

# MARM

**Il ghiacciaio della Marmolada quale laboratorio sul campo per lo studio degli aspetti naturali ed antropici del chimismo di acqua e ghiaccio in un bacino carbonatico delle Alpi Orientali**



**Carlo Dossi, Alfio Viganò, Silvana Martin, Damiano Monticelli, Andrea Pozzi**

Dipartimento di Scienze Chimiche, Fisiche e Matematiche, Università degli Studi dell'Insubria, Via Valleggio, 11 22100 COMO

**Ugo Mattana**

Dipartimento di Geografia, Università degli Studi di Padova, Via del Santo, 26 35123 PADOVA

Nei giorni 7 – 8 settembre 2001 è stata effettuata una campagna di campionamento di ghiaccio, neve ed acqua superficiale sul ghiacciaio della Marmolada (Dolomiti occidentali) che ha interessato sia la zona di accumulo delle precipitazioni nevose sia quella di ablazione del ghiacciaio alle fronti occidentale, centrale ed orientale. Le analisi chimiche, effettuate sia direttamente sul ghiacciaio mediante strumentazione elettroanalitica portatile sia in laboratorio, hanno messo in evidenza le interazioni chimiche che avvengono tra le acque di fusione del ghiaccio e le rocce carbonatiche del bacino, e gli effetti dell'elevato impatto antropico legato all'attività sportiva praticata sul ghiacciaio sia d'inverno sia d'estate.

# OLADA

**ANALISI CHIMICA DI ACQUA E GHIACCIO**



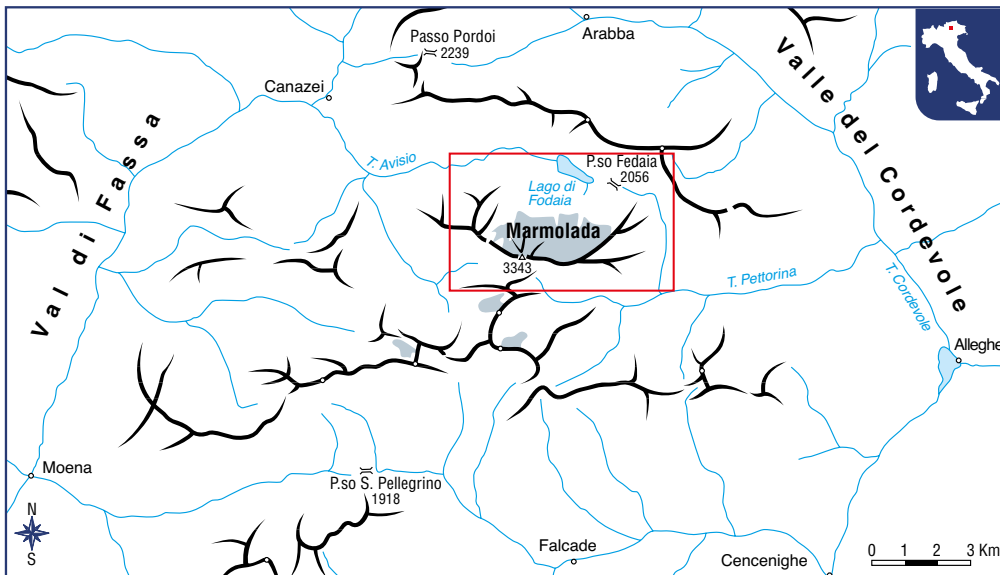
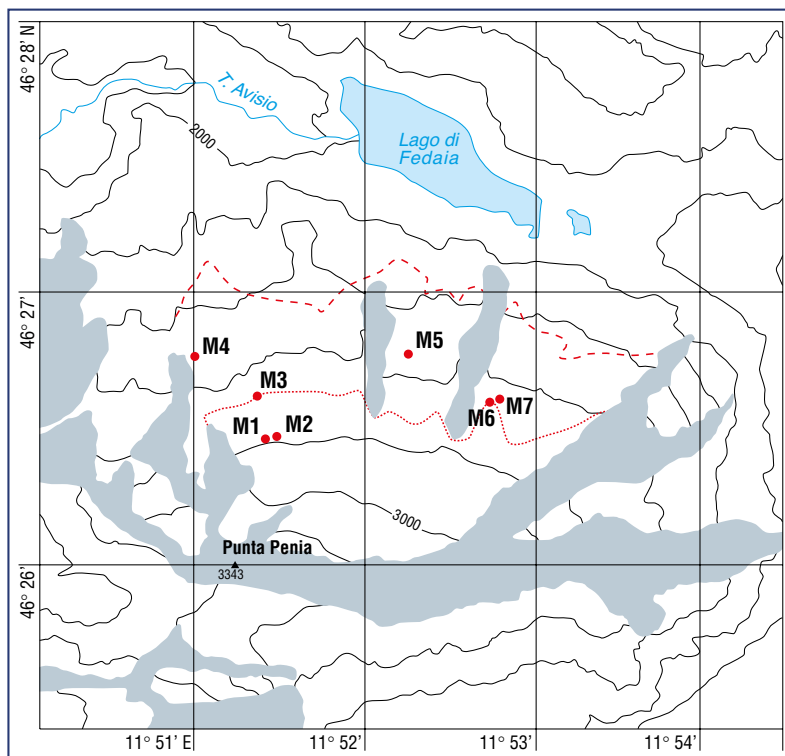


Fig. 1 - Inquadramento geografico del Gruppo della Marmolada.

Fig. 2 - Il Massiccio della Marmolada con l'omonimo ghiacciaio. La linea tratteggiata indica i limiti del ghiacciaio durante l'Ultimo Massimo Glaciale (ca. 1850); la linea punteggiata indica il limite del 2001. Con M1 - M7 sono indicati i siti di campionamento.



## INTRODUZIONE

### Assetto geografico e geomorfologico

Il Massiccio della Marmolada è ubicato nelle Alpi Dolomitiche, al confine tra le province di Belluno e Trento. La linea spartiacque che lo attraversa rappresenta un tratto del dislivello tra il bacino del fiume Piave e quello dell'Adige. Il Massiccio comprende numerose cime montuose al di sopra dei 3000 metri tra cui la più elevata è la Punta Penia (3343 m).

Il gruppo montuoso della Mar-

molada è delimitato a nord dalla profonda ed ampia depressione del Fedaia con l'omonimo Passo (m 2056), mentre è cinto a sud dal solco Valle del Contrin - Passo Ombretta (m 2704) - Valle Ombretta. I deflussi occidentali confluiscono nel bacino dell'Avisio (Adige), quelli orientali nel bacino del Pettorina (Cordevole - Piave) (Fig. 1).

Il Massiccio ospita, sul versante settentrionale, il più vasto ghiacciaio delle Dolomiti (Fig. 2), mentre il versante meridionale è costituito da un'imponente

bastionata rocciosa alta da 600 a 1000 m e lunga circa 5 km.

Il Massiccio è costituito da calcari chiari, ricchi di fossili, denominati Calcere del Latemar e della Marmolada, di età Anisico superiore - Ladinica, derivati rispettivamente da un'antica piattaforma carbonatica e da depositi detritici accumulati sul pendio della piattaforma stessa verso il bacino Bellunese, e da minori rocce vulcaniche di età Ladinica che si erano effuse sul fondo del bacino (Leonardi et alii, 1968). La regione frontale del ghiacciaio è localizzata sopra il Calcere del Latemar.

Il ghiacciaio della Marmolada è di forma trapezoidale, con una superficie di circa 2.6 km<sup>2</sup>, lunghezza e larghezza massime di 1.5 e 2.5 km ed una pendenza media del 53%; si estende da una quota di 3340 m ad una di 2490 m presso la fronte occidentale (Mattana, 1995). L'apparato glaciale è costituito da una zona superiore allungata da cui si dipartono in direzione nord verso il lago Fedaia tre lingue più o meno pronunciate, incassate entro alte ed aspre pareti rocciose e divise tra loro dagli speroni di roccia del Sasso delle Undici ad est ed il Sasso delle Dodici ad ovest. Attualmente, dato lo scarso innevamento invernale e le alte temperature estive, il ghiacciaio è arretrato, le lingue glaciali stanno scomparendo (Fig. 3) e l'assetto morfologico dell'apparato glaciale è cambiato.

Questo lavoro rappresenta uno studio chimico - analitico preliminare dei campioni di ghiaccio, neve ed acqua superficiale, con l'obiettivo di studiare i processi di interazione tra il ghiacciaio e le rocce carbonatiche su cui giace e di valutare, sulla base di parametri analitici semplici, l'impatto delle attività umane sul ghiacciaio.

L'analisi chimica ha affiancato e completato lo studio dell'evoluzione del ghiacciaio e delle aree periglaciali condotto nel 2001 – 2002 dal Prof. Ugo Mattana dell'Università degli Studi di Padova, durante le annuali campagne di controllo promosse dal Comitato Glaciologico Italiano.

## PARTE SPERIMENTALE

La raccolta dei campioni di ghiaccio, neve ed acqua è stata effettuata in bottiglie di polietilene a bassa densità da 250 mL, accuratamente pulite mediante trattamento in acido nitrico ultrapuro diluito e successivo lavaggio in acqua ultrapura. Il ghiaccio è stato campionato, dopo aver eliminato la prima crosta superficiale contaminata, con una piccozza pulita con acqua distillata; la neve invece, inserendo la bottiglia con larga imboccatura direttamente nel manto nevoso; l'acqua infine, per raccolta diretta nel contenitore, in una zona non stagnante ed in direzione contraria al deflusso del ruscello. I campioni sono stati conservati in congelatore fino al momento dell'analisi.

Le misure dei parametri chimico – fisici di base (temperatura, pH e conducibilità), di alcalinità e di durezza sono state effettuate direttamente sul campo tramite strumentazione portatile.

Le analisi di laboratorio hanno permesso di determinare le concentrazioni dei principali anioni e cationi tramite una strumentazione automatizzata in cromatografia ionica (IC 761 della Metrohm, Herisau, Svizzera).

## RISULTATI E DISCUSSIONE

I siti di campionamento scelti per l'analisi comprendono l'area frontale del ghiacciaio della Marmolada. Purtroppo l'elevata presenza antropica sull'appara-

to glaciale non ha permesso di compiere una valutazione chimica legata unicamente agli aspetti naturali dell'interazione acqua – roccia ed acqua – sedimenti.

Al momento del campionamento il pendio glaciale era cosparso di materiale di scarto di tipo plastico, vegetale ed organico di varia natura, etc.. Va inoltre considerato che la zona maggiormente influenzata dall'inquinamento corrisponde alla porzione superiore del ghiacciaio e che l'azione ablativa dell'apparato glaciale, favorita dalla pendenza del pendio, determina l'inquinamento anche della contigua zona sottostante.

Da alcuni anni la presenza antropica è permanente, dato che l'area è sede di attività escursionistiche estive e sciistiche invernali ed estive, a motivo della presenza di numerosi sistemi di trasporto in quota quali funivie, cabinovie, teleferiche e ski lifts. Inoltre, le condizioni stesse dell'apparato glaciale, similmente a quanto avvenuto in molte zone dell'intero arco alpino durante la stagione estiva del 2001, hanno impedito di studiare le dinamiche di scioglimento del ghiaccio, poiché, al momento del campionamento, l'innevamento residuo era ancora notevole e le condizioni meteorologiche sfavorevoli, con temperature attorno ai soli 7 – 8 °C durante le ore più calde della giornata.

### Campagne di campionamento sul ghiacciaio della Marmolada

(7 - 8 settembre 2001)

Sono stati scelti sette significativi punti di campionamento per il ghiaccio, la neve e l'acqua (Fig. 2):

**Sito M1)** campione di ghiaccio raccolto da un crepaccio nelle vicinanze del Pian dei Fiacchi, poco a monte dell'arrivo della seggiovia del Passo Fedaià (2780 m).

**Sito M2)** campione di neve superficiale caduta nei giorni precedenti la raccolta (spessore di circa 15 cm), nella stessa zona del Sito M1 (Fig. 4).

**Sito M3)** campione di ghiaccio raccolto alla fronte occidentale a 40 cm di profondità (2675 m).

**Sito M4)** acqua di fusione del ruscello proveniente dal piccolo bacino glaciale sotto Punta Penia, dopo che l'acqua ha percorso circa 200 m in superficie (2520 m).

**Sito M5)** campione di ghiaccio di un seracco con intensa colorazione blu raccolto presso la fronte centrale ad una profondità di 10 cm (2550 m).

**Sito M6)** campione di ghiaccio della fronte orientale raccolto ad una profondità di 10 cm (2640 m).

**Sito M7)** acqua del piccolo laghetto posto al termine della fronte orientale, raccolta ad una profondità di 20 cm ad 1 m dalla sponda (2630 m) (Fig. 5).

Fig. 3 - Fronte centrale del ghiacciaio della Marmolada.

Fig. 4 - Siti di campionamento M1 e M2.



Fig. 7 - Grafico relativo alle concentrazioni di ione bicarbonato (blu) e ione solfato (rosso) in mg/L nei campioni del ghiacciaio della Marmolada. I valori di concentrazione dello ione solfato sono moltiplicati per 50.

Fig. 8 - Grafico relativo alle concentrazioni di ione cloruro (blu) e ione nitrito (rosso) in mg/L nei campioni del ghiacciaio della Marmolada. I valori di concentrazione dello ione nitrito sono moltiplicati per 10.

Le analisi sul campo, effettuate sui campioni di acqua superficiale raccolti nel sito M4 e nel sito M7, sono presentate nella tabella di Fig. 6.

Va innanzitutto notato che i valori del pH sono superiori ad 8, come già osservato precedentemente in campioni della Marmolada (Ek, 1966). Questi valori sono tipici di acque che scorrono in rocce carbonatiche e sono dovuti all'effetto tamponante degli ioni carbonato e bicarbonato sull'acidità minerale, dovuta principalmente alle "piogge acide". Tale fenomeno infatti non si verifica in presenza di rocce cristalline (Dossi et alii, 2002), dove i valori di pH sono di un'unità più bassi. Per indagare a fondo il chimismo della neve, del ghiaccio e dell'acqua nel bacino della Marmolada, in laboratorio sono state analizzate le concentrazioni dei principali ioni inorganici mediante titolazione acido-base e cromatografia ionica.

Per quanto riguarda i campioni di neve e di ghiaccio, le concentrazioni di anioni e cationi sono molto basse ed, in alcuni

casi, inferiori al cosiddetto "limite di rivelabilità" (LOD), che rappresenta la concentrazione minima di analita rivelabile dallo strumento.

Nel caso particolare dello ione bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), sono stati misurati valori nulli o addirittura negativi di concentrazione (Fig. 7). Questi dati, apparentemente assurdi, non rappresentano però un errore dell'analisi; il segno "-" indica la presenza di acidità minerale forte già all'interno del campione nevoso, dovuta principalmente all'acido nitrico ( $\text{HNO}_3$ ) ed all'acido solforico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), che si formano in atmosfera per ossidazione e successiva reazione con acqua degli ossidi di azoto ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$ , indicati generalmente come "NOx") e dell'anidride solforosa ( $\text{SO}_2$ ).

Valori più elevati di concentrazione di ione bicarbonato sono stati invece osservati per i campioni di acqua di fusione superficiale, dove l'interazione con le rocce del bacino è più consistente. Se si confrontano i dati relativi ai siti di campionamento M4 ed M7,

si nota come ci sia una diretta corrispondenza tra il valore di pH (8.39 e 8.71) e la concentrazione di ione bicarbonato (27.9 e 34.1 mg/L). Si osserva quindi una forte interazione chimica dell'acqua di fusione con le rocce di tipo carbonatico (carbonati di calcio e di magnesio) su cui scorre. I meccanismi principali di dissoluzione coinvolgono sia l'anidride carbonica disciolta nell'acqua, con formazione dei bicarbonati solubili  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , sia l'acidità delle precipitazioni. I due effetti sono spesso sinergici, in quanto l'attacco iniziale delle precipitazioni acide facilita la successiva dissoluzione dell'anidride carbonica nell'acqua di fusione.

L'aumento delle concentrazioni di calcio e magnesio è accompagnato, nei campioni di acqua, da un netto aumento della concentrazione dei solfati (Fig. 7). Tale aumento potrebbe forse essere imputabile a fenomeni di lisciviazione e/o dissoluzione di rocce di tipo solfatico quali i gessi (il solfato di calcio,  $\text{CaSO}_4$ , è molto più solubile del corrispondente carbonato di calcio, anche in assenza di  $\text{CO}_2$  o acidità minerale). Tuttavia è più probabile che lo ione solfato presente nei campioni di neve e di ghiaccio sia dovuto a fenomeni di trasporto atmosferico di acido solforico di origine antropica generato dalla  $\text{SO}_2$  formatasi durante la combustione di carbone ed oli combustibili.

Per quanto riguarda i cloruri, è interessante notare come le più alte concentrazioni siano state rilevate nelle zone dove l'inquinamento antropico è maggiore (siti di campionamento M3 ed M7), vicino ad un sentiero molto frequentato e non lontano dall'arrivo della seggiovia (Fig. 8). La presenza degli ioni cloruro, unitamente a quella degli ioni sodio,



Fig. 5 - Sito di campionamento M7.

Fig. 6

**Dati analitici, raccolti "in situ", relativi ai campioni di acqua superficiale**

Parametri analitici	Acqua ruscello (sito M4)	Acqua laghetto (sito M7)
Temperatura (°C)	4.4	5.5
pH	8.39	8.71
Conducibilità (µS/cm)	71.2	81.9

è infatti un ottimo indicatore circa la presenza di rifiuti animali ed umani. Concentrazioni di ione cloruro più basse, come quelle trovate nei campioni M2, M5 ed M6, sono presumibilmente da imputare a fenomeni di deposizione secca ed umida, legati all'apporto di contributi marini veicolati dalle circolazioni atmosferiche.

Ulteriore conferma del rilevante impatto antropico nei siti di campionamento M3 ed M7 è data dalla presenza dello ione nitrito. Esso costituisce uno stadio intermedio metastabile, assai tossico, all'interno della catena di ossidazione batterica delle proteine (proteine – ione ammonio – ione nitrito – ione nitrito). Questo ione rappresenta quindi un importante indicatore della presenza di inquinamento dovuto a materiale organico.

## CONCLUSIONI

I dati glaciologici e chimici, raccolti nel 2001 durante l'annuale campagna di monitoraggio del ghiacciaio della Marmolada, forniscono interessanti spunti di discussione sul chimismo del ghiaccio, della neve e dell'acqua superficiale per comprendere i

differenti fenomeni di accumulo degli inquinanti atmosferici. In particolare, si è messo in evidenza come la valutazione di parametri chimici semplici, quali la concentrazione degli ioni maggioritari, possa dare immediate indicazioni sullo stato di inquinamento della superficie del ghiacciaio. Non è stato possibile effettuare uno studio approfondito della naturale interazione acqua – roccia a causa dell'elevato inquinamento antropico e della massiccia presenza di opere di incanalamento delle acque superficiali a scopo idrico e turistico. Una più approfondita valutazione dell'impatto antropico sul ghiacciaio potrà essere ottenuta mediante uno studio chimico – analitico su elementi in traccia, quali ad esempio ferro, rame e manganese, e sulla loro interazione con i componenti organici presenti nell'acqua, tramite studi di speciazione.

## RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano Sandro Recchia e Laura Rampazzi dell'Università degli Studi dell'Insubria a Como per le discussioni e i suggerimenti relativi agli aspetti chimico – analitici della ricerca.

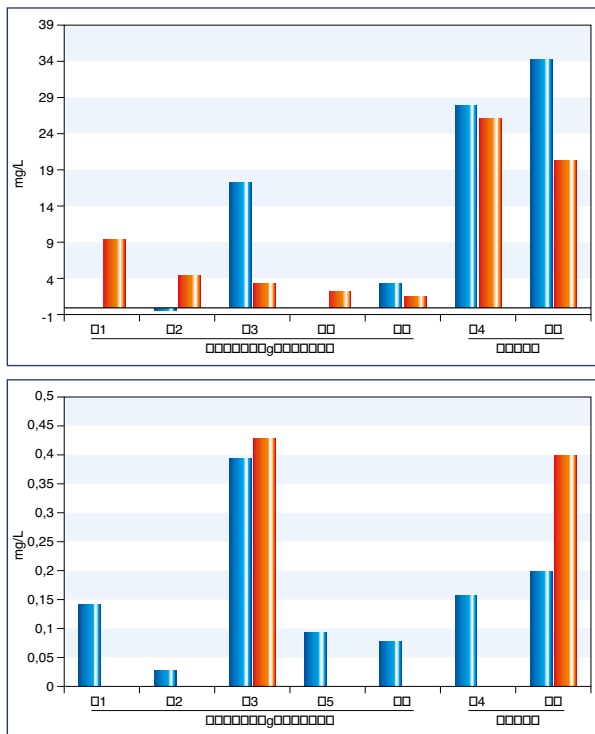


Fig. 7  
Fig. 8

## BIBLIOGRAFIA

- DOSSI C., MONTICELLI D., POZZI A., RECCHIAS. & VEZZOLI L. (2002) – A calibration curve at 2000 meters (a.s.l.): alpine valleys as field laboratories for teaching environmental monitoring to undergraduate students, *Ann. Chim.*, 92, 4, 407-416.
- EK E.C. (1966) – Faible agressivité des eaux de fonte des glaciers: l'exemple de la Marmolada (Dolimites), *Ann. Soc. Geol. Belg.*, 89, 177-188.
- LEONARDI P., PROTO – DECIMA F. & FARABEGOLI E. (1968) – Gruppo della Marmolada (parte settentrionale). In Leonardi P., "Le Dolomiti. Geologia dei monti tra Isarco e Piave, volumi I e II, a cura del CNR e Giunta Provinciale di Trento", 737-752.
- MATTANA U. (1995) – Il ghiacciaio della Marmolada – Aspetti geomorfologici della fronte centrale, *Riv. Geogr. It.*, 102, 113-127.
- VIGANO' A., DOSSI C., MATTANA U., MARTIN S., MONTICELLI D. & POZZI A. (2003) – The Marmolada glacier: an investigation of natural weathering and anthropic pressure through chemical analyses of melting water and ice, *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 26, 71-75.

**LÖFFEL**  
In armonia con la Natura  
La natura, musa ispiratrice delle nostre creazioni per l'arredo urbano.

**LASAR**  
Modelli di barriera per la protezione dei versanti  
In relazione a neve, terreno, ghiaia, acqua.

**betonform**  
QUALITÀ DALLA QUALITÀ

Per ulteriori informazioni, rivolgetevi senza impegno ai nostri tecnici.  
**Betonform S.r.l.**  
Stabilimento GALS - Zona Industriale, 3  
39030 Gals (BZ) - Tel. 0474 504180  
Fax 0474 504412 - info@betonform.it  
Stabilimento MEDESANO - Loc. Brozzoli  
27 - 43014 Medesano (PR)  
Tel. 0525 420 549 - Fax 0525 420 029  
informazioni@betonform.it www.betonform.it

**LASAR**