calderone glacial apparatus</i>	EGU General Assembly 2020, EGU2020-22579

Tabella 9 – Dati generali relativi alle indagini geofisiche svolte sul ghiacciaio del Calderone dal 1990 in poi.

Il numero di riferimento delle attività è lo stesso usato anche in Tab. 10,
di dettaglio sulle indagini GPR e sui risultati.

N.	Mese/Anno rilievi	Spessore ghiacciaio (m)	Antenna utilizzata dispositivo elettrico	WEB-link/doi della pubblicazione
1	Fine estate 1990	11,7 (min)	SEV (Sondaggio Elettrico Verticale)	Boll. Soc. Geogr. Ital., 1992
2	Luglio 1992	26 (max)	GPR-80 MHz (GSS)	http://www.giaciologia.it/wpcontent/uploads/FullText/full_text_20_2/18_GFDQ_20_2_Fiucci_305_308.pdf

3	Luglio 1998	25 (min)	GPR(SIR2) - 200MHz (GSSI)	http://www3.ogs.trieste.it/gngts/files/1998/Contents/ordinari/02/calderon/htm/calderon.htm
4	Luglio 1999	27 (max)	GPR(SIR2) - 40MHz (GSSI)	http://gfdq.glaciologia.it/sgfdq_v_17_2001/
5	Luglio 2015	26 (max)	GPR – 150 MHz non schermata (Radsys)	http://amq.aiqua.it/index.php/amq-30-1-2017/1-a-preliminary-survey-for-testing-operativity-and-efficiency-of-gpr-technology-by-means-of-unshielded-antenna-for-the-study-of-calderone-glacier-central-italy/file
6	Luglio 2019	In elaborazione	GPR 250 e 500 MHz (Pulse Ekko Pro)	https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-22579

Tabella 10 – Indagini GPR (Ground Penetrating Radar) - Tipo di antenna utilizzata e spessori di ghiaccio ottenuti sul ghiacciaio del Calderone, nel settore centrale della depressione inferiore, dal 1990 in poi. Nel caso di indagini geoelettriche, viene indicato il tipo di dispositivo. Il numero in prima colonna è lo stesso usato anche nella Tab. 9.

Il grafico di Fig. 37 sembra suggerire, nel venticinquennio preso in considerazione, una sostanziale stabilità nello spessore massimo del ghiaccio, che sembrerebbe confermarsi, almeno come ordine di grandezza preliminare, anche dalle elaborazioni, al momento ancora in corso, relative alla campagna di indagini svolta dell'estate 2019.

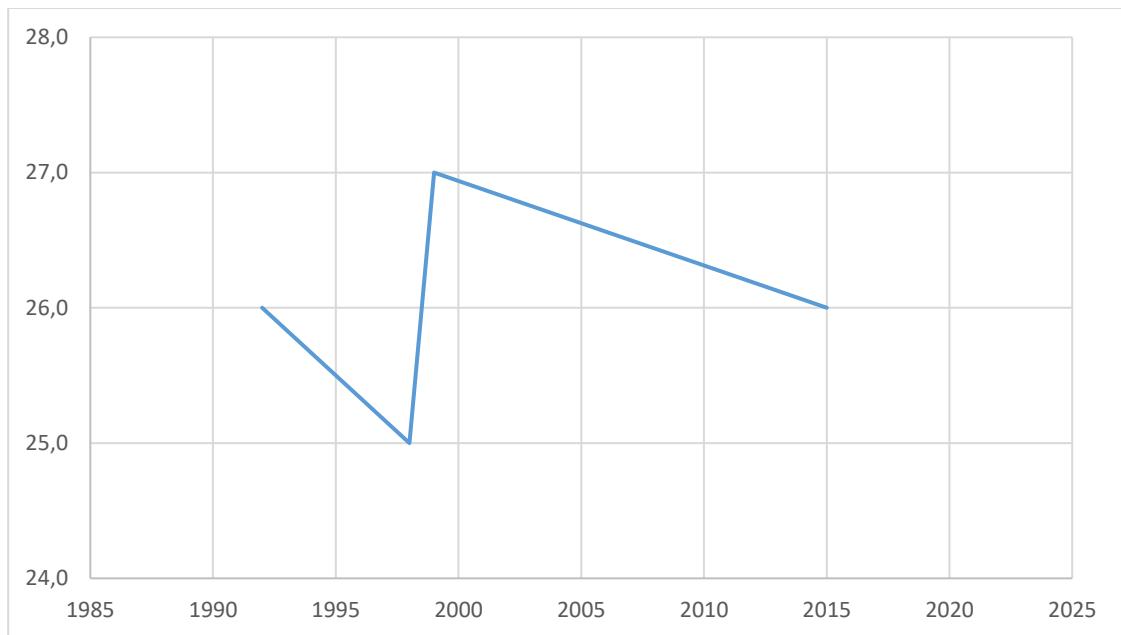


Fig. 37 – Spessori di ghiaccio, misurati, così come descritto nel paragrafo 3.5, al centro della depressione inferiore, tra il 1990 e il 2015

Per la corretta interpretazione dei dati ottenuti dalle indagini geofisiche GPR, bisogna tener conto che nel corso degli anni sono cambiate, in meglio, non solo i dispositivi di acquisizione

dati (antenne e acquisitore), ma anche i software di elaborazione dei dati di campagna e, quindi, i modelli interpretativi. Nell’ambito delle attività del gruppo di ricerca attivo dal 2019 (Tab. 1), una linea di ricerca consiste proprio nella rielaborazione dei dati di campagna raccolti nei precedenti rilievi geofisici con i modelli (e il software) utilizzato per l’ultimo rilievo, del luglio 2019, al fine di rendere confrontabili i dati e poter confermare o definire in maniera più precisa i risultati ottenuti nel grafico di Fig. 37.

In conclusione, si può affermare che, al di là del valore numerico di spessore massimo di ghiaccio residuo e delle variazioni che quest’ultimo ha subito nel corso degli ultimi decenni, (uno dei principali obiettivi che si è posto il gruppo di ricerca attualmente operativo del ghiacciaio del Calderone), la tendenza manifestata dal ghiacciaio sia quella di una certa “stazionarietà”, confermata dai valori di spessori che variano tra i 25 e i 27 m, quindi, con una varianza di circa il 10%.

La migliorata accuratezza nelle misure e nell’elaborazione, raggiunta ora dal metodo georadar, dovrebbe essere in grado di definire in maniera più dettagliata non solo lo spessore massimo, ma anche la distribuzione areale degli spessori, nonché la composizione del ghiaccio e la sua strutturazione (“stratificazione”) interna, in cui la presenza del detrito interglaciale svolge sicuramente un ruolo non trascurabile e può dare indicazioni sulla evoluzione futura dell’apparato.

3.6 Rilievi ed analisi meteorologiche e climatiche

Il Quadro generale climatico è stato delineato, in maniera sintetica, al paragrafo 1.4, in cui è già stato ricordato come alle più alte quote e, in particolare, in corrispondenza dell’area del ghiacciaio del Calderone, le caratteristiche orografiche propizino condizioni climatiche tipiche dell’ambiente alpino, con inverni lunghi ed inizio della primavera ritardato a causa della persistenza della neve al suolo.

Di grande interesse e di riferimento, come in precedenza ricordato, sono i dati meteorologici acquisiti tra le estati del 1998 e del 2004⁶ dalla stazione meteorologica installata dall’ISPESL (Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza sul Lavoro) presso il Rifugio “C.

⁶ In particolare, è stato considerato il periodo 8 gennaio 2002 – 6 gennaio 2003, che è risultato l’unico di funzionamento continuativo della stazione che è stata oggetto di numerosi danni provocati dal maltempo e dai fulmini.

Franchetti” del C.A.I. (2.433 m s.l.m.), nell’ambito della collaborazione con l’Ente Italiano della Montagna (EIM)⁷, entrambi soppressi dalla finanziaria 2010, per il monitoraggio dell’ambiente di alta quota del ghiacciaio del Calderone.

Qui, le precipitazioni hanno mostrato una tipica distribuzione bimodale, con massimo principale nel periodo primaverile e secondario nel periodo estivo, in particolare nel mese di agosto, come anche osservabile nel grafico di Fig. 38.

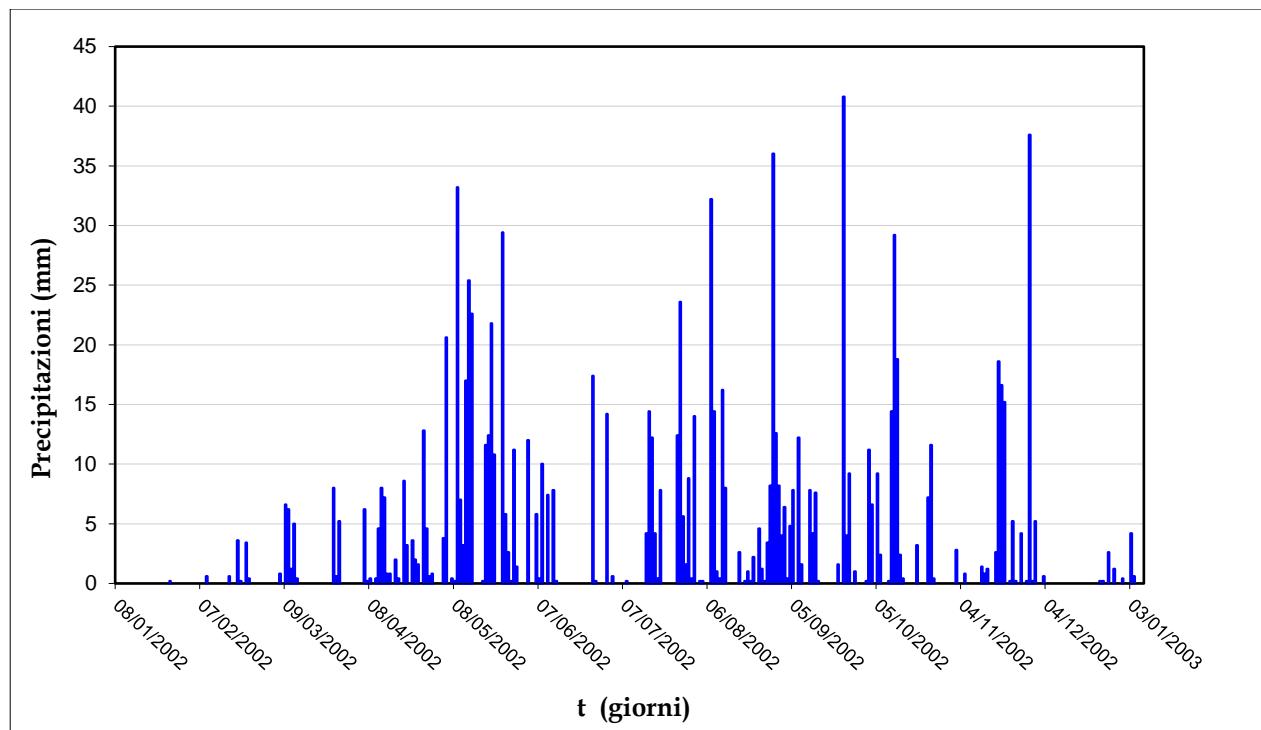


Fig. 38 – Andamento delle precipitazioni giornaliere nel periodo dal 08/01/2002 al 06/01/2003.

Nell’intervallo temporale di riferimento considerato, il valore massimo di precipitazione giornaliera è stato pari a 40,8 mm il 23/09/2002.

Come precedentemente evidenziato, una tale carattere climatico, tipico delle regioni alpine, si pone in forte contrasto con quanto registrato nelle stazioni di misura poste più a valle, come, ad esempio, Pietracamela (1000 m s.l.m.), che vede il massimo principale nella stagione autunnale e quello secondario nella stagione primaverile, manifestando, peraltro, una chiara tendenza alla diminuzione (vedi anche Pecci & Scarascia Mugnozza, 2007).

⁷ Entrambi gli Istituti, ISPESL ed EIM sono stati soppressi ai sensi dell’art. 7, comma 19, del decreto legge 31 maggio 2010 n. 78, convertito con legge 30 luglio 2010 n.122. Con riferimento all’E.I.M., il dPCM 30 novembre 2010 ha trasferito le funzioni (articolo 1), il personale (articoli 2 e 3), le risorse finanziarie (articolo 9), le risorse strumentali (articolo 10) e le partecipazioni societarie (articolo 11) alla Presidenza del Consiglio dei Ministri e al Dipartimento per gli affari regionali.

La distribuzione delle temperature, nell'arco del medesimo anno di analisi (Fig. 39), ha registrato (Pecci & Scarascia Mugnozza, 2007) l'azione di un semestre freddo (anche se non continuativo), contenuto, come durata, da novembre ad aprile, con valori estremi delle temperature negative che si sono spinti anche di diversi gradi al di sotto dello zero. Nell'intervallo temporale di riferimento considerato, il valore massimo della temperatura media giornaliera è stato registrato il 10/07/2002, pari a 15,13 °C, e quello minimo è stato registrato il 15/01/2002, pari a -13,12 °C: anche se gennaio si è dimostrato il mese con il picco più rigido, è, invece, il mese di dicembre quello caratterizzato da temperature mediamente più basse, che non salgono mai al di sopra di 0 °C.

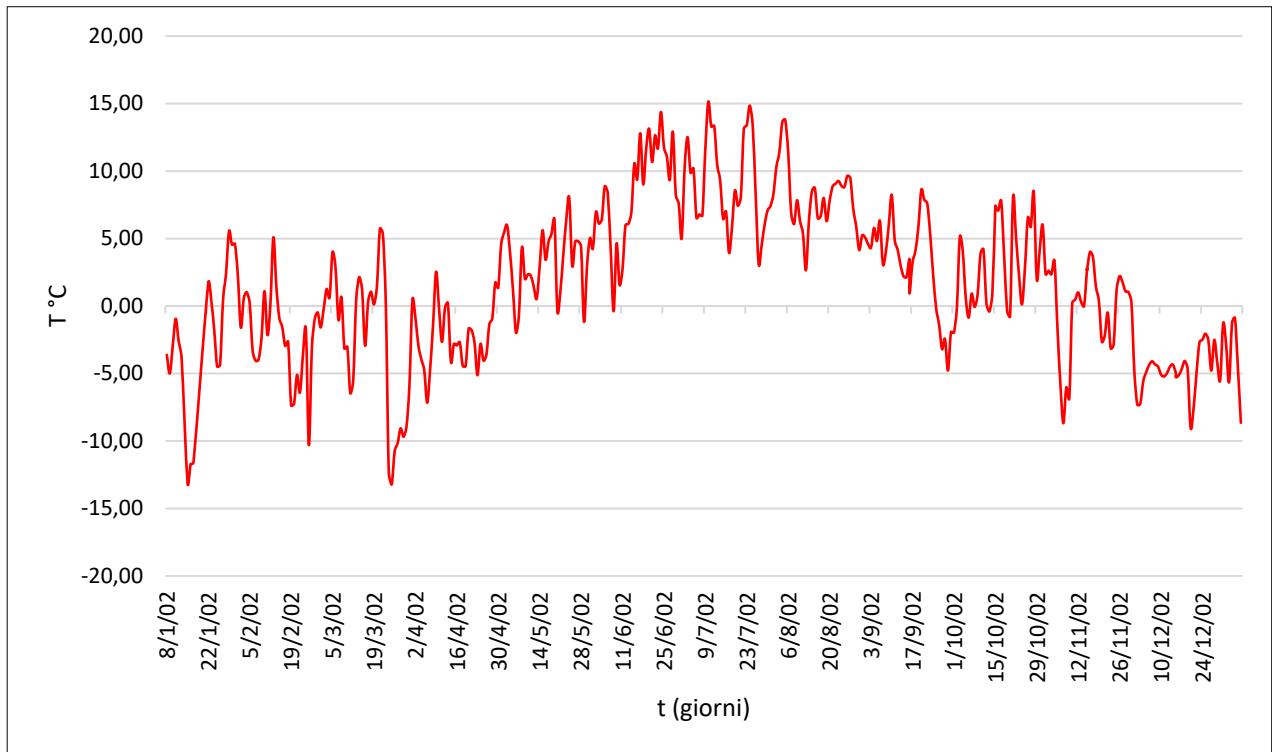


Fig. 39 – Andamento delle temperature medie giornaliere nel periodo dal 08/01/2002 al 06/01/2003.

Dall'estate 2004 la stazione meteorologica dell'ISPESL ha smesso di funzionare e, soltanto a partire dal 13 luglio 2012, è stato possibile avere nuovamente la disponibilità di dati meteorologici, peraltro in tempo reale, grazie all'impegno dell'associazione "AQ. Caputfrigoris" (www.caputfrigoris.it) e alla disponibilità della gestione del Rif. Franchetti. A titolo di esempio, si riportano i dati dell'ultimo anno relativamente ai sensori di precipitazione e temperatura, disponibili, alla data dell'8 giugno 2020, sul sito dell'Associazione, in Fig. 40 e Fig. 41.

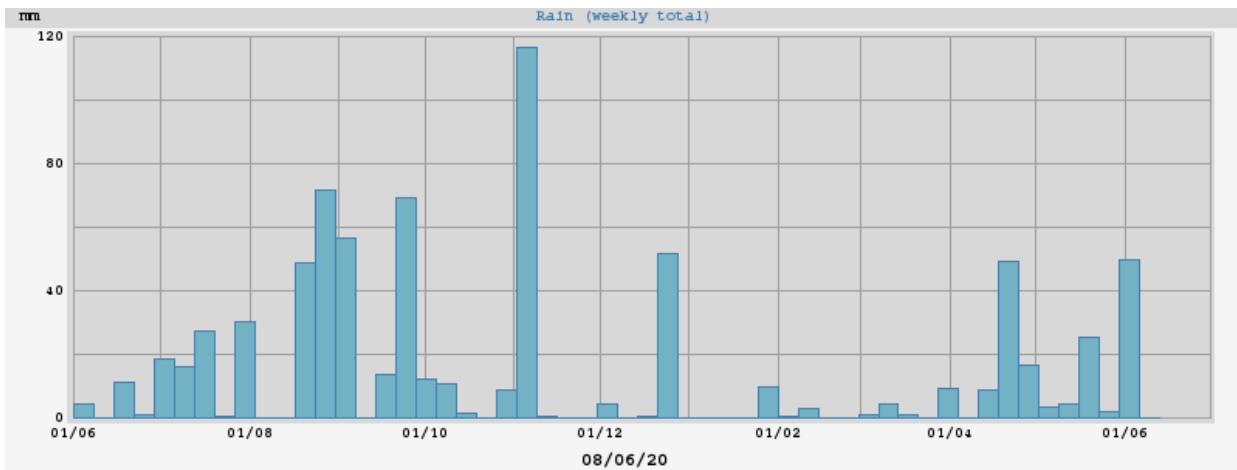


Fig. 40 - Grafico annuale (giugno 2019-giugno 2020) delle precipitazioni in mm, registrati alla stazione meteorologica installata dall'Associazione "AQ Caputfrigoris" presso il Rif. Franchetti a 2.433 m s.l.m. (www.caputfrigoris.it/rete-meteo/franchetti/grafici.htm).

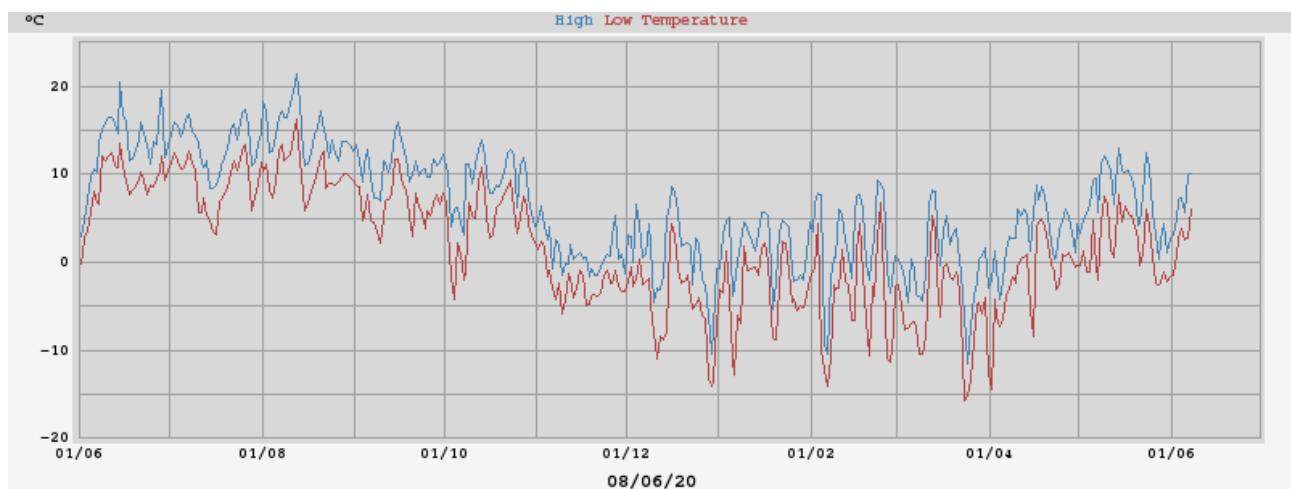


Fig. 41 - Grafico annuale (giugno 2019-giugno 2020) delle Temperature espresse in °C (in blu le max e in rosso le min.), registrate alla stazione meteorologica installata dall'Associazione "AQ Caputfrigoris" presso il Rif. Franchetti a 2.433 m s.l.m. (www.caputfrigoris.it/rete-meteo/franchetti/grafici.htm).

Gli andamenti pluvio-termometrici, discussi nel paragrafo, trovano riscontro negli andamenti dell'ultimo anno, così come registrati e proposti nel sito www.caputfrigoris.it/rete-meteo/franchetti/grafici.htm, in particolare, la persistenza di un minimo pluviometrico secondario in piena estate e di un minimo termico a gennaio, che, nel corso dell'ultimo anno ha avuto anche una replica a fine marzo-inizio aprile, come negli ultimi anni spesso è avvenuto.

Per valutare una tendenza climatica nel lungo periodo, i dati termo-pluviometrici vanno necessariamente considerati congiuntamente a quelli della direzione dei venti prevalenti, tenendo conto anche dei caratteri morfotopografici; di interesse, in questa prospettiva, è lo

studio di Rovelli (2006), supportato da un ricco archivio fotografico (www.glaciersarchive.org/calderone-glacier), che spiega la differente risposta glaciale in dipendenza alla differente dinamica ed evoluzione dei diversi settori glaciali: il circo superiore, alimentato dal trasporto eolico di provenienza occidentale e dalla cattura operata dall'azione della Vetta Occidentale e il circo inferiore, con alimentazione mista: cattura, diretta e parzialmente valanghiva, concludendo che i due settori, destro e sinistro, del bacino d'alimentazione, sin dal XIX secolo, hanno reagito in maniera difforme alle variazioni climatiche, evidenziando che le fasi di progresso del XX secolo hanno interessato solamente il settore superiore e quello sinistro.

3.7 Atlante fotografico

L'atlante fotografico dell'Appendice 2, già richiamato al capitolo 2 e contenente le immagini del ghiacciaio del Calderone ad inizio e a fine stagione di ablazione (dal 1994 al 2019), in relazione agli spessori di neve/nevato, è stato integrato con immagini relative al ghiacciaio, a cadenza circa venticinquennale, e, quindi, scattate nel 1887, nel 1916, nel 1929, nel 1969, nel 1990 e, infine, nel 2015.

Le immagini rendono conto, anche alla sola osservazione, del cambiamento del paesaggio e dell'ambiente dell'alta montagna appenninica non solo nel corso di poco più di un secolo, ma anche nell'arco dell'ultimo periodo (circa trent'anni), come testimoniato dalle ultime due foto.

Si vogliono menzionare anche diversi siti web che contengono numerosi ed interessanti archivi fotografici; tra questi sono senz'altro da visitare il sito www.icorridordelcielo.it/foto-storiche-del-gran-sasso-ditalia/ contenente molte foto, anche artistiche, del Gran Sasso d'Italia, in generale, e del ghiacciaio del Calderone e del Laghetto Sofia, in particolare, ed il sito www.glaciersarchive.org/calderone-glacier/, quasi interamente dedicato a foto storiche dell'apparato.

CAPITOLO 7

DISCUSSIONE

Il ghiacciaio del Calderone, complice anche l'attenzione degli organi di stampa e del grande pubblico, sta sempre più diventando, a partire da fine millennio scorso, il punto di riferimento per tutti gli studi ambientali dell'area; nelle attività di ricerca sin qui presentate e riferite al venticinquennio 1994-2019, si è partiti dai dati glaciologici e nivologici direttamente rilevati sul terreno, per affrontare - sin dall'inizio, con studi interdisciplinari - le dinamiche ecosistemiche e prendere in considerazione le implicazioni spazio-temporali di più ampio respiro, in un quadro di riferimento che, soprattutto all'inizio, evidenziava e confermava gli effetti dei cambiamenti globali in quel piccolo e "sofferente" fazzoletto di ghiaccio, in rapida frammentazione e degradazione.

A seguito del sisma del 6 aprile 2009, è stata anche approfondita l'interazione tra i processi geomorfologici e le dinamiche strutturali più profonde ed efficaci nella promozione di fenomeni di instabilità.

Con l'approfondimento delle ricerche e, di pari passo, con l'evidente affermarsi di fenomeni, talvolta spettacolari, come nel caso della suddivisione dell'apparato in due placche di glacionevato nell'anno 2000, del crollo del Pareteone nell'anno 2006, degli effetti del terremoto a partire dal 2009, della veloce formazione e scomparsa di un vasto lago effimero tardo-estivo nella conca del Calderone, documentata a settembre 2012 e ripetutasi, almeno una volta, a settembre 2016, si è andata via via delineando, per poi affermarsi in maniera chiara, la veloce transizione dall'ambiente glaciale *strictu sensu*, all'ambiente paraglaciale *sensu* Ballantyne, (2002), anche all'interno del circo-vallone del Calderone.

Avendo già affrontato e sviscerato le problematiche geomorfologiche e geografico-fisiche relative alla suddivisione dell'apparato in due glacionevati (principalmente in Pecci, D'Agata & Smiraglia, 2008), del crollo del Pareteone (principalmente in Pecci & Scarascia Mugnozza, 2007) e quelle relative agli effetti del terremoto del 2009 nel Gran Sasso d'Italia (principalmente in Gori *et al.*, 2019), ci si soffermerà ulteriormente, in particolare sulla transizione all'ambiente paraglaciale attivo, prendendo come elemento emblematico, il

laghetto Sofia, considerato una particolarità glaciologica nel secolo scorso e diventato elemento rivelatore del cambiamento climatico in atto, a fine secolo, e testimone della veloce transizione all’attuale fase di crisi climatica, caratterizzata da eventi estremi (Cappelletti *et al.*, 2014).

Riportata in molte pubblicazioni sul ghiacciaio del Calderone e presa come riferimento in Cappelletti et al., 2014 per lo studio delle nuove dinamiche paraglaciali, la formazione del laghetto Sofia è stata attribuita, a partire dalla metà del secolo scorso saltuariamente e in maniera effimera (Tonini, 1952, 1961), ad opera dell’accumulo delle acque di fusione del ghiacciaio, che si raccoglievano al centro della depressione inferiore del circo-vallone, normalmente ad inizio estate, in presenza di abbondante copertura nevosa, estesa all’intera superficie del Calderone.

Le acque di fusione del laghetto, descritto per la prima volta da Tonini (1952 e 1961), venivano sostenute dagli spessori più densi e ghiacciati di neve o, addirittura dallo stesso ghiaccio, per intasamento dell’inghiottitoio posto nella parte più depressa, al di sotto del ghiaccio, ad opera del detrito fine in sospensione o per effetto della eccessiva acqua di fusione.

Di ben diversa origine sono i laghi di maggiori dimensioni che sono stati osservati a partire da fine estate 2012, per poi ripetersi nel 2016, in quanto legati ad eventi meteorici e, quindi, ad afflussi, eccezionali, avvenuti a fine stagione estiva, che hanno contribuito direttamente e con l’azione dei materiali fini in sospensione all’intasamento dell’inghiottitoio: quest’ultimo, qualsiasi sia stata la causa innescante, una volta liberato, ha sempre provocato un rapido deflusso delle acque e la scomparsa del bacino effimero nel breve volgere di poche ore.

Già Tonini (1961) aveva compreso come la formazione del laghetto (di epoca tardo-primaverile, n.d.a.) fosse “un indice interessante dell’andamento della massa glaciale … (con) presenza ed estensione in connessione con l’entità dell’ablazione”: di fatto questo “tipo caratteristico” di laghetto Sofia non è più ri-apparso nel nuovo millennio, lasciando il posto, a partire dalla sua seconda decade, al già descritto lago effimero tardo-estivo e legato ed eventi meteorologici estremi.

Per ulteriori approfondimenti e, soprattutto, per le immagini storiche e di confronto riportate, si rimanda alla collezione disponibile sul web all’indirizzo: www.icorridordelcielo.it/il-laghetto-sofia/.

Nel prospetto riepilogativo di Tab. 11 sono riportate le informazioni principali sul laghetto Sofia e, in Fig. 42, alcune foto particolarmente significative.

Data	Diametro (m)	Profondità (m)	Riferimento	Note
Estate 1946	60		www.icorridordelcielo.it/il-laghetto-sofia/	Tonini, 1952 e 1961
Estati 1947-1951	8 - 15		www.icorridordelcielo.it/il-laghetto-sofia/	Tonini, segnalazione di presenza continuativa del laghetto, che il 9/9/1950 si trovava a 2684 m s.l.m.
Estate 1955	molto ridotto		www.icorridordelcielo.it/il-laghetto-sofia/	Tonini, segnalazione
23/7/ 1967			www.icorridordelcielo.it/il-laghetto-sofia/	V. Martello, segnalazione
Inizio luglio 1988	30	2,0	Smiraglia & Veggetti, 1992	
8/7/1989	25	1,8	Smiraglia & Veggetti, 1992	
4/6/1994	12	1 (stimata)	Pecci <i>et al.</i> , 1997	
15-16/9/2012	120 (stimata)	5,0 (stimata)	Cappelletti <i>et al.</i> , 2014	
8 /9/2016	15-20	1,2	www.icorridordelcielo.it/il-laghetto-sofia/	

Tab. 11 – Prospetto riepilogativo del laghetto Sofia



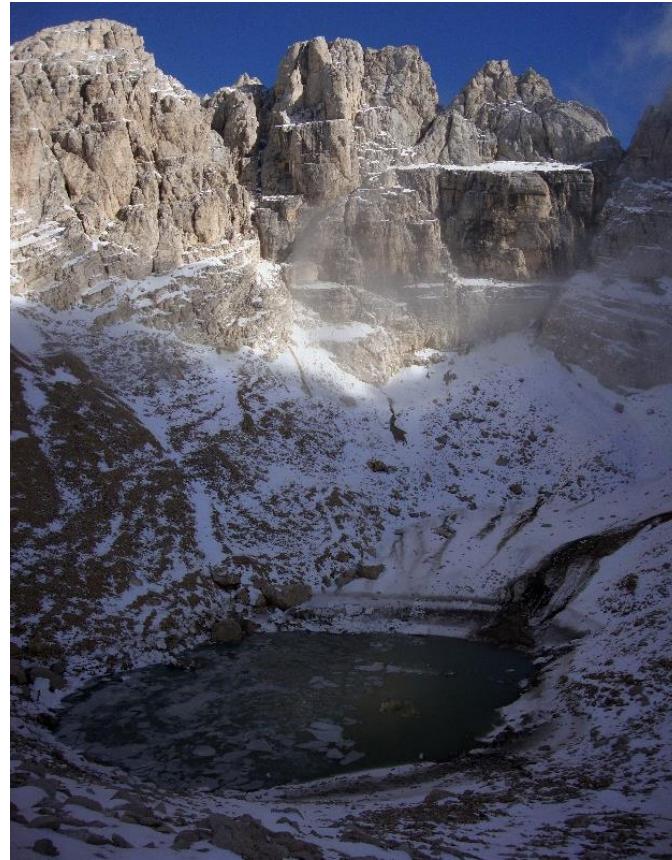
a)



b)



c)



d)

Fig. 42 – Le apparizioni del laghetto Sofia in circa un cinquantennio: a) 18 settembre 1949 (foto D. Tonini), b) inizio luglio 1988 (foto Smiraglia & Veggetti, 1992), c) 4 giugno 1994 (foto M. Pecci) e d) il lago epiglaciale tardo-estivo come appariva il 16 settembre 2012 (foto C. Iurisci).

CAPITOLO 8

CONCLUSIONI

Nella monografia è stato presentato lo stato dell'arte delle ricerche e del monitoraggio venticinquennale sul ghiacciaio del Calderone che, naturalmente, non vuole essere esaustivo, visto che diversi altri ricercatori e appassionati (di cui compiano i lavori in bibliografia o i prodotti web, sotto forma di report o di archivi fotografici, in sitografia) hanno continuato, nel frattempo, le proprie attività.

La monografia, piuttosto, vuole proporsi come uno strumento di condivisione - con gli abitanti dell'area del Gran Sasso d'Italia *in primis* e, più in generale, con il territorio e con i frequentatori e con gli appassionati della montagna - delle informazioni per eventuali, ulteriori, approfondimenti, anche in settori di ricerca non toccati dalle attività sino ad ora svolte e, anche, di esplicitazione dello sforzo di ricerca che ha assorbito risorse umane ed economiche, anche se non ingenti, comunque non trascurabili.

In maniera molto sintetica, i risultati salienti possono essere riassunti nella seguente scheda (Tab. 12), che, quindi, va ad integrare la scheda del ghiacciaio del Calderone di Tab. 7.

Ghiacciaio del Calderone

Bilancio di massa

variazione complessiva di spessore dal 1994 al 2019: *-8,5 m circa*

Massimo spessore di ghiaccio residuo (nella depressione inferiore) nel 2000:

1992: *26 m* (Fiucci et al., 1997)

1998: *25 m* (De Sisti, Marino & Pecci, 1998)

1999: *27 m* (Pecci et al., 2001)

2015: *26 m* (Monaco & Scozzafava, 2016)

2019: *elaborazioni in corso*

Spessori di neve a inizio stagione di ablazione

Spessore massimo di neve (valore medio nei 25 anni): *6,6 m*

Spessore massimo di neve a giugno 2019: *7,1 m*

Spessore di neve al sito della trincea a 2700 m s.l.m. (valore medio nei 25 anni): *4,3 m*

Spessore di neve al sito della trincea a 2700 m s.l.m. a giugno 2019: *4,4 m*

Superficie glaciale

1994: *62.167,5 m²* (apparato unitario)

2017: *21.473 m²*; apparato suddiviso in 2 glacionevati; superiore di *5.949 m²* e inferiore di *15.524 m²* (Pecci et al., 2018)

2019: *23.553 m²*; apparato suddiviso in 2 glacionevati; superiore di *10.193 m²* e inferiore di *13.360 m²* (Pecci et al., in stampa)

Cartografia glaciale

1994: base topografica, carta a scala 1:750 rilevata 1990 e pubblicata in Gellatly et al., 1994
2019: ortofoto ottenuta da volo con drone (settembre 2019), errore in verticale < 0,1 m (Pecci et al., in stampa)
Glaciologia ambientale (Balerna et al., 2001)
Radioattività: <i>picco a 662 keV, tipico del Cesio (Cs-137)</i>
Attività 1995: 0.67 Bq/kg
Attività 1999: 0.22 Bq/kg
Chimica ambientale
1999: misurazione di un "impulso ionico" nelle acque di incipiente fusione della neve al suolo anche sull'alta quota glacialisata del Gran Sasso d'Italia, spiccatamente acido, e presenza sensibile di ossalati, giustificata da una intensa attività fotochimica ossidativa, collegata alla rottura dello strato atmosferico rimescolato e, quindi, all'arrivo in quota di masse d'aria di origine marina (Pecci et al., 2004)
2019: analisi in corso sui principali inquinanti inorganici ed organici, segnatamente sul contributo dei depositi "sahariani" nella modifica chimica e bio-chimica dell'ambiente di alta quota
Meteorologia e climatologia dati rilevati alla stazione ISPESL a 2433 m slm presso il Rif. Franchetti (CAI Roma) dal 08/01/2002 al 06/01/2003
valore massimo di precipitazione giornaliera: 40,8 mm (23/09/2002)
valore massimo della temperatura media giornaliera: 15,13 °C (10/07/2002)
valore minimo: -13,12 °C (15/01/2002)
mese più freddo nel periodo: dicembre (temperature sempre < 0 °C)

Tab. 12 – Caratteristiche e informazioni del ghiacciaio del Calderone integrative rispetto a quelle raccolte in Tab. 7.

Con questi dati riassuntivi, di certo, si può concludere la parte scientifica della monografia, con la speranza che ulteriori studi e ulteriori sforzi di ricerca definiscano meglio i dati ancora incerti e affrontino le nuove sfide ambientali da oggi e fino a quando la più volte menzionata transizione dall'ambiente glaciale a quello paraglaciale non si sarà completata, con la scomparsa di qualsiasi forma di ghiaccio dal circo-vallone del Calderone.

Come altre volte già sottolineato, però, l'importanza del ghiacciaio del Calderone va oltre il suo enorme interesse scientifico, che si è cercato di delineare nel corso della monografia. Indubbiamente questo residuo glaciale al centro del Mediterraneo, in forte sofferenza e prossimo alla fine (nella presente crisi climatica), oltre ad essere un insostituibile laboratorio a cielo aperto, sta indicando una strada nuova di approccio agli studi e alla condivisione degli sforzi, che va sicuramente perseguita. Già a fine decennio scorso, in uno degli ultimi articoli presenti nella rivista SLM-Sopra il Livello, edita dall'Ente Italiano della Montagna, poco prima della sua soppressione nel 2010, l'Autore auspicava di *"coniugare gli studi più approfonditi con le grandi dinamiche planetarie e di tenere insieme, in questo sforzo di conoscenza, ricercatori e alpinisti, montanari e cittadini, professionisti e appassionati di montagna ... attraverso due grossi progetti, che sono ancor prima culturali, che scientifici, e che rilancino l'attività di ricerca nell'area ... un "polo di ricerca sul Gran Sasso d'Italia" che abbia lo scopo di rendere operative le*

sinergie tra mondo della ricerca e espressioni territoriali (pubbliche e private) in maniera tale da razionalizzare gli sforzi e far rendere i pochi fondi per la ricerca disponibili nella maniera migliore, a cominciare dalla promozione della sicurezza ambientale; dall'altra (ma contemporaneamente) proporre la candidatura del Gran Sasso d'Italia come Patrimonio dell'Umanità presso l'Unesco: per la sua unicità come laboratorio naturale, come straordinario modello naturale e didattico di evoluzione geomorfologica e ambientale e come montagna identitaria: in sintesi come montagna che unisce, soprattutto dopo la terribile esperienza del terremoto." (Pecci, 2009b).

Con molta difficoltà e con uno sforzo, oltre che fisico, per raggiungere ed operare alle alte quote, intellettuale da parte dei ricercatori che continuano, caparbiamente, a condurre le attività, spesso in regime di volontariato, si può pensare, per il futuro anche se non al Patrimonio dell'Umanità, almeno alla trasmissione della conoscenza della risorsa presente nell'area alla popolazione residente (i montanari), in particolare alle più giovani generazioni, per tenere viva una attenzione ed una passione che il Gran Sasso d'Italia e il suo ghiaccio sommitale, di certo, meritano.

RINGRAZIAMENTI

L'Autore ringrazia:

- i vertici della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Ministro e Capo Dipartimento per gli affari regionali e le autonomie, per aver concesso l'opportunità di svolgere il progetto personale di *Smart Working*, finalizzandolo alla realizzazione della presente monografia;
- il Comitato Glaciologico Italiano, in particolare, i colleghi Responsabili di settore delle campagne glaciologiche, che si sono avvicendati negli anni, per la pazienza nell'opera di revisione ed omogeneizzazione dei dati del ghiacciaio del Calderone e, tra i Presidenti, in particolare il Prof. Claudio Smiraglia, per i consigli e per gli iniziali insegnamenti sui principi della Glaciologia, e il Prof. Massimo Frezzotti, per la comune attenzione nei confronti del Gran Sasso d'Italia;
- il Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga, in particolare il Direttore, Ing. Alfonso Calzolaio, e il dr. Carlo Catonica, per la proficua, ventennale, collaborazione;
- il personale del Rif. Carlo Franchetti del Club Alpino Italiano (C.A.I.), sezione di Roma, in particolare il gestore Luca Mazzoleni, per la disponibilità, l'amicizia e il sostegno logistico durante tutto il venticinquennio di misure;
- i ricercatori e i tecnici del Servizio Geologico, che tanto hanno contribuito nelle fasi iniziali del lavoro di monitoraggio, di analisi GIS e di restituzione cartografica e alla rilettura finale: in particolare Renato Ventura e Silvana Falcetti e, non ultimo, Maurizio d'Orefice, per il sostegno nei primi anni di monitoraggio e, in questi giorni per la rilettura attenta e preziosa della monografia;
- Fabrizio Lombardi e Thomas di Fiore, Associazione meteorologica AQ *Caputfrigoris*, L'Aquila, per la disponibilità e la gentile condivisione di alcuni dati meteorologici;
- tutti gli appassionati e gli alpinisti, anche quelli, involontariamente, non citati, che hanno fornito supporto nelle misure e informazioni in tutti questi anni.

BIBLIOGRAFIA

AA. VV. (2007) - *Gran Sasso d'Italia - I fenomeni franosi: analisi e proposte.* Atti della Tavola Rotonda del 2 dicembre 2006. Provincia di Teramo.

ABBATE E. (1881) - *Ascensione del Gran Sasso d'Italia (m. 2921),* in "Bollettino del Club Alpino Italiano", Sede di Torino, Anno 1881, Vol. XV, n. 45, Torino, 1881, pag. 469-473.

ADAMOLI L. (1990) - *Idrogeologia del massiccio carbonatico del Gran Sasso e conseguenze idrogeologiche degli scavi autostradali.* Geologia tecnica "Rivista dell'ordine nazionale dei geologi, 3, pagg. 4-15.

ADAMOLI L. (1992) - *Evidenze di tettonica d'inversione nell'area del Corno Grande- Corno piccolo (Gran Sasso d'Italia),* in "Bollettino della Società Geologica Italiana", 111, 53-66.

ALESSANDRI D. (2006) - *L'Alpinismo di Francesco De Marchi,* Bollettino del C.A.I., Sez. dell'Aquila, IV serie, n. 15 (n. 179 dell'intera collezione), giugno 2006 (Atti del Convegno di studi "Cinquecento anni fa - La nascita di Francesco De Marchi, 1504 - 1576", L'Aquila, maggio 2005).

ANAS-COGEFAR (1980) - *Gran Sasso, il traforo autostradale,* Ed. Grafiche Sefra, Milano

BAGNAIA R., CATONICA C., BIANCO P.M., CERALLI D. (2017) - *Carta della Natura del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga - Note illustrate alla Carta degli Habitat alla scala 1:25.000.* ISPRA, Serie Rapporti, 274/2017.

BALERNA A., BERNIERI E., ESPOSITO A., PECCI M., SMIRAGLIA C. (2001) - "Cs-137 gamma peak detection in snow layers on Calderone glacier", in "Global Change and Protected Areas" (G. Visconti, M. Beniston, E. Jannorelli & D. Barba Edts.), Advances in Global Change Research, Vol. 9, 147-152. Kluwer Academic Publishers.

BALLADA DI SAINT-ROBERT P. (1871) - *Gita al Gran Sasso d'Italia. Luglio 1871. Nota geologica di Giacinto Berruti, Nota Ipsometrica, nota bibliografica di Paolo St. Robert contiene inoltre degli schizzi di "Tommaso Gilli" sul G.S., una vista di Isola del Gran Sasso, del Corno Grande e del G.S. visto da Cesa di Francia,* Torino, Vincenzo Bona Tipografo di S.M., 1871.

BALLANTYNE C.K. (2002) - *Paraglacial Geomorphology,* in «Quaternary Science Reviews», 21, 1935-2017.

BRANDA E., TURCHETTI B., DIOLAIUTI G., PECCI M., SMIRAGLIA C., BUZZINI P. (2010) - *Yeast and yeast like diversity in the southernmost glacier of Europe (Calderone Glacier, Apennines, Italy),* FEMS Microbiology Ecology, 1-16.

BUZZINI P., TURCHETTI B., BRANDA E., GORETTI M., SMIRAGLIA C., DIOLAIUTI G. & PECCI M. (2010) - *C'è vita microbica nel ghiacciaio del Calderone*. Biodiversità Italiana. 3, 21-21.

CALAMITA F., SCISCIANI V., ADAMOLI L., BENM'BAREK M., PELOROSSO M. (2002) - *Il sistema a thrust del Gran Sasso d'Italia (Appennino Centrale)*, Studi Geologici Camerti, Nuova serie, 1, 19 -32.

CALAMITA F., VIANDANTE M. G., ESESTIME P., PALTRINIERI W., SCISCIANI V. (2006) - *Appennino Centrale e meridionale a confronto*, Atti della 83° riunione estiva della Società Geologica Italiana, Chieti 12-16 settembre 2006.

CAPPELLO A. (1828) - *Sopra un nuovo fenomeno geologico al Gran Sasso d'Italia, discorso di Agostino Cappello letto all'Accademia de' Lincei nel di 29 settembre 1828*, Roma, Nella Stamperia del Giornale Arcadico, presso Antonio Boulzaler.

CAPPELLETTI D., CROCCHIANTI s., D'AQUILA P., IURISCI C., PECCI MASSIMO & PECCI MATTIA (2014) - *The Ephemeral Epiglacial Lake of the Ghiacciaio del Calderone*, Riv. Geogr. Fis. e Din. Quat., 37 (2014), 85-89, 5 figg. (DOI 10.4461/GFDQ.2014.37.10).

CATONICA C. & MANZI A. (s. a.) - *L'influenza della storia climatica e geologica recente sulla flora d'alta quota dei gruppi montuosi del Gran Sasso e della Majella (Appennino Centrale)*.
<http://www.gransassolagapark.it/Pdf/progetti/PNGSLprogetti106-1.pdf>

CAVINATO G.P. & DE CELLES P.G. (1999) - *Extensional basins in the tectonically bimodal central Apennines fold-thrust belt, Italy: Response to corner flow above subducting slab in retrograde motion*. Geology, 27, 955-958.

CELICO P. (1983) - *Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale: Progetti speciali per gli schemi idrici nel Mezzogiorno*. Quad. Cassa Mezzogiorno, 4/2, 1-225.

COLEMAN E. (1881) - *Ascensione del Gran Sasso d'Italia, 27-28 maggio 1881*, Roma, Club Alpino Italiano, sezione di Roma.

COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO - CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE (1962) - *Catasto dei ghiacciai italiani - Ghiacciai delle Tre Venezie e dell'Appennino*, Torino.

CRESTA R. (2000) - *La neve e le valanghe*. Mulatero Editore, Ciriè (CN)

D'AMATO F. (1888) - *Il Gran Sasso D'Italia. Ascensioni sul Monte Corno*, Teramo, Stab. Tipografo Q. Scalpelli e Figlia, 1888.

D'AGOSTINO N., CHAMOT-ROOKE N., FUNICIELLO R., JOLIVET L., SPERANZA F. (1999) - *The role of pre-existing thrust faults and topography on the style of extension in the Gran Sasso range (central Italy)*, Tectonophysics 292, 229-252.

D'ALESSANDRO L. & PECCI M. (2001) - *Valanghe sul Gran Sasso d'Italia: nota preliminare*. IV Convegno dei giovani ricercatori di Geologia Applicata, CNR-GNGA, 22-24 Ottobre 1998, Chieti, Mem. Soc. Geol. It., 56, 315-320. Roma.

D'ALESSANDRO L., DE SISTI G., D'OREFICE M., PECCI M., VENTURA R. (2003) - *Geomorphology of the Summit Area of The Gran Sasso d'Italia (Abruzzo Region, Italy)*, Geogr. Fis. Din. Quat., 26, 125-141.

D'AQUILA P. & PECCI M. (2006) - *Neve sull'Appennino centrale inverno 2005-2006. Condizioni meteoclimatiche in Appennino Centrale nel corso dell'inverno 2005-06 ed implicazioni sulla stabilità del manto nevoso*. Rivista AINEVA "Neve e Valanghe", n. 58, 14-21.

D'AQUILA P., PECCI M. & PIGNOTTI S. (2009) - *Applicazioni sperimentali GPS e Laser-GPS ai recenti bilanci di massa glaciali del Ghiacciaio del Calderone: risultati e prospettive*. Mem. Soc. Geogr. It., LXXVII, 557-568.

D'OREFICE M., LEDONNE L., PECCI M., SMIRAGLIA C. & VENTURA R (1995) "Nuovi dati sull'alimentazione nevosa del Ghiacciaio del Calderone (Gran Sasso d'Italia - Appennino Centrale)". Atti Conv. "Cento anni di ricerca glaciologica in Italia", Torino 19-20 ottobre 1995, Geogr. Fis. e Din. Quat., 18, (2): 1 fig., 2 tabb. Torino.

D'OREFICE M. & PECCI M. (1996) - *Relazioni della Campagna glaciologica 1995 Ghiacciaio del Calderone*. - Rivista di geografia fisica e dinamica quaternaria, vol. 18 (1), pag. 198

D'OREFICE M., PECCI M., SMIRAGLIA C., VENTURA R. (2000) - *Monitoring of the Calderone Glacier (Gran Sasso d'Italia Mountain Group) with GIS Technologies*. Arctic, Antarctic and Alpine Research, 32 (2), 197-201, Boulder, Colorado.

D'OREFICE M., GRAZIANI R., SILVESTRI F., & SMIRAGLIA C. (2000) - *The Natural Laboratory of the Calderone Glacier in the Gran Sasso d'Italia Mountain Group: a Geosite to Know, to Protect and to Manage*. Mem Descr. Carta Geol. It., LIV, 407-412. Roma.

DELFINO O. (1796) - *Osservazioni di Orazio Delfino su di una piccola parte degli Appennini dirette a sua eccellenza il Signor Marchese D. F. Mazzocchi*, Pres. del S. R. Cons., Bibl. Prov., L'Aquila, cui si aggiungono, *Osservazioni su di una piccola parte degli Appennini della detta provincia*, in "Dell'Interamnia Pretuzia memorie di Gio. Bernardino Delfino presidente della Società di Agricoltura della provincia di Teramo, cui si aggiungono le Osservazioni di Orazio Delfino su di una piccola parte degli Appennini della detta provincia", Napoli, Stamperia reale, e in "Bollettino del Club Alpino Italiano", Anno 1871, Vol. V, n. 18, Torino, 1871, pag. 222-235.

DE MARCHI F. (1573) - *Carte 7-14 Cod. Man. Magliabechi*, cl. XVII, a. 3, Atti Bibl. Naz., II, I, 277-280, Firenze.

DE ROSA P.A., TRASTULLI P.E. (1988) - *I pittori Coleman*, Studio Ottocento, Roma

DE SISTI G., MARINO A. & PECCI M. (1998). "Indagini georadar sul ghiacciaio del Calderone del Gran Sasso d'Italia: primi dati relativi alla ricostruzione del ghiacciaio residuo". GNGTS - Atti del 17° Convegno Nazionale - Pubblicazione 02.08.

DE SISTI G., MONOPOLI S. & PECCI M. (2004) - *Valanghe sul Gran Sasso d'Italia*. Neve e Valanghe. 52, 20-33.

DE VIRGILIIS P. (1837) - *Una gita al Gran Sasso D'Italia e descrizione di esso. Lettera di P. De Virgiliis al Ch. Barone Sig. Giuseppe Nicola Durini*, in "Giornale Abruzzese", n. X, aprile, mag. e giugno 1837 - Chieti, pubblicata per la prima volta nel n. XVIII del Progresso delle Scienze, Lettere e Arti di Napoli.

DEMANGEOT J. (1965) - *Les plateaux du Gran Sasso e la chaine du Gran Sasso*, in «Geomorphologie des Abruzzes Adriatiques», C. N. R. S., Paris.

DI ELEONORA S., EUGENI F. & RANALLI L. (2012) - *Atlante storico del Gran Sasso d'Italia-Repertorio per un'iconografia generali (secoli XVI-XX)*, Ricerche&Redazioni Edizioni

DI MAURO B., GARZONIO R., BACCOLO G., FRANZETTI A., PITTINO F., LEONI B., REMIAS D., COLOMBO R., ROSSINI M. (2020) - *Glacier algae foster ice-albedo feedback in the European Alps*. SCIENTIFIC REPORTS, 10(1).

DI SABATINO V., MANETTA M., SCIANNAMBLO D., SPIZZICO M., TALLINI M. (2005) *Caratterizzazione del circuito delle acque sotterranee degli acquiferi carsici tramite lo studio del contenuto in Radon delle sorgenti del Gran Sasso (Italia centrale)*. Giornale di Geologia Applicata 2 (2005) 445-452.

DRAMIS F. & KOTARBA A. (1994) - *Geomorphological evidences of high mountain permafrost in central Appennines*. Rivista di Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 17, pp. 29-36.

DRAMIS F., FAZZINI M., PECCI M., SMIRAGLIA C. (2003) - *The Geomorphological Effects of Global Warming in the Calderone Glacier Area (Central Apennine, Italy)*. in Extended Abstracts del Convegno internazionale Climate Changes, Active Tectonics and Related Geomorphic Effects in High Mountain Belts and Plateaux, Addis Abeba, Etiopia, 9-10 dicembre 2002

ENTE PARCO NAZIONALE DEL GRAN SASSO E MONTI DELLA LAGA - www.gransassolagapark.it/pagina.php?id=42

FARRONI A., PETITTA M., TALLINI M., TOGNA A. (1999) - *Inquadramento idrogeologico del Gran Sasso: revisione dei dati esistenti e nuove considerazioni*. Workshop nazionale sulle acque, Teramo, 24 ottobre 1997. Studi Geologici Camerti, vol.spec. 1999, 117-135.

FEDERICI P.R. (1979) - *Una ipotesi di cronologia glaciale Wurmiana, tardo e post-Wurmiana nell'Appennino Centrale*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 2, 196-202.

FEDERICI E., MONTALBANI E., MORONI B., SCARGETTA S., CASTELLINI S., SELVAGGI R., SEBASTIANI B., D'AQUILA P., PECCI M., FRANZETTI A., CAPPELLETTI D. (2015) - *Effects of Saharan Dust Storms on the Diversity and Composition of the Microbiota in Mountain Glacier Snow*. Abstracts of the 13th Symposium on Bacterial Genetics and Ecology (BAGECO). Milano, Italy. June 14-18, 2015. P GCEH 41. 121

FINARTE (1994) - *Edward Lear "Il viaggio come avventura estetica"*, Mostra e Catalogo a cura di A. Porro.

FIUCCI A., GIGANTE B., ROSSI C., SMIRAGLIA C., VEGGETTI O. (1997) - *The Calderone Glacier (Gran Sasso d'Italia). Determination of Ice Thickness and Bedrock Morphology by Means of Radio-Echo Sounding*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 20, 305-308.

FORTUNATO G. (1874) - *I. dal versante di Teramo*, in "Bollettino del Club Alpino Italiano" sez. Aquila, 1994 III serie, n. 29 (157) L'Aquila, 1994, e in *Un'Escursione di Giustino Fortunato sul Gran Sasso d'Italia* di Carlo de Matteis, Aquila, 1994.

FRESHFIELD D. W. (1878) - *Il Gran Sasso D'Italia*, in "Bollettino del Club Alpino Italiano" sede di Torino, Anno 1878, Vol. XII, n° 33, Torino, 1878 e in "Club Alpino Italiano" - Sezione di Isola del Gran Sasso, Isola del Gran Sasso, 1991, tratto da "The Alpine Journal" - Londra 1878, Vol. VIII - n° 59.

FRIETZSCHE G. E. (1887) - *Carta Topografica del Gran Sasso d'Italia*, Ist. Cart. Ital., Rolla, Roma.

GELLATLY A.F., SMIRAGLIA C., GROVE J.M., LATHAM R. (1994) - *Recent variations of Ghiacciaio del Calderone, Abruzzi, Italy*, Journal of Glaciology, 40, 486-490.

GIRAUDI C. (2000) - *Le oscillazioni oloceniche del ghiacciaio del Calderone, Gran Sasso d'Italia (Abruzzo-Italia)*, in «Italian Journal of Quaternary Sciences», vol. 13, 1-2, pp. 31-36.

GIRAUDI C. (2002) - *Le oscillazioni del Ghiacciaio del Calderone (Gran Sasso d'Italia, Abruzzo - Italia Centrale) e le variazioni climatiche degli ultimi 3000 anni*. Il Quaternario, 15 (2), 149-154.

GHISSETTI F. & VEZZANI L. (1990) - *Stili strutturali nei sistemi di sovrascorrimento della Catena del Gran Sasso d'Italia (Appennino Centrale)*, in "Studi Geol. Camerti" - volume speciale Atti del convegno "Neogene Thrust Tectonics" Esempi da Alpi Meridionali, Appennino e Sicilia, 37-50.

GORI S., FALCUCCI E. & GALADINI F. (2019) - *Ricordando il terremoto del 6 aprile 2009: 3) Geologia e paleosismologia delle faglie abruzzesi*. <https://ingyterremoti.com/2019/04/19/ricordando-il-terremoto-del-6-aprile-2009-3-geologia-e-paleosismologia-delle-faglie-abruzzesi/>

GRAZZINI L. & ABBATE P., (1992) - *Gran Sasso d'Italia*, Club Alpino Italiano - Touring Club Italiano - Guida dei Monti d'Italia.

HANSPETER L., WEINGARTNER R. & GROSJEAN M. (1998) - *Mountains of the world: water towers for the 21st century*. University of Bern.

IAHS-UNEP-UNESCO (1989) - *World Glacier Inventory, Status 1988*, Teufen.

ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) - Servizio Geologico d'Italia (in stampa) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - Foglio 349 Gran Sasso d'Italia. A cura di L'Adamoli, F. Calamita & A. Pizzi, "pubblicato sul sito web ISPRA https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/349_GRANSASSO/Foglio.html"

ISTITUTO TOPOGRAFICO MILITARE (1885) - *Carta del Gran Sasso d'Italia*, Bibl. Ist. Geogr. Mil., Firenze

ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE-IGM (1955) - Tavoletta "Gran Sasso d'Italia", Firenze.

JAURAND E. (1999) - *Il glacialismo negli Appennini. Testimonianze geomorfologiche e riferimenti cronologici e paleoclimatici. [The Glaciation in the Apennines: Geomorphological Witnesses, and Chronological and Paleoclimatic References]*. Bollettino della Società Geografica Italiana, Ser. XII, 4, 399-432.

MANN M. E. (2002) - *Little Ice Age*, in: Encyclopedia of Global Environmental Change, Vol. 1, The Earth system: physical and chemical dimensions of global environmental change, Editor-in-Chief Ted Munn, pp 504-509, John Wiley & Sons.

MARINELLI O. & RICCI L. (1916) - *Alcune osservazioni sul ghiacciaio del Gran Sasso*. Riv. Geogr. Ital., Firenze, 1916, pp. 399-405.

MASSOLI-NOVELLI R. & PETTITTA M. (1997) - *Hydrogeological impact of the Gran Sasso Tunnels*, Abruzzi, Italy. In Marinos P.G., Koukis G.C., Tsiambaos G.C. & Stournaras G.C. (Eds.): Engineering Geology and the Environment. IAEG Int. Symp. Athens, pagg. 2785-2790.

MONACO A. & SCOZZAFAVA M. (2017) - *A preliminary survey for testing operativity and efficiency of GPR technology by means of unshielded antenna for the study of Calderone Glacier, Central Italy*, Alpine and Mediterranean Quaternary, 30 (1), 2017, 5 - 10

MONJOIE A. (1975) - *Prévision et contrôle des caractéristiques Hydrogéologiques dans les tunnels du Gran Sasso (Apennin- Italie)*. - Coll. Pubbl. Fac. Scienze Appl. Univ., Liegi

MONTALBANI E., MORONI B., SELVAGGI R., SEBASTIANI B., PECCI M., D'AQUILA P., CENCI G., CAPPELLETTI D., FEDERICI E. (2014) - *Impact of desert dust deposition on the bacterial community of mountain glacier snow*. Proceedings of the XIII FISV Congress. Pisa, Italy. September 24-27, 2014. P7.10. pagg. 59-60.

PANNELLA G. (1894) - *Centenario della prima ascensione al Gran Sasso d'Italia compiuta da Orazio Delfico il 30 luglio 1794*, in "Rivista Abruzzese di Scienze, Lettere ed Arti", Anno IX (1894), fasc. VIII-IX, Teramo, 1894 pag. 422-434.

PANSA G. (1895) - *Una Gita al Gran Sasso d'Italia fatta nel secolo XVI. Curiosità storiche*, in "Rivista Abruzzese di scienze, lettere ed arti", Anno X (1895), fasc. II, Teramo, 1895, pag. 53-58.

PATACCA E. & SCANDONE P. (2006) - *La geologia dell'Abruzzo nel quadro dell'evoluzione cinematica degli archi appenninici*, Atti della 83° riunione estiva della Società Geologica Italiana, Chieti 12-16 settembre 2006.

PECCI M. (2001) - *The historical and iconographic research for the reconstruction of the variation of the Calderone glacier: State of the art and perspectives*, Advances in Global Change Research, Vol. 9: "Global Change and Protected Areas", 505-512, Kluwer Academic Publishers.

PECCI M. (2006a) - *Dal "Corno monte" al Gran Sasso. SLM - Sopra il Livello del Mare*, 29, 8-15.

PECCI M. (2006b) - *Il Ghiacciaio del Calderone. Testimoni di una montagna scomparsa. Contributo alle metodologie d'indagine delle forme periglaciali relitte. Problematiche e applicazioni in differenti ambienti morfodinamici*, Quaderno della Montagna n. 8, a cura di: A. Chelli, P. d'Aquila, M. Firpo, S. Ginesu, M. Guglielmin, M. Pecci, M. Pappalardo, T. Piacentini, C. Queirolo, G. Robustelli, F. Scarmiglia, S. Sias, C. Tellini. Bonomia University Press, Bologna.

PECCI M. (2007) - *The shrinkage of the central Mediterranean cryosphere in a changing mountain environment*, Mountain Forum Bulletin, VII, 2 - July 2007.

PECCI M. (2009a) - *Neve e sabbia sull'Appennino centrale - Quadro nivo-meteorologico generale e risposta del manto nevoso, caratterizzato dall'alternanza di nevicate e sciroccate nell'inverno 2008-2009 in Appennino Centrale*. Rivista AINEVA "Neve e Valanghe", 67, 20-27.

PECCI M. (2009b) - *Il Gran Sasso d'Italia, un laboratorio naturale per lo studio e la prevenzione dei fenomeni ambientali*. SLM - Sopra il Livello del Mare, 35, 58-63.

PECCI M., SMIRAGLIA C. & D'OREFICE M. (1997) - *Il ghiacciaio del Calderone*. Rivista neve e valanghe AINEVA, 32, novembre 1997, 46-57. Trento.

PECCI M. & SMIRAGLIA C. (2001) - *Valorizzazione e protezione di un sito di grande rilevanza geografica e geomorfologica: il ghiacciaio del Calderone, Gran Sasso d'Italia (Abruzzo)*. Atti del convegno Internazionale "Ghiacciai e aree protette: Conoscenza, Conservazione, Valorizzazione", Sondrio, Italia, 30 ottobre 1997, 55-63. Sondrio.

PECCI M., DE SISTI G., MARINO A. & SMIRAGLIA C. (2001) - *New radar surveys in monitoring the evolution of the Calderone glacier (Central Apennines, Italy)*. Convegno Glaciologico Italiano - Risposta dei ghiacciai alpini ai cambiamenti climatici, Bormio 9 - 12 Settembre 1999, in: Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat., V (2001), 145-150, 7 figg. Torino.

PECCI M., SMIRAGLIA C., BERNIERI E., BALERNA A., MARINO A. (2001) - *Ghiacciaio del Calderone*; in: *Relazioni della Campagna glaciologica 2000*, Armando E., Baroni C. & Zanon G. (Eds.), Rivista Geogr. Fis. Din. Quat., Vol. 24 (II), pag. 261

PECCI M. & ALTRI (2002) - *Ghiacciaio del Calderone*; in: *Relazioni della Campagna glaciologica 2001*, Armando E., Baroni C. & Zanon G. (Eds.), Rivista Geogr. Fis. Din. Quat., Vol. 25 (2), pagg. 199-200

PECCI M. & D'AQUILA P. (2004) - *Ghiacciaio del Calderone*; in: *Relazioni della Campagna glaciologica 2003*, Armando E., Baroni C., Meneghel M. & Zanon G. (Eds.), Rivista Geogr. Fis. Din. Quat., Vol. 27 (2), pag. 225.

PECCI M., SMIRAGLIA C., MAGGI V., RINALDINI R. D'AGATA C., DIOLAIUTI G., MARINONI A., POLESELLO S., VALSECCHI S., DEAMICIS M. & FILIPPAZZI M. (2004) - *Il glacialismo e la criosfera in area mediterranea come indicatori degli effetti delle attività industriali sugli ambienti di vita*. Prevenzione Oggi. numero unico 2002-2003, 5 - 43.

PECCI M. & D'AQUILA P. (2005) - *Ghiacciaio del Calderone*; in: *Relazioni della Campagna glaciologica 2004*, Armando E., Baroni C. & Meneghel M. (Eds.), Rivista Geogr. Fis. Din. Quat., Vol. 28 (2), pag. 208.

PECCI M. & SMIRAGLIA C. (2006) - *Mass balance of the Calderone Glacier over 10 years, and issues related to a reducing glacier in a changing central Mediterranean cryosphere*, Abstract of International Symposium on Cryospheric Indicators of Global Climate Change. Cambridge, England 21-25 august 2006

PECCI M. & D'AQUILA P. (2006) - *Ghiacciaio del Calderone*; in: *Relazioni della Campagna glaciologica 2005*, Armando E., Baroni C. & Meneghel M. (Eds.), Rivista Geogr. Fis. Din. Quat., Vol. 29 (2), pag. 266.

PECCI M. & SCARASCIA MUGNOZZA G. (2007) - *Assetto generale del territorio*. In: PECCI M., SCARASCIA MUGNOZZA G. (Eds) - *Il Gran Sasso in movimento*, Acta n. 2 dei Quaderni della Montagna, Bononia University press, Bologna.

PECCI M. & SCARASCIA MUGNOZZA G. (2007) - *Il Gran Sasso in movimento*, Acta n. 2 dei Quaderni della Montagna, Bononia University press, Bologna.

PECCI M., D'AQUILA P. & PIGNOTTI S. (2007) - *Ghiacciaio del Calderone*; in: *Relazioni della Campagna glaciologica 2006*, Baroni C., Meneghel M. & Mortara G. (Eds.), Rivista Geogr. Fis. Din. Quat., Vol. 30 (2), pagg. 312-313.

PECCI M., D'AGATA C. & SMIRAGLIA C. (2008) - *Ghiacciaio del Calderone (Apennines, Italy): the mass balance of a shrinking mediterranean glacier*, - Rivista di geografia fisica e dinamica quaternaria, vol. 31 (2008), 55-62.

PECCI M., D'AQUILA P., ZANONER T. & LOMBARDI L. (2008) - *Ghiacciaio del Calderone*; in: *Relazioni della Campagna glaciologica 2007*, Baroni C., Meneghel M. & Mortara G. (Eds.), Rivista Geogr. Fis. Din. Quat., Vol. 31 (2), pag. 322.

PECCI M., D'AQUILA P., VALT M., CAGNATI V., CORSO T., PRAOLINI A., MERALDI E., BERBENNI F., KAPPENBERGER G., FREPPAZ M., DELLA VEDOVA P. & FILIPPA G. (2009) - *La qualità ambientale della neve "in trincea - Risultati del triennio di attività di rilevamento dei dati chimico-ambientali speditivi nel corso dell'esecuzione di profili del manto nevoso*. Rivista AINEVA "Neve e Valanghe", n. 66, 32-41.

PECCI M., D'AQUILA P. & LOMBARDI L. (2009) - *Ghiacciaio del Calderone; in: Relazioni della Campagna glaciologica 2008*, Baroni C., Meneghel M. & Mortara G. (Eds.), Rivista Geogr. Fis. Din. Quat., Vol. 32 (2), pag. 315.

PECCI M. & D'AQUILA P. (2010) - *Zonazione delle aree valanghive a partire dalla suscettibilità al distacco di valanghe. Una proposta metodologica e operativa dopo un quinquennio di osservazioni e rilievi nivologici nel comprensorio dei Prati di Tivo (Gran Sasso d'Italia, Appennino centrale)*. Rivista AINEVA "Neve e Valanghe", 69, 36-47.

PECCI M., BARBOLLA L., CAPPELLETTI D., MONSIGNORI R. & FERRETTI L. (2010) - *Ghiacciaio del Calderone; in: Relazioni della Campagna glaciologica 2009*, Baroni C., Meneghel M. & Mortara G. (Eds.), Rivista Geogr. Fis. Din. Quat., Vol. 33 (2), pag. 311.

PECCI M. & D'AQUILA P. (2011) - *Geomorphological features and cartography of the Gran Sasso d'Italia massif between Corno Grande - Corno Piccolo and Pizzo Intermesoli*. Geogr. Fis. e Din. Quaternaria, 34, 1, pp. 127-143.

PECCI M., BARBOLLA A., CAPPELLETTI D., D'AQUILA P. & GRILLI A. (2011) - *Ghiacciaio del Calderone; in: Relazioni della Campagna glaciologica 2010*, Baroni C., Bondesan A. & Mortara G. (Eds.), Rivista Geogr. Fis. Din. Quat., Vol. 34 (2), pag. 326.

PECCI M., CAPPELLETTI D., D'AQUILA P., BARBOLLA A., SALVATORI M. & GRILLI A. (2012) - *Ghiacciaio del Calderone; in: Relazioni della Campagna glaciologica 2011*, Baroni C., Bondesan A. & Mortara G. (Eds.), Rivista Geogr. Fis. Din. Quat., Vol. 35 (2), pagg. 278-279. DOI 10.4461/GFDQ.2012.35.19

PECCI MASSIMO, CAPPELLETTI D., GRILLI A., D'AQUILA P., PECCI MATTIA & ANTONINI L. (2013) - *Ghiacciaio del Calderone; in: Relazioni della Campagna glaciologica 2012*, Baroni C., Bondesan A. & Mortara G. (Eds.), Rivista Geogr. Fis. Din. Quat., Vol. 36 (2), pagg. 373-374. DOI 10.4461/GFDQ.2013.36.24

PECCI MASSIMO, CAPPELLETTI D., D'AQUILA P., PECCI MATTIA & IURISCI C. (2014) - *Ghiacciaio del Calderone; in: Relazioni della Campagna glaciologica 2013*, Baroni C., Bondesan A. & Mortara G. (Eds.), Rivista Geogr. Fis. Din. Quat., Vol. 37 (2), pag. 227. DOI 10.4461/GFDQ.2014.37.16

PECCI MASSIMO, CAPPELLETTI D., D'AQUILA P., PECCI MATTIA & IURISCI C. (2015) - *Ghiacciaio del Calderone; in: Relazioni della Campagna glaciologica 2014*, Baroni C., Bondesan A. & Mortara G. (Eds.), Rivista Geogr. Fis. Din. Quat., Vol. 38 (2), pagg. 303-304. DOI 10.4461/GFDQ.2015.38.18

PECCI MASSIMO, CAPPELLETTI D., D'AQUILA P., PECCI MATTIA & IURISCI C. (2016) - *Ghiacciaio del Calderone*; in: *Relazioni della Campagna glaciologica 2015*, Baroni C., Bondesan A. & Mortara G. (Eds.), Rivista Geogr. Fis. Din. Quat., Vol. 39 (2), pagg. 293-295. DOI 10.4461/GFDQ.2016.39.20

PECCI M. & SMIRAGLIA C. (2017) - *Il Ghiacciaio del Calderone. Un affaticato cuore di ghiaccio al centro del Mediterraneo. Guide geologiche regionali -Itinerari glaciologici sulle montagne italiane. Dal Ghiacciaio della Ventina al Calderone.* Vol. 3, pagg. 267-282.

PECCI M., CAPPELLETTI D., ESPOSITO G., D'AQUILA P., & CAIRA T. (2017) - *Ghiacciaio del Calderone*; in: *Relazioni della Campagna glaciologica 2016*, Baroni C., Bondesan A. & Chiarle M. (Eds.), Rivista Geogr. Fis. Din. Quat., Vol. 40 (2), pagg. 318-319. DOI 10.4461/GFDQ.2017.40.14

PECCI MASSIMO, CAPPELLETTI D., ESPOSITO G., D'AQUILA P., CAIRA T. & PECCI MATTIA (2018) - *Ghiacciaio del Calderone*; in: *Relazioni della Campagna glaciologica 2017*, Baroni C., Bondesan A., Carturan L. & Chiarle M. (Eds.), Rivista Geogr. Fis. Din. Quat., Vol. 41 (2), pagg. 181-182. DOI 10.4461/GFDQ.2018.41.17

PECCI MASSIMO, CAPPELLETTI D., ESPOSITO G., D'AQUILA P., CAIRA T. & PECCI MATTIA (2019) - *Ghiacciaio del Calderone*; in: *Relazioni della Campagna glaciologica 2018*, Baroni C., Bondesan A., Carturan L. & Chiarle M. (Eds.), Rivista Geogr. Fis. Din. Quat., Vol. 42 (2), pagg. 191-192. DOI 10.4461/GFDQ.2019.42.9

PECCI MASSIMO, CAPPELLETTI D., ESPOSITO G., D'AQUILA P., CAIRA T. & PECCI MATTIA (in stampa) - *Ghiacciaio del Calderone*; in: *Relazioni della Campagna glaciologica 2019*, Rivista Geogr. Fis. Din. Quat.

PERRONE E. (1901) - *Aterno Pescara. Mem. Ill. Carta Idrogr. D'Italia. Min. Agr. Ind. Comm. Artig.*, pagg. 257

PETITTA M. & TALLINI M. (2002) - *Idrodinamica sotterranea del massiccio del Gran Sasso (Abruzzo): nuove indagini ideologiche, idrogeologiche e idrochimiche (1994-2001)*, in Bollettino della Società Geologica Italiana, 121, 343-363.

PLINI P. & NAPOLI R. (1992) - *Clima. Vegetazione.* In: CAI-TCI, collana Guida ai Monti d'Italia. Gran Sasso d'Italia. Milano 1992

PONTANO J. J. (1553) - *De Fontibus et Fluminibus.*

PORRO C. (1925) - *Elenco dei ghiacciai italiani*, Uff. Idrogr. Del Po, Parma.

QUARTAPELLE R. (1849) - *Manuale pel viaggiatore naturalista al Gran Sasso d'Italia. Memoria già letta nella tornata del 31 Marzo 1845 da Raffaele Quartapelle... ed ora arricchita di nuove conoscenze raccolte fino a questo anno 1849*, Teramo, Presso Giuseppe Marsili.

RANALLI R. (2002) - *Saggio di bibliografia e di iconografia sul Gran Sasso d'Italia*, "Aprutium", 2001, Teramo, Paper's World-Edigrafital,2002 www.delfico.it/Testi%20ranalli%20gransasso.htm

ROVELLI E. (2006) - *Il ghiacciaio del Calderone: ricostruzione delle oscillazioni recenti mediante l'analisi delle fonti iconografico-storiche e meteo-climatiche (Gran Sasso d'Italia, Abruzzo)*, Terra Glacialis, 9, 9-45

SELLA C. (1880) - *Salita iemale al Gran Sasso d'Italia. Lettera di Corradino Sella all'Ing. Martinori Segretario della Società del Club alpino di Roma. Estratto dal giornale "L'Opinione"*, n. 14, Roma, Tipografia dell'Opinione, 1880., e in "Bollettino Club Alpino Italiano" Sezione dell'Aquila, III serie (1989), n. 20 (148), L'Aquila, 1989.

SMIRAGLIA C. & VEGGETTI O. (1992) – Recenti osservazioni sul ghiacciaio del Calderone (Gran Sasso d'Italia, Abruzzo), Boll. Soc. Geogr. Ital., serie XI, vol, IX, pp. 269 – 302.

SMIRAGLIA C. & DIOLAIUTI G. (2015) - *Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani*, collaborazione tra Università degli Studi di Milano, Sanpellegrino SpA, Levissima SpA e Associazione Riconosciuta EvK2CNR, con il contributo del Comitato Glaciologico Italiano, (revisione 2016).

SMIRAGLIA C. (2018) - *Quando un ghiacciaio non è più un ghiacciaio?*, Annuario 2018, Club Alpino Italiano (C.A.I.) sezione di Bergamo.

TONINI D. (1952) – *Relazioni delle Campagne Glaciologiche*. Boll. Com. Glac. It., Ser. 2, 3, 191-194

TONINI D. (1961) - *Il Ghiacciaio del Calderone del Gran Sasso d'Italia*, Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano, 10, 71-134.

SITOGRAFIA

https://it.wikipedia.org/wiki/Gran_Sasso

https://it.wikipedia.org/wiki/Piccola_era_glaciale

http://www.meteo.psu.edu/holocene/public_html/shared/articles/littleiceage.pdf

<https://www.gransassolagapark.it>

https://it.wikipedia.org/wiki/Gerardo_Mercatore

<http://www.delfico.it/Testi%20ranalli%20gransasso.htm>

www.wgms.ch

www.caputfrigoris.it

www.glaciersarchive.org/calderone-glacier/

<http://www.icorridordelcielo.it/foto-storiche-del-gran-sasso-ditalia/>

<http://www.icorridordelcielo.it/>

APPENDICI

APPENDICE 1

CRONISTORIA DETTAGLIATA DEL XIX SECOLO DELL'ESPLORAZIONE SCIENTIFICO-ALPINISTICA DEL GRAN SASSO

(elenco riveduto e integrato da "Saggio di bibliografia e di iconografia sul Gran Sasso d'Italia" a cura di Lina Ranalli in "Aprutium", 2001 [ma 2006], Teramo, Paper's World - Edigrafital, 2002 (<http://www.delfico.it/Testi%20ranalli%20gransasso.htm>))

- 1) Michele Tenore (1811-1836) - *Flora napolitana ossia Descrizione delle piante indigene del Regno di Napoli e delle più rare specie di piante esotiche coltivate ne' giardini*, del cavaliere Michele Tenore, Napoli, Stamp. Reale.⁸
- 2) Orazio Delfico (1812) - *Osservazioni su di una piccola parte degli Appennini della detta provincia*, in "Dell'Interamnia Pretuzia memorie di Gio. Bernardino Delfico presidente della Società di Agricoltura della provincia di Teramo, cui si aggiungono le Osservazioni di Orazio Delfico su di una piccola parte degli Appennini della detta provincia", Napoli, Stamperia reale, e in "Bollettino del Club Alpino Italiano", Anno 1871, Vol. V, n° 18, Torino, 1871, pag. 222-235.
- 3) Agostino Cappello (1828) - *Sopra un nuovo fenomeno geologico al Gran Sasso d'Italia, discorso di Agostino Cappello letto all'Accademia de' Lincei nel di 29 settembre 1828*, Roma, Nella Stamperia del Giornale Arcadico, presso Antonio Boulzaler.
- 4) Michele Tenore (1832) - *Relazione del viaggio fatto in alcuni luoghi di Abruzzo Citeriore nella state del 1831, dal Cav. Michele Tenore*, Napoli, Della tipografia di Pasquale Tizzano.
- 5) Pasquale De Virgiliis (1837) - *Una gita al Gran Sasso D'Italia e descrizione di esso. Lettera di P. De Virgiliis al Ch. Barone Sig. Giuseppe Nicola Durini*, in "Giornale Abruzzese", n. X, aprile, mag. e giugno 1837 - Chieti, pubblicata per la prima volta nel n°. XVIII del Progresso delle Scienze, Lettere e Arti di Napoli.

⁸ Il lavoro comprende un inventario di piante del Gran Sasso, impreziosito da tavole acquerellate.

- 6) Raffaele Quartapelle (1849) - *Manuale pel viaggiatore naturalista al Gran Sasso d'Italia. Memoria già letta nella tornata del 31 Marzo 1845 da Raffaele Quartapelle... ed ora arricchita di nuove conoscenze raccolte fino a questo anno 1849*, Teramo, Presso Giuseppe Marsili.
- 7) Antonio Amary (1854) - *Storia naturale inorganica della Provincia Teramana di Antonio Amary*, Aquila, Tipografia Artenina.
- 8) Paolo Ballada di Saint-Robert (1871) - *Gita al Gran Sasso d'Italia. Luglio 1871. Nota geologica di Giacinto Berruti, Nota Ipsometrica, nota bibliografica di Paolo St. Robert contiene inoltre degli schizzi di "Tommaso Gilli" sul G.S., una vista di Isola del Gran Sasso, del Corno Grande e del G.S. visto da Cesa di Francia*, Torino, Vincenzo Bona Tipografo di S.M., 1871.
- 9) Gaspare Blanc (1873) - *L'avenir des Abruzzes*, in "Il Pretuzio", Anno II (1873), n° 14, Teramo, pag. 3-4.
- 10) Filippo Boldrini (1873) - *Escursione alle falde del Gran Sasso d'Italia e luoghi circostanti. Relazione letta innanzi alla Giunta Provinciale del Primo Abruzzo Ultra per la raccolta di minerali nell'adunanza del giorno 3 marzo 1873*, in "Il Pretuzio", Anno II (1873), n. 9, 12, 13, 16, 17, 18 e 19, Teramo, 1873, e in "La montagna teramana risorse e ritardi", Colledara, Andromeda, 1994.
- 11) Anonimo, socio del CAI di Aquila (1874) - *Una escursione al Gran Sasso d'Italia narrata ai Soci del Club Alpino in occasione della prima adunanza della Sezione dell'Aquila*, in "Bollettino Club Alpino Italiano", sede di Torino, Anno 1874, vol. VIII, n. 22 Torino, 1874, pag. 370-376.
- 12) Cavalier Basile (1874) - *Relazione topografica di una gita al Gran Sasso*, in "Bollettino del Club Alpino Italiano", sede di Torino, Anno 1874, Vol. VIII, n° 22 Torino, 1874, pag. 240-246.
- 13) Giustino Fortunato (1874) - *I. Dal versante di Teramo*, in "Bollettino del Club Alpino Italiano" sez. Aquila, 1994 III serie, n. 29 (157) L'Aquila, 1994, e in *Un'Escursione di Giustino Fortunato sul Gran Sasso d'Italia* di Carlo de Matteis, Aquila, 1994.
- 14) Carlo Marchesetti (1875) - *Una gita al Gran Sasso d'Italia*, in "Bollettino della Società Adriatica di scienze naturali", Anno IX (1875), VI, Trieste, 1875, pag. 233-243.
- 15) P. Monnot (1875) - *Il Gran Sasso d'Italia. Relation d'une excursions dans les Abruzzes en 1875*, in "Annuaire du Club Alpin Francais" deuxieme annee, Paris, 1875, pag. 531-541.
- 16) Antonino Vicentini (1875) *Un'Escursione al Gran Sasso d'Italia il dì 26 e 27 luglio 1875. Inno*, l'Aquila, Tipografia vescovile diretta da B. Vecchioni, 1875.
- 17) *Annuario del Club Alpino Svizzero (1876)* - in "Bollettino del Club Alpino Italiano" sede di Torino, Anno 1876, vol. X, n. 28, Torino, 1876, pag. 466-468.

- 18) Ernest Calberla (1875) - *Au den Abruzzen. Eine Besteigung des Gran Sasso d'Italia*, in "Jahrbuch des Schweizer Alpenclub", Elfter Jahrgang 1875-1876, Bern, pag. 308-319.
- 19) Jatta (1876) - *Ricordo botanico del Gran Sasso*, in "Bollettino del Club Alpino Italiano" sede di Torino, Anno 1876, vol. X, n. 25, Torino, 1876, pag. 144-153.
- 20) *Alpine Club di Londra, Alpine Journal (1878) Fascicolo 59*, in "Bollettino del Club Alpino Italiano" sede di Torino, Vol. XII, n° 33, Torino, 1878, pag. 230-233.
- 21) Douglas William Freshfield (1878) - *Il Gran Sasso D'Italia*, in "Bollettino del Club Alpino Italiano" sede di Torino, Anno 1878, Vol. XII, n. 33, Torino, 1878 e in "Club Alpino Italiano" - Sezione di Isola del Gran Sasso, Isola del Gran Sasso, 1991, tratto da "The Alpine Journal" - Londra 1878, Vol. VIII - n. 59.
- 22) *The Gran Sasso d'Italia. By the Editor*, in "The Alpine Journal", Vol. VIII, n. LIX di February 1878, pag. 353-375. L'autore dell'articolo è l'editore della rivista. Egli racconta di un viaggio nell'appennino abruzzese e definisce il Gran Sasso d'Italia il "Re di tutto l'Appennino". E' riportato il disegno di E. Lear "The Gran Sasso d'Italia from Isola", (E. Lear, delt).
- 23) Francesco Taffiorelli (1878) - *Gita alpina*, in "Corriere Abruzzese", anno IV (1878), n. 59, 24 luglio 1878, Teramo, 1878.
- 24) C. J. Forsyth Major (1879) - *Il Gran Sasso d'Italia e due de' suoi abitatori*, in "Bollettino del Club Alpino Italiano", sede di Torino, Anno 1879, Vol. XIII, n. 38, Torino, 1879, pag. 215-233. L'Autore, un inglese con la passione della botanica, compie sul Gran Sasso d'Italia più di una ascensione sia dal lato aquilano, sia dal versante teramano per accettare la presenza, su questi luoghi, del Camoscio (*Capra rupicapra*).
- 25) Corradino Sella (1880) - *Salita iemale al Gran Sasso d'Italia. Lettera di Corradino Sella all'Ing. Martinori Segretario della Società del Club alpino di Roma. Estratto dal giornale "L'Opinione"*, n. 14, Roma, Tipografia dell'Opinione, 1880., e in "Bollettino Club Alpino Italiano" Sezione dell'Aquila, III serie (1989), n. 20 (148), L'Aquila, 1989.
- 26) P. Tacchini(1880) - *Stazione metereologica sul Gran Sasso D'Italia. Lettera indirizzata dal prof. Tacchini al comm. Quintino Sella, Presidente del C.A.I. Roma 28 gennaio 1880*, in "Bollettino del Club Alpino" sede di Torino, Anno 1880, Vol. XIV, n. 41, Torino, 1880, pag 122-123.
- 27) Enrico Abbate (1881) - *Ascensione del Gran Sasso d'Italia (m. 2921)*, in "Bollettino del Club Alpino Italiano", Sede di Torino, Anno 1881, Vol. XV, n. 45, Torino, 1881, pag. 469-473.
- 28) M. Canavari, *Una escursione al Gran Sasso*, Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, processi verbali; vol. II, Pisa, 1879, adunanza del 8 luglio 1881, pag. 267-268.

- 29) Enrico Coleman (1881) - *Ascensione del Gran Sasso d'Italia, 27-28 maggio 1881*, Roma, Club Alpino Italiano, sezione di Roma.
- 30) Enrico Abbate (1884) - *Il Gruppo del Gran Sasso d'Italia*, in "Bollettino del Club Alpino Italiano" sede di Torino, Vol. XVII, n. 50, anno 1884, Torino, 1884, pag. 140-144.
- 31) L. Baldacci e M. Canavari (1884) - *La regione del Gran Sasso d'Italia; osservazioni geologiche di L. Baldacci e M. Canavari (con tavola di sezioni)*, in "Bollettino del R. Comitato Geologico d'Italia", Serie II, vol. V, n. 11 e 12 del Novembre e dicembre 1884.
- 32) Enrico Abbate (1886) - *Il Gran Sasso d'Italia*, in "L'Illustrazione Italiana", Anno XIII (1886) II n. 44, 24 ottobre 1886, Milano, 1886, pag. 313.
- 33) Fedele Romani (1886) - *Un romito abruzzese del secolo XIX*, Piacenza, Vincenzo Porta libraio-editore, 1886.
- 34) Giambattista Brocchi (1887) - *Osservazioni naturali fatte in alcune parti degli Appennini nell'Abruzzo Ulteriore*, in "Bollettino del Clup Alpino Italiano", sede di Torino, vol. VI, Torino.
- 35) Umberto Garofolini (1886) - *La sezione romana del Club Alpino e il Gran Sasso D'Italia*, Roma, Tipografia Ippolito Sciolla, 1887, Estratto dall'Annuario della Sezione di Roma del Club Alpino Italiano, Anno primo -1886. All'interno è riportata la foto "Il Rifugio sul Gran Sasso d'Italia" (da un quadro di E. Coleman), Roma Fototipia Danesi.
- 36) Enrico Abbate (1888) - *Guida al Gran Sasso d'Italia ; pubblicata per cura della Sezione di Roma del Club alpino italiano*, Roma, Tip. Ippolito Sciolla, 1888. Prima guida organica del Gran Sasso, preziosa come prezioso era l'intento dell'autore: "lo scopo che bramo raggiungere è quello di invogliare qualcuno a visitare questa regione, che io trovo tra le più belle e interessanti della catena appenninica". Fondamentale è la collaborazione del pittore Enrico Colemann, sono suoi i numerosi disegni inseriti nelle "intestazioni" e nelle "chiusure" di ciascun capitolo, tutti sono siglati con EC, in particolare quelli che raffigurano la chiostra del Gran Sasso. Dall'introduzione si ricava che le fotografie contenute nel volume sono opera dei seguenti fotografi: Enrico Abbate, Antonio Zoppi, F. Ugolini, vengono ringraziati inoltre i fratelli Fallerini di Rieti per una tavola con veduta dell'Aquila e [Gian]Francesco Nardi per quella di Teramo. Inoltre, Antonio Zoppi, "Panorama visto dalla punta orientale del Gran Sasso d'Italia", (A. Zoppi, dis, Roma, lit. Danesi, s.d.) (inserita tra 150 e 151); Una "Pianta di Teramo fornita dall'Ufficio tecnico di finanza", che (Achille Danesi ridusse e disegnò). Tra le foto mi piace citare una bellissima di E. Coleman, "Il Gran Sasso d'Italia (dalla strada Teramo-Isola)", Roma, Fototipia Danesi, s.d. (inserita tra pag. 160 e 161).
- 37) Enrico Abbate (1888) - *Prima ascensione del Corno Piccolo 2637 m. (Gruppo del Gran Sasso d'Italia)*, in "Bollettino del Club Alpino Italiano", sede di Torino, Anno 1888, Vol. XXI, n. 54, Torino, 1888, pag. 180-188.

- 38) Federico D'Amato (1888) - *Il Gran Sasso D'Italia. Ascensioni sul Monte Corno*, Teramo, Stab. Tipografo Q. Scalpelli e Figlia, 1888.
- 39) Gaetano Crugnola (1889) - *Le genziane del Gran Sasso d'Italia. Contribuzione allo studio della Geografia Botanica*, Teramo, Tip. Del Corriere Abruzzese. Elenco delle genziane del Gran Sasso. Finito di scrivere sotto le feste del Natale 1888 in Teramo.
- 40) Giacinto Pannella (1889) - *La prima ascensione al Corno Piccolo del Gran Sasso*, in "Rivista Abruzzese di Scienze, Lettere ed Arti", Anno IV (1889), Fasc. III-IV, marz/aprile 1889, Teramo, 1889, pag.175-181.
- 41) A. F. (1890) - *Il Gran Sasso, topografia generale*, in "Le Cento Città d'Italia" supplemento mensile illustrato del Secolo, Anno XXV (1890), supplemento al n. 8641, 25 aprile 1890, Milano, 1890.
- 42) Gaetano Crugnola (1891) - *Le Pedicolari del Gran Sasso D'Italia*, Teramo, Giovanni Fabbri, Editore, 1891.
- 43) C. Viola (1893) - *Appunti geologici ed idrologici sui dintorni di Teramo*, in "Bollettino del R. Comitato Geologico d'Italia" Anno XXIV (1893), Vol XXIV (4° della 3^ Serie), n. 1 a 4, Roma, Tipografia Nazionale, 1893, pag. 221-228.
- 44) Eugenio Cerulli (1894) - *Sotto il Gran Sasso*, in "Rivista Abruzzese di scienze, Lettere, ed Arti", Anno IX (1894), fasc. X-XI, ott/nov. 1894, Teramo, 1894, pag. 493-510.
- 45) Eugenio Cerulli(1894) - *Sotto il Gran Sasso*, Teramo, Tip. Del Corriere Abruzzese, 1894.
- 46) Gaetano Crugnola (1894) - *Un manipolo di piante del Gran Sasso d'Italia*, in " Rivista Abruzzese di scienze, lettere ed arti", Anno IX (1894), fasc. II, Teramo, 1894, pag. 57-61.
- 47) Giacinto Pannella (1894) - *Centenario della prima ascensione al Gran Sasso d'Italia compiuta da Orazio Delfico il 30 luglio 1794*, in " Rivista Abruzzese di Scienze, Lettere ed Arti", Anno IX (1894), fasc. VIII-IX, Teramo, 1894 pag. 422-434.
- 48) C. Viola (1894) - *Appunti geologici ed idrologici sui dintorni di Teramo*, in "Bollettino del R. Comitato Geologico d'Italia", Anno 1894, Serie III vol. V, Fasc. 4°, 1894, pag. 454-455.
- 49) Giovanni Pansa (1895) - *Una Gita al Gran Sasso d'Italia fatta nel secolo XVI. Curiosità storiche*, in "Rivista Abruzzese di scienze, lettere ed arti", Anno X (1895), fasc. II, Teramo, 1895, pag. 53-58. L'autore ricorda l'ascensione fatta da Orazio Delfico nel 30 luglio 1794, i soci del club alpino curavano, un secolo dopo, la ristampa della relazione e deliberavano una nuova ascensione. Secondo l'autore "il Gran Sasso fosse conosciuto ed esplorato fin dal Sec. XVI, rilevo dai viaggi compiuti dal celebre architetto militare Francesco Marchi o De Marchi". L'Autore, pertanto, ne rivendica la conquista del Gran Sasso al capitano De Marchi.

- 50) *Die Gran Sasso - Gruppe. Passo della Portella (2236 m), Monte Fondare (2480 m), Corno Grande (2931 m), Pizzo Intermesole (2646 m), Pizzo Cefalone (2532 m)*, in "Jahrbuch des Schweizer Alpenclub", Bern, Einunddreissigster jahrgang 1895 bis 1896, 1896, pag. 241-245. L'autore dell'articolo ed il dott. Erhardt, ascendono il Gran Sasso dal lato di Assergi, nel gennaio 1895 con la guida Giovanni Acitelli e figlio. Vi sono i seguenti disegni: "Rifugio e Corno Grande" Weg vom 15 guni 1893. (MB nach W. Erhardt); "Corno Grande e Corno Piccolo".
- 51) Giacinto Pannella (1896) - *Ascensione al Gran Sasso D'Italia. Il 30 luglio 1896*, in "Rivista Abruzzese di Scienze, Lettere ed Arti", Anno XI (1896), fasc. IX-X, Teramo, 1896, pag. 427-434. Giacinto Pannella descrive il Gran Sasso: "Il nome, la mole superba, la forma elegante e singolare del nostro Gigante dormiente". L'Autore con un drappello di amici parte da Teramo il 29 luglio con la diligenza per raggiungere Rio Arno. Ne fanno parte il cav. Pietro Mazzini, il dott. Domenico Dattilo, Goffredo Bellomo e Giuseppe Marzemin giovane di Vicenza. Da Rio Arno salgono a piedi per un sentiero che li conduce a Pietracamela accolti dal Dott. Dionisi. Il giorno 30, con cinque cavalcature, cinque pedoni, un portatore, le guide Di Venanzo padre e figlio di Pietracamela e un giovane Antonio D'Angelo, escono dal paese attraversano il bosco delle Mandorle e per le sorgenti del Rio Arno, preceduti da un gruppo di carbonari intonanti una canzone montanina. Al rifugio trovano Amedeo Alessandrini che li ha preceduti con un amico.
- 52) Reinhard E. Petermann (1897) - *Un viaggio negli Abruzzi*, in "Bollettino di Storia Patria "Anton Ludovico Antinori" negli Abruzzi", Anno IX (1897, 15 luglio), punt. XVIII. Aquila, 1897, pag. 206-210, Traduzione di Gino Elti. L'autore parte per il suo viaggio da Fiume con la nave, sbarca ad Ancona e prosegue per l'Aquila, passando da Pescara, ci impiega 9 ore di treno. Da Assergi lo accompagnano la guida Giovanni Acitelli insieme al portatore E. Scorzia. Parte per l'ascensione, pernotta al Rifugio, fondato nel 1886 dal Club Alpino Italiano. Qui trova il registro del Rifugio e nota: "... io vi trovai che in 10 anni, soli 30 tedeschi salirono il monte e fra questi un unico austriaco". Durante l'ascensione l'Autore, nel guardare verso sud, vede in basso un grandioso cerchio di rocce ricoperte di neve, la guida lo definisce ghiacciaio, ma Petermann dice che è soltanto un campo di nevi eterne. L'autore data, Vienna, settembre 1896.
- 53) Gustavo Straforello (1899) - *Provincie di Aquila, Chieti, Teramo, Campobasso*, in *La Patria geografia dell'Italia, cenni storici, costumi, topografia...*, Torino, Unione Tipografico Editrice, 1899.

APPENDICE 2

**IMMAGINI VENTICINQUENNALI DEL GHIACCIAIO DEL
CALDERONE DAL 1875 AL 2020**

&

**ALBUM FOTOGRAFICO DEL GHIACCIAIO DEL CALDERONE
DAL 1994 AL 2019**