



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO

Facoltà di Scienze Agrarie e Alimentari

Sede di Edolo

Corso di Laurea in:

Valorizzazione e Tutela dell'Ambiente e del Territorio Montano

RICERCA DEGLI INQUINANTI DI NATURA ANTROPICA

PRESENTI NEL GHIACCIAIO DELL' ADAMELLO

Relatore: Prof. Ermanno ZANINI

Correlatore: Prof.ssa Gigliola BORGONOVO

Dott. Roberto RANZI

Tesi di laurea di:

Piermattia BOZZA

Matr. 817738

Anno Accademico 2014-2015

*Le montagne sono le grandi cattedrali della terra,
con i loro portali di roccia, i mosaici di nubi,
i cori dei torrenti, gli altari di neve,
le volte di porpora scintillanti di stelle.*

(John Ruskin)

INDICE

1. I GHIACCIAI	5
1.1 MORFOLOGIA E MOVIMENTO DEL GHIACCIAIO	6
1.2 EROSIONE GLACIALE.....	9
1.3 IL GHIACCIAIO DELL'ADAMELLO	19
1.3.1 Storia del ghiacciaio dell'Adamello.....	21
1.3.2 Stato di salute del ghiacciaio dell'Adamello e variazioni volumiche ..	22
1.4 SCOPO DELLA TESI.....	25
2. MATERIALI E METODI	27
2.1 STRUMENTI UTILIZZATI E CAMPIONAMENTO.....	27
2.2 ANALISI CHIMICHE.....	32
2.2.1 Ghiaccio e neve	33
2.2.2 Analisi di contaminanti su campioni vegetali.....	52
2.3 LIMITI DI LEGGE.....	55
3. RISULTATI	56
3.1 RISULTATI ANALISI DI GHIACCIO E NEVE.....	56

3.2 RISULTATI ANALISI CAMPIONE VEGETALE	62
4. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI.....	65

RINGRAZIAMENTI

BIBLIOGRAFIA

1. I GHIACCIAI

Un ghiacciaio è una profonda coltre di ghiaccio che si forma gradatamente sulla terraferma in conseguenza del compattamento e della ricristallizzazione della neve dovuti alla pressione esercitata dagli strati nevosi superficiali su quelli sottostanti che causa l'espulsione dell'aria contenuta tra i cristalli di neve e la loro trasformazione in una massa solida (Tarbuck et al. 1997). Tale fenomeno può avere luogo solamente in zone dove la quantità di neve che cade in inverno supera la quantità di massa nevosa che viene persa per fusione in estate o per sublimazione, quindi in zone caratterizzate da temperature relativamente basse per tutto l'arco dell'anno e da abbondanti precipitazioni invernali, condizioni che determinano un accumulo di neve che, con il tempo, si trasforma in ghiaccio (Ferrari 2000).

Il processo di compattamento della neve è graduale, come lo è l'aumento della pressione esercitata sulla massa nevosa in profondità per via del graduale accumulo di neve in superficie (Smiraglia et al. 2010). Risulta quindi possibile distinguere diversi gradi di compattamento: dalla neve tal quale (densità di $0,1894 \text{ g/cm}^3$), per via della pressione esercitata sulla stessa, si passa alla neve granulata (densità di circa $0,3 \text{ g/cm}^3$), quindi al *firn* (sezione della superficie di un ghiacciaio) con densità di circa $0,5 \text{ g/cm}^3$ che si forma dopo un'estate dalla precipitazione della neve, ed infine al ghiaccio (densità di $0,917 \text{ g/cm}^3$). La completa trasformazione in ghiaccio avviene dopo un periodo molto lungo dalla deposizione della neve, che può anche superare il secolo, tuttavia, nelle zone temperate, come nei ghiacciai alpini, il processo è più veloce in quanto la trasformazione della neve in ghiaccio è coadiuvata dal parziale scioglimento

diurno e dal conseguente riempimento d'acqua degli interstizi presenti tra i fiocchi di neve, durante la notte tale acqua congela, trasformandosi direttamente in ghiaccio.

Occorrono comunque circa 5 anni affinché la neve si trasformi completamente in ghiaccio (Tarbuck et al. 1997). La trasformazione della neve in ghiaccio comporta l'intrappolamento di minuscole bolle di aria che nelle fasi di espansione glaciale sono rimaste conservate nel ghiaccio antico; questo fenomeno è fondamentale perché ci permette di studiare la composizione dell'atmosfera terrestre fino a decine di migliaia di anni fa e ci di comprendere i cambiamenti climatici sia passati, sia attuali che stanno agendo anche sull'ecosistema alpino.

1.1 MORFOLOGIA E MOVIMENTI DEL GHIACCIAIO

Per comprendere come e perché si muovono i ghiacciai è necessario distinguere due zone del ghiacciaio stesso.

La prima zona si chiama bacino collettore o di alimentazione (circo glaciale) ed è l'area in cui si accumula la neve che poi si trasforma in ghiaccio (Smiraglia et al. 2010). Quest'area si trova ad un livello superiore al limite delle nevi perenni.

La seconda zona, che si trova sotto il limite delle nevi persistenti, si chiama bacino ablatore ed è l'area interessata dalla lenta discesa delle colate di ghiaccio (lingue).

Questa area resta coperta dalle nevi fino a tarda primavera; successivamente le nevi si ritirano e comincia la vera e propria fase di ablazione (scioglimento) del ghiaccio derivante dal bacino di accumulo (Cann & Baird 2006).

Le lingue del ghiacciaio possono scendere anche di 2000 metri prima di fondersi completamente (Fig.1).

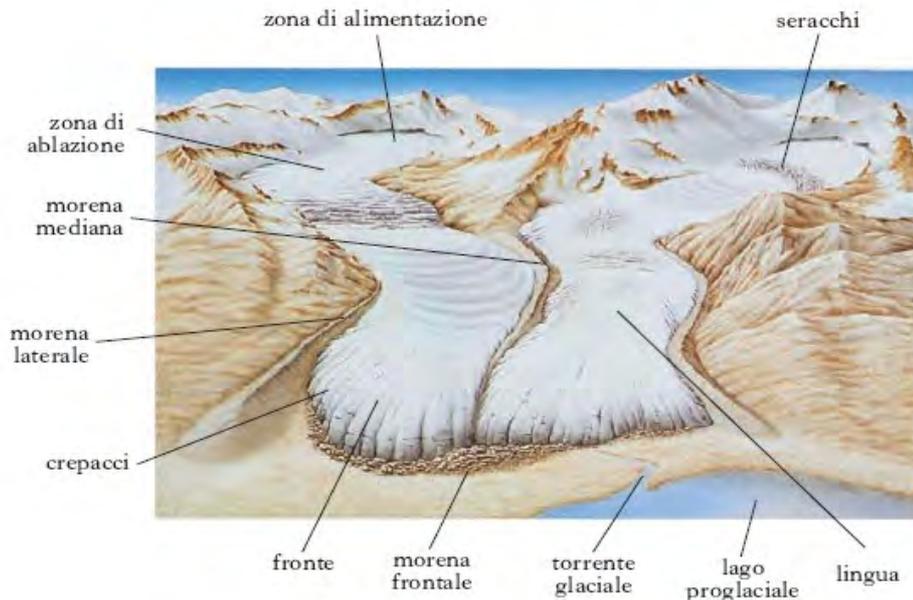


Fig. 1: in figura sono rappresentate due lingue glaciali con i relativi bacini di accumulo e altre strutture glaciali tipiche degli ambienti alpini (foto scaricata da www.treccani.it).

Il movimento di un ghiacciaio verso il basso è dovuto alla forza di gravità: questa spinge le lingue del ghiacciaio che possono riempire un'intera valle, modificandone la forma, ovvero costruendo lateralmente ammassi detritici (morene laterali). La potenza di queste lingue può superare, in ambiente alpino, anche i 500 m (Ferrari 2000). Quando il pendio diventa più accentuato il ghiaccio tende a essere soggetto a tensioni che comportano delle spaccature dette crepacci. I crepacci possono essere di due tipologie: a campana e a Y (Fig. 2).

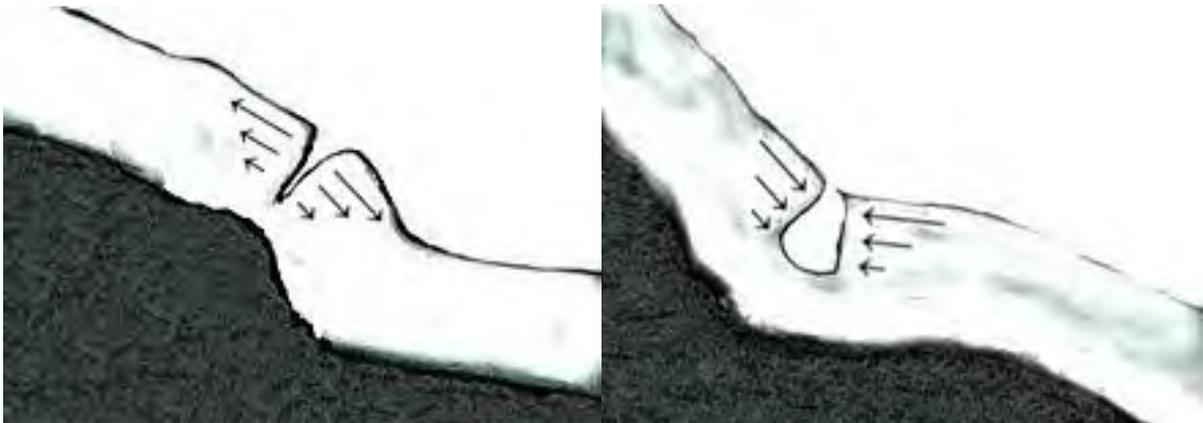


Figura 2: crepacci a Y e a campana (foto scaricata da www.sos2012.it).

I crepacci a campana si formano in corrispondenza di una conca infatti la massa di ghiaccio che scorre sul substrato roccioso tende a fratturarsi in corrispondenza degli strati più profondi determinando la formazione di spaccature invisibili dall'esterno che assumono la forma di campane (Smiraglia et al. 2010). I crepacci a campana normalmente interessano il ghiaccio nei primi 60 metri di profondità infatti quello che scorre a profondità superiori tende a comportarsi in maniera plastica a causa dell'elevatissima pressione.

I crepacci a Y si trovano in zone del ghiacciaio dove la pendenza a valle è superiore rispetto a quella a monte, in tali zone il ghiaccio è soggetto a tensioni nella zona sommitale che si manifestano con fratture tendenzialmente ortogonali alla linea di massima pendenza.

Durante l'inverno i crepacci tendono a chiudersi a causa delle abbondanti nevicate e questo porta alla formazione di tipici ponti di neve che durante l'estate sono fondamentali per il loro attraversamento.

Il ghiacciaio termina con il fronte cioè la parte terminale della lingua glaciale, spesso questa parte del ghiacciaio non è visibile perché si incunea in una

morena frontale. C'è da considerare che il ghiacciaio è in continuo movimento e nel corso degli anni e dei secoli il ghiaccio tende ad avanzare o a ritirarsi a seconda delle fluttuazioni climatiche, ad esempio nelle Alpi il fronte glaciale si trova ad una quota più elevata rispetto al secolo scorso; questo vuol dire che i ghiacciai alpini sono in fase di ritiro.

Nei casi in cui la neve si accumula sul fronte anno dopo anno, si ha un'avanzata glaciale, che comporta lo spostamento del fronte glaciale a quote più basse.

L'avanzamento può avvenire anche per maggiore lubrificazione tra ghiaccio e roccia legata alla fusione per pressione della massa glaciale. L'avanzamento non necessariamente corrisponde a un aumento del ghiaccio.

1.2 EROSIONE GLACIALE

L'erosione glaciale è di tre tipi: 1) abrasione di fondo con produzione di sedimento grossolano di frantumazione della roccia di base (till glaciale); 2) abrasione laterale con possibile striature della roccia ovvero accumulo di detriti laterali (morene laterali); 3) esarazione frontale con formazione di morene frontali o anfiteatri in genere secondo un arco del fronte glaciale che è rallentato ai lati dall'attrito con le rocce dei versanti (Smiraglia et al. 2010).

L'esarazione si sviluppa in quattro meccanismi: in primo luogo si ha la rimozione dei depositi in prossimità della fronte glaciale seguita dall'abrasione dell'interfaccia che si sviluppa per effetto dei clasti incastonati alla base del ghiacciaio (Ferrari 2000). Vi è poi lo spostamento dei blocchi e dei frammenti rocciosi per effetto della spinta del ghiaccio che asporta porzioni già separate

dal substrato per discontinuità; ed infine si ha l'erosione subglaciale da parte dell'acqua di fusione contenente sedimenti.

Il meccanismo di rimozione del materiale nelle fasi di avanzata glaciale giustifica l'assenza di successioni di depositi particolarmente antichi nelle aree glacializzate.

La capacità abrasiva di un ghiacciaio è determinata dalla pressione all'interfaccia ghiacciaio-substrato, dalla velocità di scorrimento basale e dalla concentrazione di materiale detritico basale (Smiraglia et al. 2010). L'efficacia dell'azione abrasiva sul substrato da parte di un ghiacciaio è da ricondurre alla resistenza meccanica della roccia e quindi alla litologia del substrato ed al quantitativo di sedimenti inglobati nella porzione basale della lingua glaciale.

L'erosione glaciale è un fenomeno che ha plasmato il panorama mondiale durante le grandi glaciazioni e continua tuttora a plasmare l'ambiente montano (Fig. 3).



Fig. 3: caratteristiche striature glaciali presenti sulle rocce che un tempo si trovavano all'interfaccia col ghiacciaio (foto scaricata da www.erosioneglaciale.it).

I ghiacciai alpini danno origine a tutta una serie di strutture imputabili all'erosione glaciale che caratterizzano il paesaggio.

I gradini o spalle glaciali sono delle strutture glaciali situate lungo le valli di modellamento glaciale: possono essere di altezze comprese tra poche decine di metri e i 150-200 m rispetto al fondo attuale o correlati a livelli precedenti (Meridiani montagne, Maggio 2005); il loro sviluppo è generalmente dovuto al controllo litostrutturale del substrato. In alcuni casi i gradini si sviluppano in punti di confluenza di due lingue glaciali in tal caso vengono chiamati gradini di confluenza.

Le morfologie più tipiche legate all'erosione glaciale sono rappresentate sulle superfici levigate e arrotondate sulle quali si possono osservare strie, scanalature e solchi glaciali (Grossi et al. 2010).

L'azione abrasiva ne svolge anche una meccanica sui clasti localizzati all'interfaccia ghiaccio-roccia che si presentano smussati, sfaccettati, levigati e irregolarmente striati; inoltre spesso presentano una tipica forma affusolata detta anche "ferro da stiro".

Alla mesoscala le morfologie più diffuse sono rappresentate da rocce o geomorfe "montinate" o a dorso di cetaceo (*whaleback*) con tipica morfologia affusolata allungata parallelamente alla direzione di deflusso del ghiacciaio.

Le morfologie a dorso di cetaceo e le depressioni che fiancheggiano questi rilievi sono controllate dall'assetto strutturale del substrato corrispondendo le prime a substrato integro e le seconde a zone di debolezza strutturale del substrato.

I solchi glaciali sono striature visibili sulla roccia viva causati da clasti di grosse dimensioni inglobati nel ghiaccio e trasportati a valle dal movimento di

quest'ultimo; essi sono fondamentali per identificare l'andamento del ghiaccio anche in zone da dove esso si è ritirato da millenni.

Dal punto di vista geomorfologico le morene sono strutture glaciali che si trovano tipicamente in corrispondenza dei fianchi o nella zona terminale della lingua fondamentale, esse sono costituite da materiale clastico eterogeneo come dimensioni e trasportato dal ghiacciaio a valle longitudinalmente o depositato con una tipica forma ad anfiteatro (Fig. 4). La litologia è in genere mista in quanto correlata con i litotipi che il ghiacciaio ha demolito (Grossi et al. 2010).



Fig. 4: morene glaciali (foto realizzata da P. Bozza).

Un mulino glaciale è uno stretto canale dalla forma tubulare attraverso cui l'acqua penetra dalla superficie del ghiacciaio. Possono essere larghi fino a 10

metri e si trovano in genere in zone pianeggianti del ghiacciaio percorse da crepacci trasversali. I mulini possono giungere fino alla zona di interazione tra il ghiaccio e la roccia determinando un aumento della velocità di scivolamento a valle del ghiacciaio stesso.

I circhi glaciali sono localizzati nei settori di testata dei bacini glaciali e corrispondono a nicchie morfologicamente depresse circondate da pareti rocciose verticali o quasi, scavate dall'erosione glaciale.

Il progressivo ampliamento dei circhi da parte dei ghiacciai determina lo sviluppo di creste spartiacque affilate. La parte centrale del circo è generalmente sub-pianeggiante e delimitata verso valle da una soglia in roccia, talvolta in contropendenza, seguita da un gradino roccioso (Fig. 5).



Fig. 5: esempio di circhi glaciali camuni, sulla sinistra è possibile vedere la cima Plem (foto realizzata da P. Bozza).

I circhi glaciali sono spesso disposti in successione a formare una gradinata. In passato i circhi erano imputati completamente ad azione erosiva glaciale, ma secondo le più moderne vedute avrebbero origine composita: infatti la loro formazione sarebbe dovuta all'alternarsi del gelo e del disgelo della neve con escavazione e ripulitura della nicchia da parte del ruscellamento delle acque di fusione prima dell'instaurarsi del ghiacciaio, il quale però sarebbe responsabile di una azione di modellamento a seguito dell'azione di erosione da parte dei detriti.

I circhi sono presenti per lo più alla testa del ghiacciaio e spesso sono riuniti in gruppi e talvolta occupati da laghetti.

Le conche di sovraescavazione sono depressioni chiuse più o meno accentuate causate dall'azione esarativa che può risultare efficace anche in contropendenza; le conche di sovraescavazione, successivamente al ritiro dei ghiacciai, sono state occupate da bacini lacustri e in seguito colmate più o meno estesamente da sedimenti e/o depositi torbosi.

Molte valli alpine sono state modellate dall'azione glaciale che ha portato alla tipica sezione a U delle valli di origine glaciale.

Spesso queste vallate sono caratterizzate da un fondovalle concavo con pareti ripide, a volte verticali, di natura rocciosa e al di sopra di esse è possibile trovare circhi glaciali con le tipiche creste che fungono da spartiacque. Lungo molti tratti delle vallate alpine è possibile riconoscere i tratti di versante con una relitta morfologia concava chiaramente modellati dai ghiacciai pleistocenici.

I gradini di sbocco si formano alla confluenza delle valli laterali nella valle principale; le valli laterali possono talvolta risultare sospese sul fondovalle

principale per effetto della maggiore capacità esarativa del ghiacciaio principale rispetto a quelli tributari; questo è dovuto alla differenza di volume tra i ghiacciai laterali rispetto a quello principale che essendo molto più pesante ha una capacità erosiva maggiore.

Le morene laterali sono il limite che indica il livello massimo di potenza raggiunto nel corso dell'ultima espansione di un ghiacciaio, tale limite è riconoscibile per il colore della roccia (più o meno alterata), per la presenza di morene laterali e per la presenza o assenza di vegetazione.

Le morene laterali sono composte da materiale clastico di vario genere trasportato a valle dal ghiacciaio; in alcuni casi può essere presente una morena mediana che separa due lingue glaciali provenienti da bacini di accumulo differenti e che si uniscono (Fig. 6).



Fig. 6: morene laterali formate da una lingua glaciale in regressione (foto scaricata da www.scienzafacile.it).

Casi particolari sono le valli pensili, o valli sospese, che si possono osservare alla confluenza (gradino di sbocco) di valli secondarie in valli principali e la cui genesi sembra legata a una iniziale rottura di pendio, successivamente accentuata dalla differente capacità erosiva delle lingue glaciali.

Sono definiti gradini di confluenza quelli presenti lungo una valle principale, quando questa si incontra con una valle laterale. La differenza di capacità erosiva complessiva del ghiacciaio è da imputarsi alla differenza di massa rispetto ai ghiacciai provenienti dalle valli laterali; questo porta al formarsi di un gradone glaciale che col ritirarsi del ghiaccio potrà dare origine a una cascata (Fig. 7) o comunque, a monte, geomorfologie ondulate relitte correlabili a materiali che il ghiacciaio non è riuscito a demolire e/o trasportare verso valle.

L'azione di trasporto viene effettuata sia dal ghiacciaio in movimento sia dai torrenti glaciali che si formano alla fronte del ghiacciaio. Nel primo caso il materiale trasportato e successivamente deposto va a costituire le morene, che vengono differenziate in base alla posizione che esse occupano alla base o all'interno del ghiacciaio.

Connessi all'attività glaciale sono poi i depositi fluvioglaciali, dovuti all'azione dei torrenti glaciali, e i depositi glaciomarini e glaciolacustri, che si formano quando i ghiacciai trascinano direttamente in mare o nei laghi gran parte dei sedimenti trasportati.

Esistono poi le conche glaciali, le quali non hanno pareti ripide come i circhi e risultano essere il semplice risultato dell'azione di scavo operata dalle acque di fusione di un ghiacciaio in corrispondenza di depressioni e cavità comunque preesistenti.

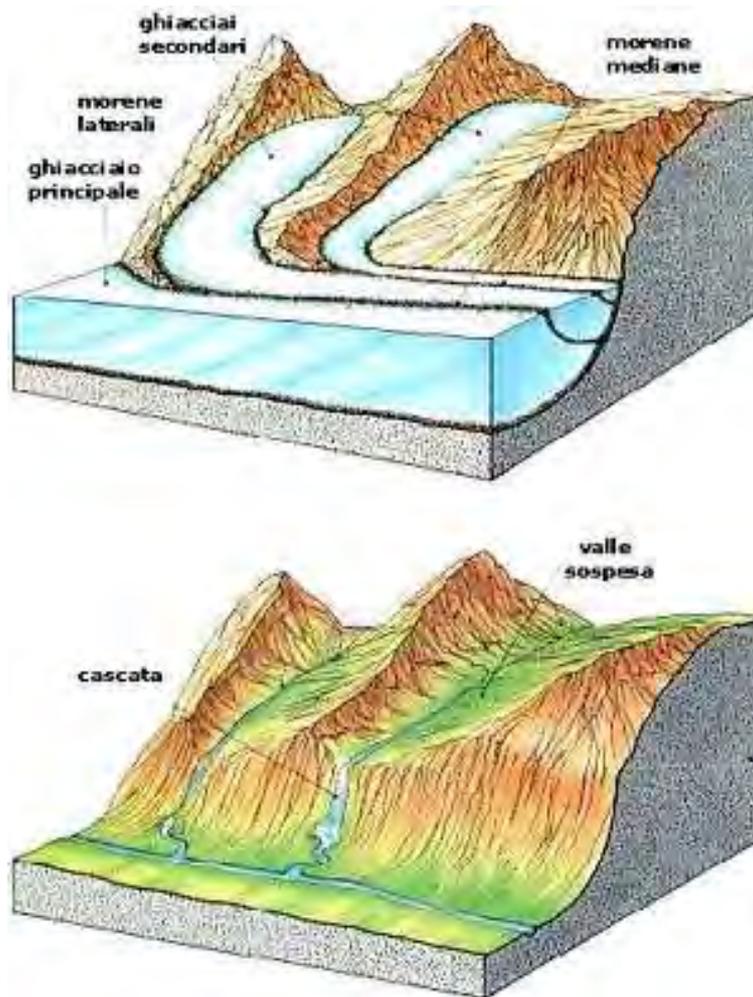


Fig. 7: morfologia delle valli sospese che caratterizzano l'ambiente alpino. Nell'immagine in corrispondenza della cascata è possibile vedere anche un gradone glaciale risultato dell'azione erosiva del ghiacciaio più imponente (immagine scaricata da www.geomorfologia.it)

Nei fondovalle, in genere in corrispondenza della testa del ghiacciaio, spesso vi sono zone umide e torbiere che derivano dalla presenza di concavità a basso drenaggio occupate da sedimenti fini sui quali si instaura una colonizzazione di piante adatte all'ambiente sommerso e che provocano l'innescò della formazione di suoli organici (Histosol) da cui progressivamente possono formarsi torbe.

Queste aree derivano spesso da laghi che col tempo sono stati colmati dai sedimenti provenienti dal ghiacciaio e successivamente colonizzati da essenze erbacee palustri (Fig. 8).



Fig. 8: la val Miller nel gruppo dell'Adamello (foto realizzata da P. Bozza).

1.3 IL GHIACCIAIO DELL'ADAMELLO

Il ghiacciaio dell'Adamello, con i suoi 17,24km² di superficie (giugno 2003), è il più vasto complesso glaciale delle Alpi italiane (Fig. 9). Esso si trova, secondo la SOIUSA in questa posizione:

- Grande parte = Alpi Orientali
- Grande settore = Alpi Sud-orientali
- Sezione = Alpi Retiche meridionali
- Sottosezione = Alpi dell'Adamello e della Presanella
- Codice = II/C-28.III

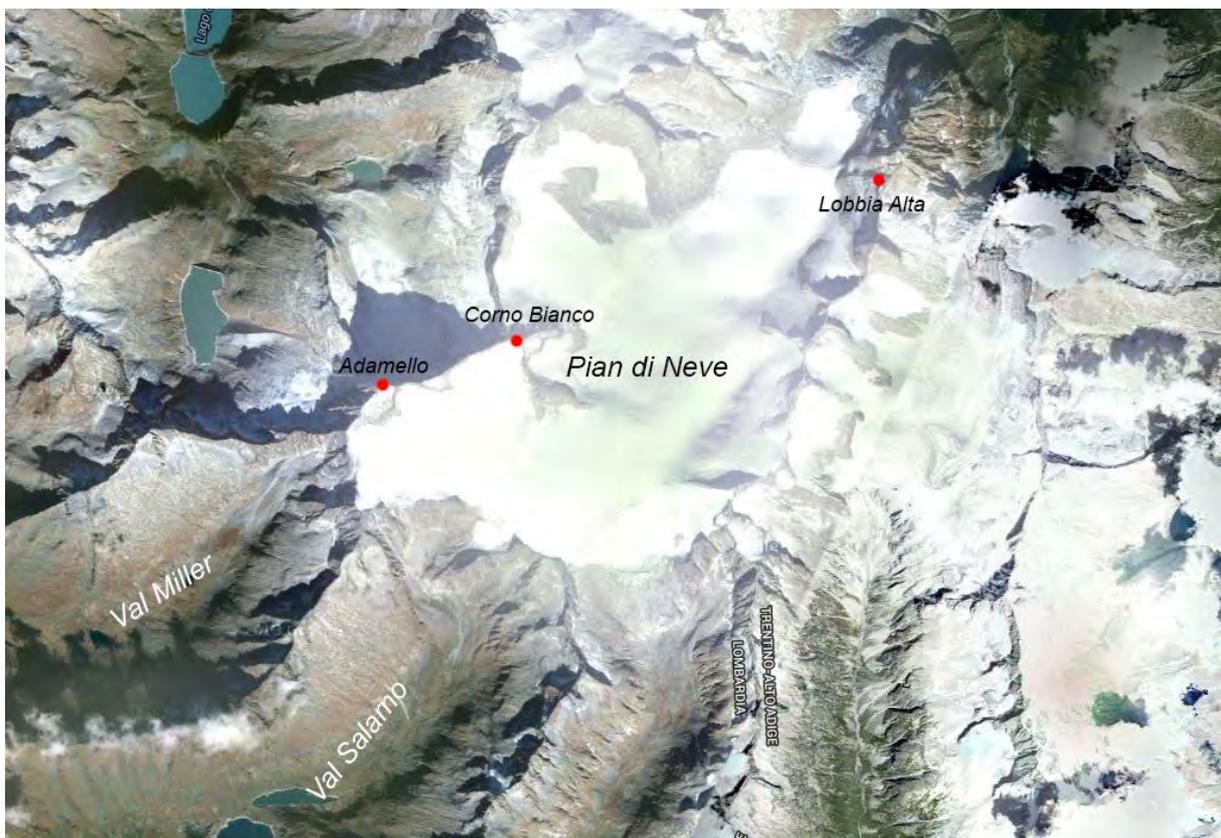


Fig. 9: Vista del Pian di Neve, sono visibili le valli che danno accesso ad esso. Sono segnate inoltre la cima della Lobbia Alta, il Corno Bianco e l'Adamello (Foto scaricata da google maps).

La sua superficie ricade per circa il 90% in territorio bresciano (dal Pian di Neve all'intersezione con la direttrice monte Mandrone-passo della Lobbia Alta), per la restante parte (vedretta del Mandrone) in territorio trentino (Grossi et al. 2010). In disaccordo con la divisione politica del ghiacciaio, la linea spartighiaccio coincidente con la direttrice passo Adamé-monte Adamello fa ricadere ben 13,30km² dei 17,24 complessivi nel bacino idrografico trentino del Sarca di Genova, e solamente i restanti 3,94 km² nel bacino bresciano dell'Oglio (Meridiani montagne, Maggio 2005). La quota del ghiacciaio dell'Adamello varia da un minimo di 2586m ad un massimo di 3406m s.l.m., mentre la quota della linea di equilibrio si colloca oggi sopra i 3300m. Lo spessore massimo del ghiacciaio è stato stimato in 240m (presso il Pian di Neve), per un volume totale di ghiaccio stimato in 870 milioni di m³.

Il ghiacciaio è delimitato a Nord dalla val di Genova, a Est dalla vedretta della Lobbia e dalla val di Fumo, a Sud dalla val Adamé e dalla val Salarno, a Sud-Ovest dalla val Miller, ad Ovest dalla val d'Avio e dalla valle del Venerocolo, a Nord-Ovest dal ghiacciaio del Pisgana (val Narcanello) (Meridiani montagne, Maggio 2005).

Tra le vette che si affacciano sul ghiacciaio dell'Adamello, ricordiamo il monte Adamello (3539m), il Corno Bianco (3434m), il monte Venerocolo (3323m), il monte Mandrone (3294m), la Lobbia Bassa (2958m), la Lobbia Alta (3195m) e la Lobbia di Mezzo (3033m), Cresta Croce (3307m), il Monte Fumo (3418m), i Corni di Salarno (3297m e 3327m) ed il Corno Miller (3373m) (Meridiani montagne, Maggio 2005).

1.3.1 Storia del ghiacciaio dell'Adamello

Il massiccio dell'Adamello oltre all'importanza naturalistica e alpinistica che tutt'oggi riveste, è stato caratterizzato da un elevato valore strategico nei primi anni del 1900 (Martinelli & Poverelli 1996), infatti esso è stato teatro della Prima Guerra Mondiale dal 1915 al 1918: inizialmente la guerra ha interessato i passi di montagna come il passo del Tonale che essendo a quote minori potevano essere facilmente attaccati e, successivamente, le forze armate si sono attestate nelle valli alpine nel tentativo di aggirare il nemico (Martinelli & Poverelli 1996). Il contributo che la guerra ha comportato come apporto di inquinanti al ghiacciaio dell'Adamello è senza ombra di dubbio notevole anche se di difficile determinazione; tuttora è possibile vedere e toccare con mano gli innumerevoli reperti bellici abbandonati sul ghiacciaio dell'Adamello (Martinelli & Poverelli 1998). Nonostante sia passato quasi un secolo dalla conclusione del conflitto, l'area non è mai stata bonificata a causa dei costi e delle notevoli difficoltà logistiche. Si precisa che la zona del ghiacciaio situata in corrispondenza del passo Adamello (Martinelli & Poverelli 1998), sito di campionamento, nonostante fosse presidiata dalle truppe italiane ai tempi del conflitto, non è stata interessata da combattimenti notevoli e di conseguenza è stata soggetta ad un inquinamento antropico-bellico minore rispetto al ghiacciaio del Mandrone o del Presena (Martinelli & Poverelli 1996).

1.3.2 Stato di salute del ghiacciaio dell'Adamello e variazioni volumiche

Dopo la fase di espansione glaciale avvenuta durante la Piccola Era Glaciale, convenzionalmente individuata tra l'inizio del XVI e la metà del XIX secolo, mediamente su tutta l'area alpina iniziò una fase di costante ritiro dei ghiacci, interrotta da brevi periodi di espansione, l'ultimo dei quali si esaurì negli anni '70 del secolo scorso; per il ghiacciaio dell' Adamello, nel periodo compreso tra il 1820 e il 2002, è stato stimato un ritiro di circa 2 km su base cartografica piana, con un aumento della quota della fronte del ghiacciaio di 880 m (Grossi et al. 2010).

Da questo si evince che da alcuni decenni è in corso un intenso regresso dei ghiacciai in tutto il mondo dall'area alpina all'Antartide, che viene considerato il segnale più chiaro e indiscutibile del riscaldamento globale (Grossi et al. 2010).

Sulle Alpi l'incremento termico nell'ultimo secolo è risultato essere oltre il doppio rispetto ad altre regioni, con un'accelerazione a partire dalla fine degli anni 70 del secolo scorso (Meridiani montagne, Maggio 2005).

Questa evoluzione climatica sta portando ad una vera e propria "disintegrazione" delle masse glaciali alpine, interessando in particolare i ghiacciai di piccole dimensione (cioè i ghiacciai con superficie inferiore a 1 km²) che sulle Alpi, rappresentano l'80% del numero totale dei ghiacciai e costituiscono un importante contributo alle risorse idriche (Meridiani montagne, Maggio 2005).

La regressione del ghiacciaio dell'Adamello è particolarmente evidente in val di Genova dove è possibile confrontare una foto scattata nel 2008 con un

acquarello di Meinziger riportato in Payer nel 1865; confrontando queste due immagini possiamo osservare una regressione della lingua glaciale di circa 2 km. In figura 10 possiamo osservare la netta separazione fisica tra le due unità glaciali provenienti rispettivamente dalla conca del Mandrone e dal Matarot. Per tentare di comprendere meglio quale sarà il futuro dei ghiacciai alpini è necessario comprendere le dinamiche che determinano la loro formazione e il loro mantenimento.



Fig. 10: ghiacciaio della Lobbia e del Mandrone a confronto (foto scaricata da www.meteopassione.com).

Il bilancio di massa è un sistema che permette di stimare la perdita di ghiaccio in acqua liquida di anno in anno tenendo in considerazione le precipitazioni di natura nevosa durante l'inverno e le perdite per ablazione durante l'estate. Se il quantitativo di acqua accumulato durante l'inverno, sotto forma di neve, espresso in mm è maggiore rispetto alla massa di acqua persa durante l'estate la massa complessiva del ghiacciaio aumenterà e quindi se questa situazione persiste avremo un avanzamento del ghiacciaio (Grossi et al. 2010).

Se invece il quantitativo di acqua accumulata durante l'inverno tramite le precipitazioni è minore della massa di acqua persa in estate, allora il ghiacciaio tende a ritirarsi ed a assottigliarsi (Fig. 11).

La misura del bilancio netto si basa sul metodo diretto, che prevede il calcolo del bilancio su alcuni punti rappresentativi del ghiacciaio e la successiva integrazione sull'intera superficie.



Fig. 11: Rifugio Caduti dell'Adamello sotto la cima della Lobbia Alta (3200 m s.l.m.). Rappresentati con due linee tratteggiate si possono notare i livelli del ghiacciaio durante gli ultimi 146 anni. In basso a sinistra è possibile vedere ciò che rimane delle strutture atte alla permanenza in quota dei soldati al passo della Lobbia Alta (foto scaricata da www.snowboarditalia.com).

Le misure glaciologiche vengono effettuate utilizzando paline ablatometriche (tubi di alluminio lunghi circa 4 m e dal diametro esterno di 20 mm) infisse nel ghiaccio circa 2.5 metri (Grossi et al. 2010); durante la stagione estiva si

calcolano le variazioni di lunghezza della parte sporgente dal ghiaccio delle paline (che, se necessario, vengono approfondite), e si tiene conto contemporaneamente dello spessore dell'eventuale neve residua (Meridiani montagne, Maggio 2005).

Questo metodo permette di calcolare accuratamente la perdita di spessore del ghiacciaio in quel determinato punto ma non consente di determinare la reale fusione glaciale, infatti alcune zone del ghiacciaio sono più soggette a fusione rispetto ad altre, quindi per avere una stima il più precisa possibile è necessario usare un numero elevato di paline disposte in varie aree del ghiacciaio (Grossi et al. 2010). Ciò comporta elevati costi e molto tempo per il posizionamento e il monitoraggio delle paline.

1.4 SCOPO DELLA TESI

Il ghiacciaio dell'Adamello situato nelle alpi retiche meridionali è il complesso glaciale più esteso delle alpi italiane che vede come cima più alta il Monte Adamello con i suoi 3554 m s.l.m (Meridiani montagne, Maggio 2005).

Esso riveste un notevole interesse dal punto di vista naturalistico, economico e alpinistico, infatti ogni anno diverse centinaia di persone percorrono le vallate alpine con lo scopo di immergersi nella natura di questo ambiente.

Il presente elaborato finale ha come scopo la ricerca degli inquinanti di natura antropica che hanno contaminato il Pian di Neve. Si parte dal presupposto che tutti gli ecosistemi terrestri sono interconnessi tra loro e che, nonostante la elevata distanza da potenziali fonti di inquinamento diretto, non è sottovalutabile l'importanza che le correnti ascensionali e le precipitazioni

rivestono nel trasporto degli inquinanti. Come recentemente evidenziato da numerosi studi effettuati sulle precipitazioni nevose (Grossi et al. 2010) e non che interessano l'ambiente alpino è possibile osservare la presenza di inquinanti di origine antropica capaci di contaminare anche gli ambienti più remoti.

E' doveroso precisare che non tutte le specie chimiche ricercate e rilevate possono essere considerate inquinanti infatti la definizione di inquinamento dice che possono essere definiti inquinanti tutte le specie chimiche di natura antropica che in condizioni fisiologiche non dovrebbero essere presenti in un determinato ecosistema o che sono presenti in quantità alterate a causa delle attività antropiche.

La presenza di tali inquinanti non è da sottovalutare poiché il ghiacciaio dell'Adamello rappresenta un'importante riserva di acqua per le valli alpine e la pianura che utilizza queste riserve idriche per l'agricoltura (Grossi et al. 2010).

La raccolta dei campioni è stata effettuata presso il Passo dell'Adamello a 3000 m di altitudine con l'utilizzo di una trivella a mano. Tale sito di campionamento è stato raggiunto a piedi percorrendo il sentiero che attraversa tutta la Val Miller e dà accesso al ghiacciaio tramite la via alpinistica "Terzulli" (Meridiani montagne, Maggio 2005).

Sono stati analizzati campioni di natura differente quali ghiaccio, neve e essenze erbacee.

2. MATERIALI E METODI

Nel settembre 2014 sono stati effettuati i prelievi dei campioni di ghiaccio presso il passo dell'Adamello e sono state effettuate analisi chimiche in laboratorio. Di seguito sono riportati gli strumenti e la metodologia di campionamento e di analisi utilizzati.

2.1 STRUMENTI UTILIZZATI E CAMPIONAMENTO

Il campionamento è stato effettuato sul ghiacciaio dell'Adamello, presso il passo dell'Adamello, raggiunto a piedi dalla Val Miller (Fig. 12) (Meridiani montagne, Maggio 2005).

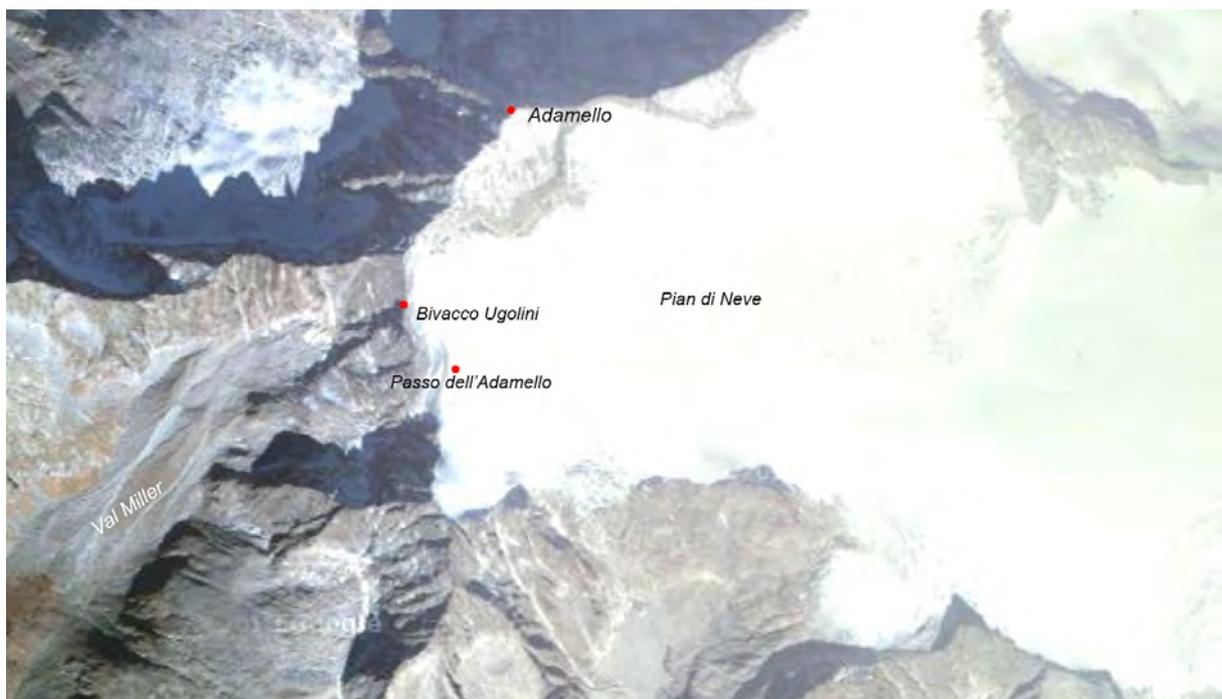


Fig. 12: Visuale del ghiacciaio dell'Adamello dal satellite: sono evidenziate la cima dell'Adamello, il pian di neve, il passo Adamello, e la posizione del bivacco Ugolini (foto scaricata da google maps).

Per il prelievo dei campioni di ghiaccio è stata utilizzata una trivella a mano con la quale sono state estratte diverse carote di ghiaccio (Fig. 13 e 14).



Fig. 13: Raccolta dei campioni con l'utilizzo della trivella (Foto di G. Rossi).

La trivella è costituita da un corpo centrale dalla forma cilindrica lunga circa 1 metro; la parte terminale è detta punta ed è caratterizzata da una fresa e da una vite che permettono la trivellazione del ghiaccio. Successivamente all'estrazione i campioni di ghiaccio sono stati divisi per profondità e sono stati

inseriti in appositi contenitori precedentemente trattati con una soluzione di acido cloridrico al fine di evitare contaminazioni.



Fig. 14: Carota di ghiaccio prelevata dal ghiacciaio (Foto di G. Rossi).

Contemporaneamente al prelievo del ghiaccio è stata prelevata anche la neve derivante dall'ultima precipitazione e quindi più superficiale; anch'essa è stata posta in un contenitore precedentemente preparato per il trasporto a valle. Sono stati eseguiti carotaggi a 30 e a 60 centimetri di profondità previa asportazione dello strato nevoso che ricopriva il ghiacciaio con l'utilizzo di una pala da neve. Nel 2014, nonostante i prelievi di ghiaccio siano stati effettuati alle coordinate della prima campagna, non è stato possibile rimuovere completamente la copertura nevosa che ricopriva il ghiacciaio a causa delle abbondanti precipitazioni invernali ed estive avvenute nel corso dell'anno. Il

campionamento è stato quindi effettuato su ghiaccio di natura diversa rispetto a quello analizzato nel 2011 dimostratosi più compatto. Per questo motivo diventa complicato confrontare i due campioni prelevati. E' anche necessario precisare che in un ambiente come quello glaciale è impossibile confrontare campioni prelevati in epoche differenti anche ricercando l'esatta posizione con il satellitare; questo è da imputarsi alle dinamiche glaciali relative allo scivolamento a valle.

Per quanto concerne il campionamento della neve, sono stati raccolti tre campioni: il primo nel 2011 al passo Adamello all'altitudine di 3000 m s.l.m. (Meridiani montagne, Maggio 2005), il secondo nel medesimo luogo nel 2014 e il terzo presso un rifugio situato nel comune di Edolo ad un'altitudine di 1832 m s.l.m. a malga Stain a marzo del medesimo anno. I campionamenti della neve sono stati effettuati su una superficie di 1 metro quadrato e hanno comportato un prelievo di manto nevoso pari circa a 3 litri volumetrici di neve che successivamente sono stati analizzati.

Il campionamento della neve è fondamentale perché essa ha la tendenza a trattenere gli inquinanti presenti nell'aria sin dalla sua formazione e anche successivamente alla sua caduta.

Sono stati raccolti inoltre due campioni vegetali, uno nel 2011 e uno nel 2014, sulle zone rocciose nelle immediate prossimità del ghiacciaio ad una quota di 3200 m.s.l.m.; tali campioni sono composti da numerose erbacee della famiglia delle Poaceae. Il campione raccolto nel 2011 deriva dalla parete sud del monte Adamello nella zona comunemente chiamata "roccette" dagli alpinisti che frequentano la zona (Meridiani montagne, Maggio 2005).

Il secondo campione raccolto nel 2014 è stato prelevato da una zona differente localizzata sotto la direttrice del bivacco U. Ugolini (Fig. 15), utilizzato come riparo per la notte durante i campionamenti.



Fig. 15: Il bivacco Ugolini con la cima dell'Adamello sullo sfondo (Foto di P. Bozza).

2.2 ANALISI CHIMICHE

Per la determinazione degli inquinanti presenti nei campioni prelevati nelle campagne di campionamento sono stati utilizzati metodi analitici e strumentali. Le analisi spettrofotometriche sono state condotte utilizzando uno spettrofotometro VIS-UV marca Varian (50 Scan).

Il pH è stato misurato a 20°C utilizzando un pHmetro Eutech opportunamente calibrato (Fig. 16).

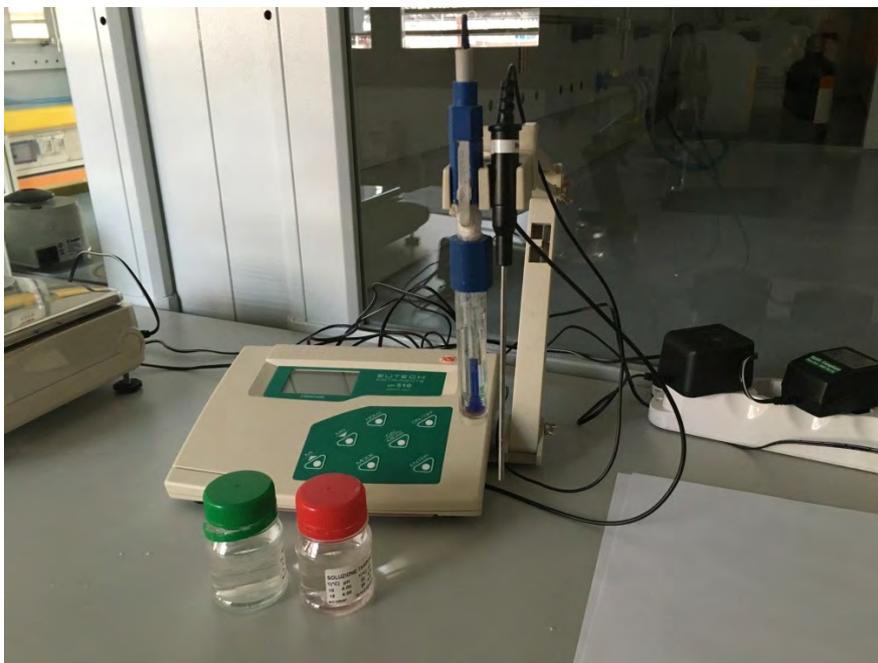


Fig. 16: pHmetro utilizzato per la misurazione del pH dei campioni (Foto di G. Rossi).

Le analisi ICP-MS (*inductively coupled plasma mass spectrometry*) per la determinazione dei metalli pesanti in campioni di neve e ghiaccio sono state condotte in collaborazione con il prof. Sacchi e il Dr. Lucchini del DiSAA dell'Università di Milano.

Le medesime analisi condotte su materiale vegetale sono state condotte presso il laboratorio d'analisi specializzato L2A (Laboratorio Analisi Ambientali) dal Dott. Frignani Franco.

Le soluzioni a titolo noto, utilizzate per le analisi volumetriche, sono state preparate mediante diluizione di soluzioni commerciali Normex.

Il reattivo di Nessler, costituito da una soluzione alcalina di tetraioduromercurato di potassio, è stato utilizzato per la determinazione dell'ammoniaca all'interno dei campioni ed è stato acquistato da Carlo Erba reagents (Cann & Baird 2006).

Il reattivo di Griess è invece una miscela di acido solfanilico e 1-naftilammina utile per la determinazione dei nitriti.

Per i nitrati è stata sfruttata la reazione colorimetrica tra il Fehling B, costituito da tartrato di sodio e potassio più idrossido di sodio, ed i nitrati stessi.

2.2.1 Ghiaccio e neve

I campioni, una volta prelevati e portati a valle, sono stati congelati affinché si conservassero in attesa di effettuare le analisi. Per prima cosa è stato necessario filtrare l'acqua derivante dallo scioglimento dei campioni per eliminare ogni minima impurità.

Di seguito sono riportati i procedimenti per la determinazione dei vari inquinanti (Fig. 17).



Fig. 17: Reagenti utilizzati per le analisi chimiche (Foto di G. Rossi).

Sostanza organica

Il contenuto in sostanza organica dei campioni di ghiaccio e di neve è stato determinato mediante il metodo Kubel basatosi sull'ossidazione della sostanza organica presente nell'acqua derivata dalla fusione dei campioni stessi mediante permanganato di potassio e la successiva titolazione del permanganato residuo.

La sostanza organica viene fatta ossidare a caldo dal permanganato di potassio in ambiente acido, di conseguenza parte del permanganato introdotto nel campione viene consumato dalla sostanza organica stessa.

Determinando la quantità di permanganato residuo si può quindi risalire alla quantità di permanganato che ha partecipato alla reazione con la sostanza organica e, di conseguenza, al contenuto in sostanza organica del campione (APHA et al. 2005).

Il permanganato residuo viene titolato mediante reazione con acido ossalico (Cann & Baird 2006).

Sono stati introdotti 100 ml di acqua in un becker da 250 ml, con l'aggiunta di 5 ml di H_2SO_4 diluito (1:3) e 10 ml di $KMnO_4$ 0,01N.

La soluzione così ottenuta è stata fatta bollire per 5 minuti su piastra riscaldante. E' fondamentale che il colore rosa della soluzione permanganato durante l'ebollizione (Cann & Baird 2006); in caso contrario la soluzione andrà ripreparata utilizzando 15 ml di permanganato anziché 10 ml poiché la sostanza organica del campione è presente in concentrazioni tali da richiedere, per essere ossidata, una quantità di permanganato superiore a 10 ml.

Successivamente all'ebollizione sono stati aggiunti 10 ml di $H_2C_2O_4$ (acido ossalico) 0.01N (15 ml nel caso siano stati utilizzati 15 ml di permanganato) rendendo così la soluzione incolore. Il campione è portato nuovamente ad ebollizione e titolato a caldo con permanganato di potassio 0.01N fino a che la gradazione cromatica del campione non acquisisce una lieve tonalità rosata.

La quantità in ml di acido ossalico utilizzato nella titolazione è stata poi inserita nella seguente formula, ottenendo l'ossidabilità del campione espressa in mg/L di ossigeno consumato:

$$\text{mg/L di ossigeno consumato} = 8 * (0,01/1000) * n * (1000/100) * 1000$$

dove:

8: peso equivalente dell'ossigeno;

0,01: normalità della soluzione di permanganato;

n: ml di acido ossalico utilizzati nella titolazione;

1000/100: coefficiente per rapportare i g/100 ml (volume del campione) al litro, ottenendo i mg/L;

1000: coefficiente moltiplicativo per trasformare i g in mg (senza tale coefficiente il risultato sarebbe espresso in grammi poiché questa è l'unità di misura utilizzata per il calcolo della normalità delle soluzioni di permanganato e di acido ossalico).

Semplificando la suddetta formula si ottiene la seguente:

$$\text{Ossidabilità (mg/L)} = 0,8 * n$$

E' stato determinato anche il COD, ovvero la domanda chimica di ossigeno, espressa in mg/l di ossigeno. Si tratta della quantità di bicromato necessaria per ossidare a CO₂ la sostanza organica, bollendo l'acqua a ricadere per due ore, in acido solforico. in questo modo si ossida la maggior parte delle sostanze organiche.

Il procedimento per la determinazione del COD è il seguente:

In un pallone da 250 ml si pongono 0.4 g di solfato mercurico più 20 ml di acqua in esame successivamente avere agitato si aggiungono 10 ml di bicromato di potassio 0.25 N e palline di vetro, 15 ml di acido solforico e circa

50 mg di solfato mercurico. Si lascia bollire per almeno 2 ore e si titola a caldo con una soluzione a titolo noto di un sale di Fe(II). L'indicatore utilizzato è la Ferroina.

Per la prova in bianco anziché utilizzare il campione in esame, si utilizza acqua distillata (APHA et al. 2005).

Sono necessarie almeno tre titolazioni per ogni campione per riuscire ad avere un valore più preciso; una volta effettuata la titolazione i dati ottenuti si inseriscono nella seguente formula:

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = (V1 - V2) \cdot M \cdot 32 \cdot 1000 / (4 \cdot V)$$

Dove:

M (mmol/L): molarità della soluzione titolante

V1 (ml): volume della soluzione titolante consumata per la prova in bianco

V2 (ml): volume della soluzione titolante consumata per il campione

32 (mg/mmol): massa molare dell'ossigeno

V (ml): volume prelevato del campione

1000 (ml/L): fattore di conversione da ml a L

4: fattore di conversione per trasformare le moli di Fe(II) utilizzate per determinare il bicromico consumato nell'ossidazione, in mmil di ossigeno.

I valori ottenuti sono stati molto simili o addirittura inferiori al valore ottenuto dalla prova in bianco.

Cloruri

In natura il cloro è presente solamente in forma combinata, i suoi utilizzi da parte dell'uomo possono portare al rilascio nell'ambiente, oltre che di cloro combinato, anche di cloro biatomico allo stato gassoso, che si può trovare nell'aria come tale o, in quanto estremamente reattivo, legato a composti organici (sostanze organoclorurate; esse possono essere inoltre rilasciate nell'aria come inquinanti primari) (Cann & Baird 2006). Gli organoclorurati possono essere dotati di elevata persistenza o, se dotati di scarsa persistenza, possono essere degradati a composti più tossici e/o persistenti; essi presentano un'elevata capacità di bioaccumulazione nei tessuti adiposi, al contrario del cloro minerale, che viene efficacemente eliminato dall'organismo.

Il cloro è tossico sia assunto per inalazione che per ingestione o contatto. L'inalazione di cloro gassoso è causa di irritazioni alle vie respiratorie ed edema polmonare. In ogni caso, il cloro può provocare problemi all'apparato circolatorio, irritazioni cutanee ed alle mucose, danneggiamento dei gameti e disturbi nello sviluppo del feto, disfunzioni del sistema endocrino, alterazioni del sistema immunitario (diossine e PCB causano immunodepressione, mentre altri composti del cloro possono condurre a ipersensibilità e conseguente insorgenza di allergie od allo sviluppo di malattie autoimmuni, ossia risposte del sistema immunitario rivolte contro componenti del proprio organismo), insorgenza di tumori (le diossine sono promotori di tumori, ed il cloruro di vinile, composto necessario per la produzione del PVC, può determinare lo sviluppo del cancro al fegato) (Cann & Baird 2006).

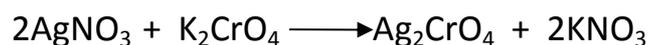
Il contenuto in cloruri (Cl⁻) nell'acqua viene determinato mediante titolazione argentometrica secondo il metodo di Mohr basato sull'impiego di cromato di potassio (K₂CrO₄) come indicatore. La reazione con AgNO₃ porta alla formazione di cromato d'argento (di colore rosso) (APHA et al. 2005).

100 ml di campione da analizzare in una beuta vengono addizionati di 4-5 gocce di indicatore cromato di potassio (K₂CrO₄), ottenendo una soluzione di colore giallo intenso, si titola con nitrato d'argento (AgNO₃) 0,01N. La reazione chimica su cui si basa la titolazione:



Il cloruro d'argento che si è formato ha un colore bianco lattiginoso e conferisce torbidità alla soluzione.

Quando tutti i cloruri del campione sono stati consumati dal nitrato d'argento, quest'ultimo reagisce con l'indicatore cromato di potassio secondo la reazione:



Il cromato d'argento ha un colore assimilabile a quello del pompelmo rosa.

La formula applicata per la quantificazione dei cloruri nel campione è la seguente:

$$\text{Cloruri(mg/L)} = [1/1000 (35,45 \times 0,01) \times n \times 1000/100] \times 1000$$

dove:

35,45: peso equivalente del cloro;

0,01: normalità dell' AgNO_3 ;

n: ml di nitrato d'argento utilizzato per la titolazione;

1000/100: coefficiente necessario per rapportare il risultato su 100 ml di soluzione al litro;

1000: coefficiente per trasformare i grammi del risultato in mg.

Semplificando la suddetta formula si ottiene:

$$\text{Cloruri (mg/L)} = 3,545 \times n$$

Ammoniaca

La principale fonte di ammoniaca atmosferica è rappresentata dai reflui zootecnici (98%). Essa è inoltre contenuta nelle vernici, è utilizzata come refrigerante, interviene nel processo di produzione dell'acido nitrico, delle fibre sintetiche e dei polimeri; è utilizzata come sbiancante nell'industria della carta e come solvente, nell'industria della gomma, in metallurgia, come detergente negli ambienti domestici; è contenuta nelle tinture per capelli e nelle sigarette. E' utilizzata come disinfettante nella produzione di alimenti derivati della carne (hamburger).

Gli effetti dell'assunzione di ammoniaca consistono in irritazioni alle vie respiratorie ed alle mucose, edema polmonare ed iperammoniemia, che provoca nausea ed interferenze nella funzionalità del sistema nervoso; queste si manifestano con una progressiva perdita della coordinazione muscolare

associata ad incontinenza, esecuzione di movimenti involontari, difficoltà di deglutizione, ridotta capacità sensoriale (compreso un minore senso dell'equilibrio), ritardo mentale e disorientamento (Cann & Baird 2006).

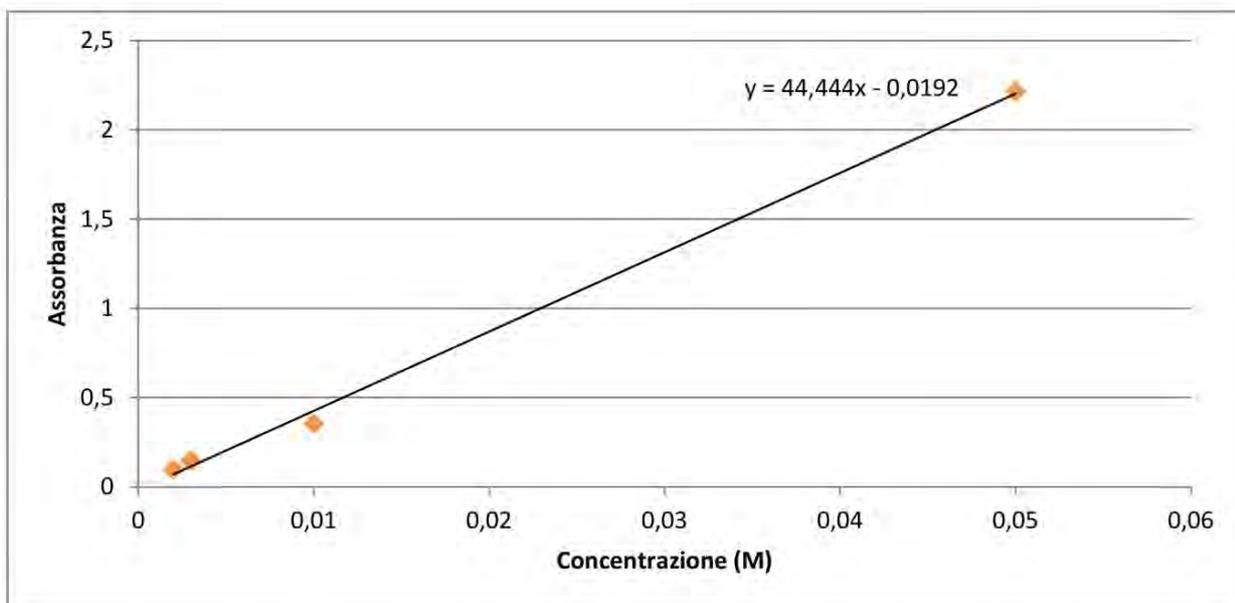
La determinazione dell'ammoniaca nell'acqua sfrutta la reazione di tipo colorimetrico che avviene tra l'ammoniaca stessa ed il reattivo di Nessler.

Si sono introdotti in un matraccio 50 ml di campione, al quale si è addizionato 0,5 ml di soluzione Fehling B (tartrato di sodio e potassio) e 2 ml di reattivo di Nessler; tappato il matraccio si agita la soluzione. Il tutto si fa reagire per 30 minuti (previa asportazione del tappo del matraccio per consentire l'eliminazione dei gas che si sviluppano durante la reazione, altrimenti l'effervescenza non consentirebbe un'adeguata lettura allo spettrofotometro) durante i quali si sviluppa una colorazione gialla la cui intensità è direttamente proporzionale al contenuto in ione ammonio della soluzione.

Passati i 30 minuti, è stata letta l'assorbanza della soluzione allo spettrofotometro alla lunghezza d'onda di 420 nm.

Lo stesso procedimento viene applicato ad un campione costituito da acqua distillata (bianco) che viene letto allo spettrofotometro prima di eseguire qualsiasi lettura (APHA et al. 2005), il cui valore di assorbanza viene posto pari a zero al fine di distinguere la colorazione del campione dovuta alla presenza di nitrati da quella dovuta al colore dei reagenti.

Per questa analisi è stato necessario preparare soluzioni standard (soluzioni a concentrazione nota di ammoniaca), per la costruzione della retta di taratura.



In tabella 1 sono riportati i valori di assorbanza medi, relativi alle prove condotte in duplicato, in relazione alla concentrazione degli standard. Da tali dati è stato possibile realizzare la retta di correlazione per la determinazione della concentrazione di ione ammonio presente nel campione in esame.

Concentrazione soluzioni standard di cloruro d'ammonio (M)	Assorbanza
0,002	0,0988
0,003	0,1455
0,01	0,3534
0,05	2,2143

Tabella 1: letture allo spettrofotometro della soluzione standard.

Le letture allo spettrofotometro dei campioni analizzati sono state (Tab. 2):

Campioni	Assorbanza
Ghiaccio settembre 2014	0,0988
Neve settembre 2014	0,1455
Neve marzo 2015	0,3534

Tabella 2: letture allo spettrofotometro dei campioni in esame.

Interpolando poi i dati ottenuti si risale alla concentrazione di ammoniaca nei campioni.

Nitriti

Nitriti e nitrati derivano dall'ossidazione dell'ammoniaca in atmosfera o una volta che essa è giunta al suolo in seguito alle precipitazioni (Cann & Baird 2006). Lo ione nitrato deriva, inoltre, dalla combinazione fra gli NO_x (prodotti durante le combustioni, soprattutto se ad alte temperature, in occasione delle quali l'azoto molecolare atmosferico N₂ o l'azoto contenuto nei combustibili solidi quali il carbone brucia insieme al combustibile stesso; le principali fonti sono il trasporto su strada e le combustioni a livello industriale) e l'umidità atmosferica (acido nitrico). Mentre i nitriti sono caratterizzati da tossicità intrinseca, i nitrati devono la loro pericolosità alla loro suscettibilità di trasformazione in nitriti all'interno dell'organismo (Cann & Baird 2006). Essi, infatti, nell'ambiente riducente della saliva si trasformano in nitriti che, una volta passati nel circolo sanguigno, si legano all'emoglobina formando

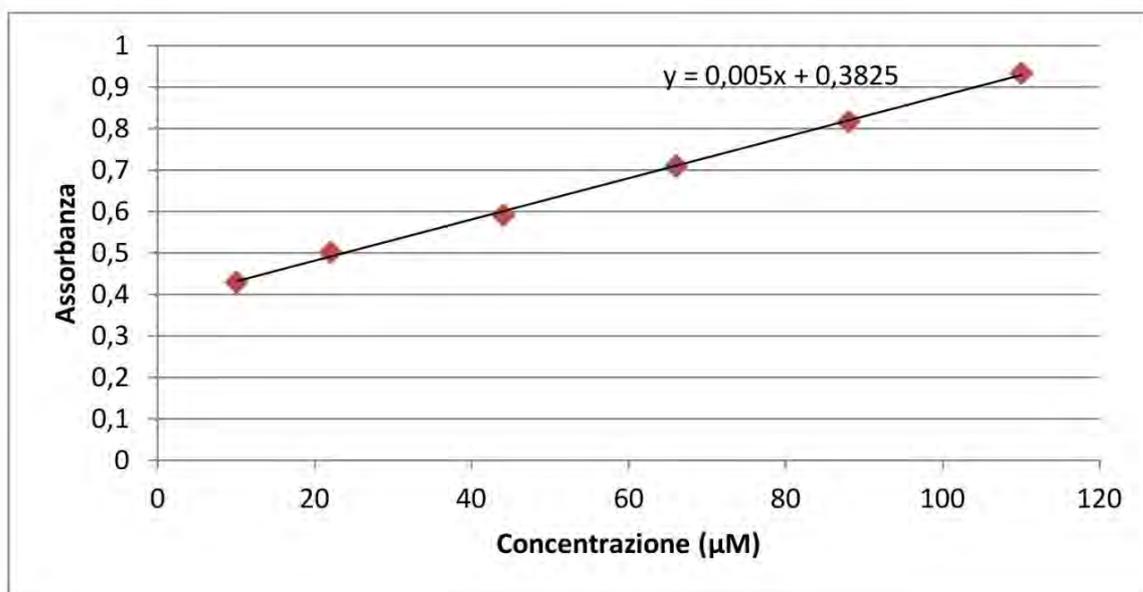
metaemoglobina non in grado di trasportare ossigeno. Dato che l'enzima necessario a ripristinare l'emoglobina funzionale viene prodotto a partire dai tre mesi di vita, la situazione sopra descritta comporta un pericolo di gran lunga maggiore nei neonati, che possono andare incontro a cianosi. Ciò non significa che i nitriti non siano pericolosi anche per gli adulti: nell'ambiente acido dello stomaco essi reagiscono infatti con le ammine originando nitrosammine, composti cancerogeni.

Per la determinazione dei nitriti si sfrutta una reazione di tipo colorimetrico, questa volta tra lo ione nitroso ed il reattivo di Griess.

Si introducono in un matraccio 50 ml di campione, 3-4 gocce di acido acetico (CH_3COOH) e 3 ml di reattivo di Griess; tappato il matraccio, si agita, si toglie il tappo e si lascia reagire per 30-40 minuti durante i quali si sviluppa una colorazione rossa la cui intensità è direttamente proporzionale alla concentrazione di nitriti nella soluzione; essa viene letta allo spettrofotometro alla lunghezza d'onda di 520 nm (APHA et al. 2005).

Analogamente a quanto visto per lo ione ammonio, sono state eseguite la taratura dello strumento con il bianco e la costruzione della curva di taratura mediante la lettura di soluzioni standard di nitrito di sodio.

La concentrazione di nitriti nel campione viene espressa in mg/L.



In tabella 3 sono stati inserite le letture allo spettrofotometro degli standard utilizzati per la prova in bianco. Da tali risultati è stato possibile realizzare la retta di correlazione per la determinazione della concentrazione di ione nitrito presente nel campione in esame.

Concentrazione soluzioni standard di nitrito di sodio (μM)	Assorbanza
10	0,43
22	0,5024
44	0,5923
66	0,7102
88	0,8173
110	0,9342

Tabella 3: valori di lettura allo spettrofotometro della soluzione standard.

Le letture allo spettrofotometro dei campioni analizzati sono state:

Campioni	Assorbanza
Ghiaccio (0-30 cm) settembre 2014	0,0072
Neve settembre 2014	0,0448
Neve marzo 2015	0,0652

Tabella 4: valori di lettura allo spettrofotometro dei campioni in esame.

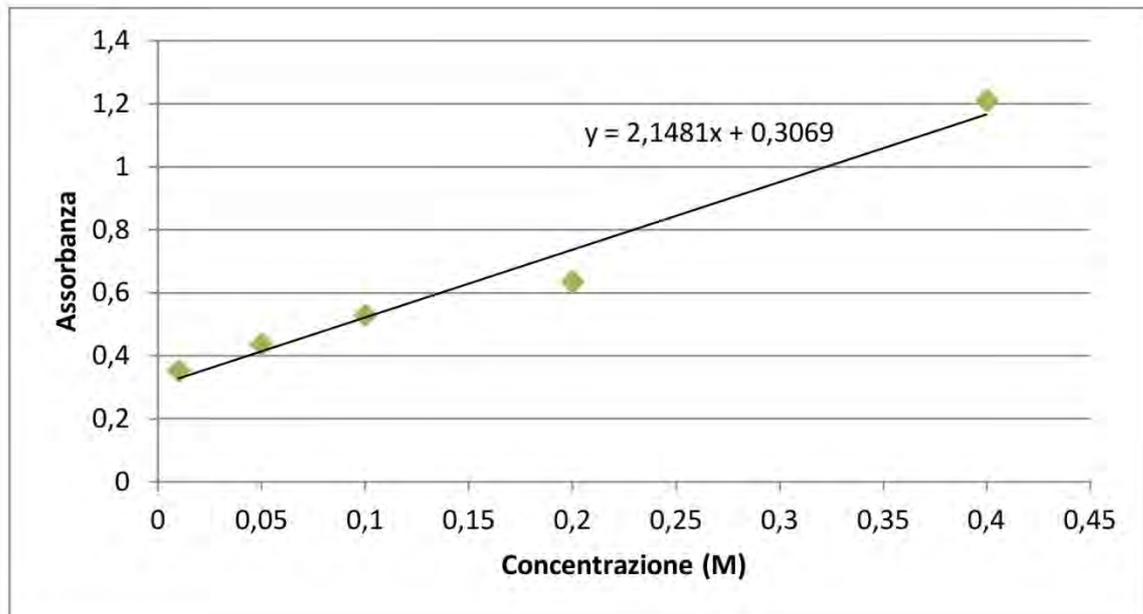
Interpolando poi i dati ottenuti si risale alla concentrazione di nitriti nei campioni. I campioni risultano non compresi nella retta di taratura e quindi vuol dire che sono presenti $<0,05$ mg/L di nitriti, rientrando quindi nei limiti di legge.

Nitrati

Per la determinazione della concentrazione di nitrati nell'acqua è stata sfruttata la reazione colorimetrica tra il Fehling B ed i nitrati stessi.

In un piccolo becker sono stati inseriti 5 ml di campione ed 1 ml di salicilato di sodio allo 0,5%, è stato fatto evaporare il tutto su piastra fino alla completa eliminazione dei liquidi ed alla formazione di un residuo biancastro (Cann & Baird 2006). La temperatura del campione così preparato è scesa fino ad eguagliare la temperatura ambientale, è stato sciolto il residuo con 1 ml di acido solforico concentrato (la reazione è esotermica e produce calore). Sono stati aggiunti 20 ml di soluzione Fehling B il quale, reagendo col residuo, ha sviluppato una colorazione gialla tanto più intensa quanto più alta è la quantità

di nitrati presente, che andrà letta allo spettrofotometro a 450nm, previa taratura dello strumento con il bianco e lettura degli standard. Per la preparazione della soluzione standard è stato utilizzato il nitrato di sodio.



La costruzione di tale retta è stata possibile grazie alle letture effettuate allo spettrofotometro, che sono riportate nella tabella seguente (Tab. 5).

Concentrazione soluzioni standard di nitrato di sodio (M)	Assorbanza
0,01	0,3532
0,05	0,4374
0,1	0,5297
0,2	0,6360
0,4	1,2110

Tabella 5: valori di lettura allo spettrofotometro della soluzione standard.

Le letture allo spettrofotometro dei campioni analizzati sono state (Tab. 6):

Campioni	Assorbanza
Ghiaccio (0-30 cm) settembre 2014	0,0262
Neve settembre 2014	0,0418
Neve marzo 2015	0,3097

Tabella 6: valori di lettura allo spettrofotometro dei campioni in esame.

Interpolando poi i dati ottenuti si risale alla concentrazione di nitriti nei campioni. Anche in questo caso, come per i nitriti, i campioni risultano non compresi nella retta di taratura e quindi vuol dire che sono presenti <0,05 mg/L di nitrati, rientrando quindi nei limiti di legge.

Metalli pesanti

Per metalli pesanti s'intendono tutti quei metalli che presentano una densità superiore ai 5 g/cm³, anche se nella categoria vengono inclusi anche metalli più leggeri e non metalli come il selenio, il boro e l'arsenico in quanto assimilabili ai metalli pesanti propriamente detti per via della loro origine e del loro meccanismo d'azione negli organismi (Cann & Baird 2006). Alcuni di essi risultano tossici a qualunque concentrazione, mentre altri sono fondamentali all'assolvimento delle funzioni vitali dell'organismo ma diventano tossici quando superano determinate concentrazioni. Tali elementi sono naturalmente presenti nell'ambiente in quantità innocue per la biocenosi; essi

sono diventati un problema nel momento in cui l'uomo ha iniziato ad estrarre gli stessi da giacimenti minerali ed a creare concentrazioni di metalli funzionali ai propri scopi, causando un aumento dei metalli pesanti nell'ambiente per via della produzione di rifiuti e di emissioni gassose contaminati (Cann & Baird 2006). La loro pericolosità rispetto ad altre sostanze tossiche deriva dal fatto che non possono essere degradati a forme non tossiche, quindi non possono essere eliminati dagli ecosistemi, ma solamente immobilizzati mediante la trasformazione in sostanze insolubili, quindi biologicamente non disponibili. Per quanto appena detto, essi tendono ad accumularsi nell'ambiente e, per via della scarsa velocità di smaltimento negli organismi, presentano capacità di bioconcentrazione (accumulo del metallo all'interno dell'organismo, il quale presenta quindi una concentrazione del metallo stesso superiore a quella presente nell'ambiente circostante), mentre sono poco soggetti a biomagnificazione (accumulo del metallo ed aumento della sua concentrazione lungo le catene alimentari; ne è passibile, ad esempio, il mercurio).

La loro tossicità è dovuta alla forma cationica, soprattutto quando legati a brevi catene carboniose. Tali cationi, avendo un'elevata affinità nei confronti dello zolfo, si legano ai gruppi sulfidrilici enzimatici -SH compromettendo la funzionalità dell'intera molecola enzimatica; ne derivano danni fisiologici che possono portare anche alla morte (Cann & Baird 2006). I trattamenti farmacologici utilizzati nei casi di intossicazione da metalli pesanti prevedono la somministrazione di composti (ad esempio EDTA) che presentano un'affinità nei confronti del metallo superiore a quella dei gruppi -SH; ne consegue che il metallo si lega al farmaco formando un composto che viene solubilizzato ed eliminato dall'organismo (Zenk 1996).

Metalli come l'arsenico, cadmio, cromo, mercurio e piombo sono traslocati e accumulati nella pianta nonostante il loro potenziale effetto tossico che tuttavia non si manifesta sulla pianta stessa ma sugli esseri animali che si nutrono di essa.

I metalli più pericolosi per la vita sono :

Cadmio (Cd): è un elemento estremamente tossico, determina alterazioni cardiovascolari, iperattività nervosa, deficit immunologici e renali. Un'importante fonte di esposizione al cadmio è il fumo di sigaretta (Zenk 1996).

Mercurio (Hg): proviene dalla contaminazione del suolo e delle acque attraverso la catena alimentare, si ritrovano grandi quantità nei pesci, soprattutto quelli di grossa taglia (tonni). Il mercurio è particolarmente lesivo a livello cerebrale e il suo sovraccarico è stato messo in relazione con disturbi psico-emozionali, convulsioni, insonnia, schizofrenia (malattia di Minamata).

Piombo (Pb): è assorbito molto per via respiratoria e attraverso prodotti ortofrutticoli coltivati in zone inquinate o con pesticidi contenenti piombo (quindi spesso anche nel tabacco). Si accumula in numerosi organi e nelle ossa, dove rimane "isolato".

Antimonio (Sb): può essere contenuto nei cibi, nel fumo, nella polvere da sparo e nei tessuti ignifughi (Zenk 1996). Può provocare debolezza muscolare, astenia, sapore metallico in bocca. A contatto con la pelle può causare irritazione.

Cromo (Cr): è un metallo molto usato nelle galvaniche e nella concia delle pelli può causare danni ai reni, al fegato, problemi respiratori e cancro polmonare.

Arsenico (As): può essere di origine naturale, ma industrialmente può derivare dal legno trattato con arsenocromato di rame (legno CCA) molto diffuso nelle costruzioni della prima metà del '900; la sua funzione era quella di proteggere il legno da costruzione dagli insetti e dalle carie del legno (Zenk 1996). L'arsenico è poi oggi presente in fitofarmaci ed insetticidi, nei led, nei pannelli fotovoltaici e nei circuiti integrati; è inoltre utilizzato per la realizzazione di fuochi d'artificio e viene liberato nell'aria durante la combustione dei combustibili fossili (Zenk 1996).

Tutti i composti contenenti arsenico sono estremamente tossici e possono causare morte o l'insorgente di tumori nel sistema digestivo.

Misura dei metalli pesanti

La misura dei metalli pesanti all'interno dell'acqua derivante dalla fusione del ghiaccio e della neve è stata effettuata tramite il metodo ICP-MS che permette una determinazione più precisa dei metalli pesanti.

La spettrometria di massa a plasma accoppiato induttivamente, indicata con ICP-MS dall'inglese *inductively coupled plasma mass spectrometry*, è una tecnica analitica basata sull'utilizzo della spettrometria di massa abbinata al plasma accoppiato induttivamente. È una tecnica molto sensibile e in grado di determinare diverse sostanze inorganiche metalliche e non metalliche presenti in concentrazioni anche di circa una parte per bilione (ppb). Sfrutta l'utilizzo di

una torcia al plasma ICP per produrre la ionizzazione e di uno spettrometro di massa per la separazione e rivelazione degli ioni prodotti. Con la ICP-MS è anche possibile effettuare l'analisi isotopica (APHA et al. 2005).

Per la determinazione degli analiti nell'acqua è necessario prelevare i campioni interessati e inserirli in un matraccio da 100 ml successivamente si acidifica il campione con acido nitrico o solforico 5 ml al 36% di modo da eliminare la sostanza organica residua e permettere una lettura più efficace.

Successivamente a queste operazioni si rende necessaria una filtrazione per evitare che residui solidi possano finire all'interno dello strumento rovinandolo. A questo punto è possibile effettuare la lettura allo strumento che è in grado di fornirci risultati dei metalli pesanti in ppm.

2.2.2 Analisi di contaminanti su campioni vegetali

Come accennato precedentemente, sono stati raccolti dei campioni di materiale vegetale di *Poa iaxa* (famiglia Poaceae) presenti sul versante Sud-Est del monte Adamello (Alpi et al. 2000) in prossimità del ghiacciaio, al fine di determinare mediante analisi appropriate l'eventuale presenza di un fenomeno di bioconcentrazione a carico degli inquinanti presenti nel ghiaccio, nell'aria e nelle precipitazioni (Cann & Baird 2006). Tale fase della ricerca si è concentrata sui metalli pesanti, che secondo la bibliografia presenterebbero una grande capacità di bioconcentrazione (fenomeno precedentemente spiegato) (Alpi et al. 2000).

I principali metalli pesanti che determinano tossicità in relazione alla loro presenza o alla loro concentrazione negli esseri viventi sono gli stessi che sono stati ricercati nelle analisi (Gerola et al. 1995).

Per l'esecuzione delle analisi sul campione vegetale per la ricerca dei metalli pesanti è stato necessario provvedere all'essiccazione del campione in termostato a 60-70°C per una settimana poiché le analisi sono state eseguite sulla sostanza secca. Dal calo ponderale a seguito del trattamento termico è possibile calcolare il contenuto di acqua percentuale.

La determinazione della concentrazione di metalli pesanti all'interno dei campioni in esame viene effettuata tramite tecnica ICP-MS, che comprende una fase di preparazione del campione e di lettura dei risultati allo strumento.

I campioni sono inseriti in appositi tubi di teflon dotati di apposito dispositivo per il controllo della pressione, addizionati con 10 ml di acido nitrico al 65% e riposti nel mineralizzatore (Cann & Baird 2006).

Questo sistema permette di aumentare la temperatura in maniera lineare fino a 210°C in un unità di tempo di 10 minuti e di mantenerla per altri 10 minuti.

Contemporaneamente viene preparato anche il bianco con lo stesso procedimento dei campioni precedentemente descritti; esso serve per accertarsi che i reagenti utilizzati non introducano metalli contaminanti il campione (APHA et al. 2005).

Trascorsi 20 minuti di raffreddamento i campioni mineralizzati vengono estratti dai tubi di teflon e inseriti in apposite provette (falcon) tramite le quali si annota anche il volume del campione.

Successivamente le provette vengono centrifugate a 3214 g per 5' e il risultato contenuto viene filtrato tramite un filtro da 0.45 um e inserito in altre provette.

Al fine di ottenere una soluzione intorno alla neutralità vengono prelevati 250 ml di soluzione da una falcon e vengono diluiti con 10 ml di una soluzione acquosa milli-Q fino a raggiungere una diluizione di 1:40.

Infine le soluzioni vengono lette allo strumento che fornisce le concentrazioni dei metalli ricercati.

2.3 LIMITI DI LEGGE

L'interpretazione dei dati riguardanti le sostanze chimiche nel ghiaccio e nelle precipitazioni in Adamello è consistita nel confronto dei parametri analitici di tutti i campioni raccolti con i limiti di legge del D.Lgs 2/2/2001 n. 31 riguardanti l'acqua potabile (al fine di verificare la potabilità dell'acqua di fusione del ghiacciaio) e con i limiti di legge riportati nel Testo Unico Ambientale 152/2006 s.m.i. riguardanti la qualità delle acque superficiali. Sono riportati nelle tabelle successive.

	Limiti D.Lgs 2/2/2001 n.31: acque potabili	Limiti TU 152/2006: qualità delle acque superficiali
pH a 20°C	6.5 - 9.5	-
Ossidabilità (mg/L)	≤5	-
Cloruri (mg/L)	≤250	-
Ammoniaca (mg/L)	≤0,5	-
Nitriti (mg/L)	≤0,5	-
Nitrati (mg/L)	≤50	-
Fosforo (mg/L)	-	-
Sodio (mg/L)	≤200	-
Ferro (mg/L)	≤0,2	-
Zinco (mg/L)	-	-
Rame (mg/L)	≤1	-
Manganese (mg/L)	≤0,05	-
Nichel (mg/L)	≤0,02	≤0,02
Piombo (mg/L)	≤0,01	≤0,01
Cadmio (mg/L)	≤0,005	≤0,001
Cromo (mg/L)	≤0,05	-

3. RISULTATI

Nelle tabelle di seguito riportate sono elencati i risultati ottenuti dalle analisi chimiche svolte sui campioni del 2014. Vengono inoltre trascritti i risultati delle analisi svolte nel passato studio (2011).

3.1 RISULTATI ANALISI DI GHIACCIO E NEVE

Ogni misurazione è stata ripetuta almeno 3 volte, i dati riportati si riferiscono a valori medi.

Tabella 8: risultati relativi ai campionamenti del 2014/2015.

	Neve (23-09-2014)	Ghiaccio (0-30 cm) (23-09-2014)	Neve (05-03-2015)
Ossidabilità (Kubel) mg/L	3.28	5.76	3.24
Cloruri mg/L	10.24	8.27	20.04
Ammoniaca mg/L	0.009	0.014	0.021
Nitriti mg/L	assenti	assenti	assenti
Nitrati mg/L	assente	assente	assente
pH	6.9	6.7	6.3

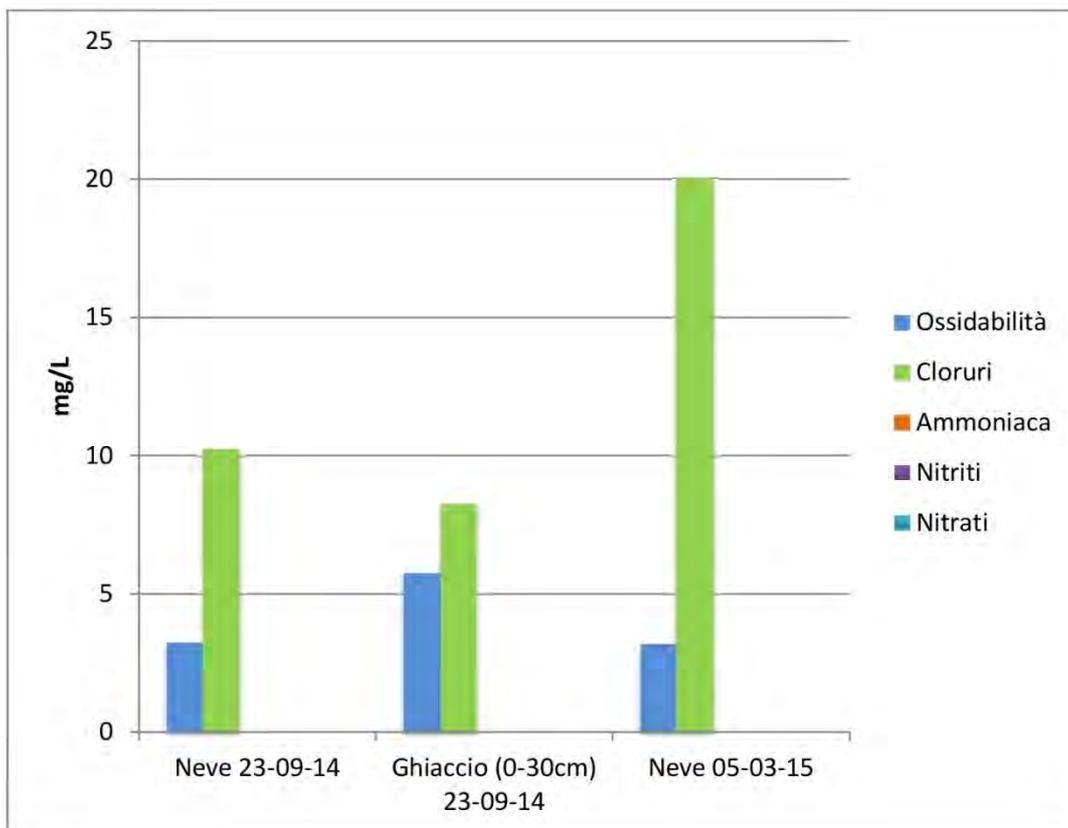


Grafico 1: rappresentazione dei dati ottenuti nei campionamenti del 2014/2015

Dal grafico riportato appare evidente una maggiore concentrazione di cloruri nella neve di marzo, inoltre è possibile osservare una differenza notevole tra i cloruri presenti nel campionamento del 2014 e quelli presenti in quello del 2011 di seguito riportato.

Possiamo quindi affermare che il quantitativo di cloruri è molto variabile in relazione alla natura delle precipitazioni.

Tabella 9: risultati relativi al campionamento del 04-10-2011.

	Neve	Ghiaccio (0-30 cm)	Ghiaccio (30-60 cm)
Ossidabilità (Kubel) mg/L	2.24	1.04	3.44
Cloruri mg/L	1.5	1.2	1.4
Ammoniaca mg/L	assente	0.068	0.57
Nitriti mg/L	assente	assente	0.03
Nitrati mg/L	assente	assente	assente
pH	7.04	6.97	6.88

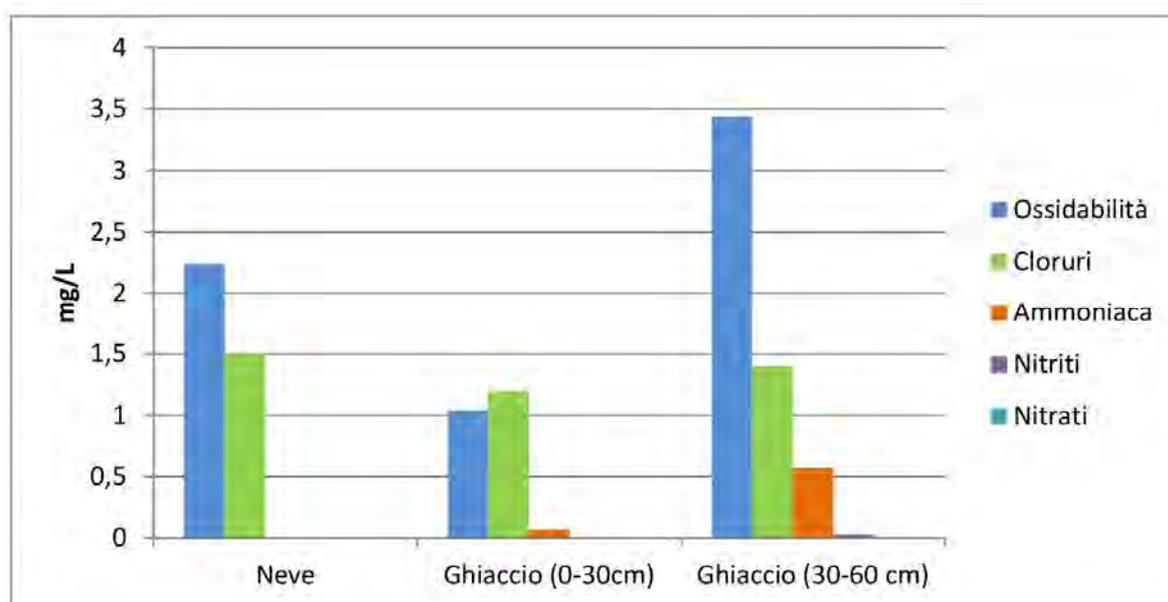


Grafico 2: rappresentazione dei dati ottenuti nei campionamenti del 2011.

Dai grafici realizzati è possibile vedere la differenza di quantità degli inquinanti analizzati. A differenza dei risultati ottenuti nei campioni del 2014/15 si nota, per il campione di ghiaccio a maggiore profondità, una concentrazione più elevata dell'ammoniaca e dell'ossidabilità, sempre rientrando però nei limiti di legge. L'ossidabilità è un parametro specifico che definisce il carattere

riducente di un corpo idrico ed è una proprietà legata alla presenza di composti organici o sostanze ossidabili.

Nel grafico successivo (Grafico 3) sono inseriti i risultati ottenuti dall'analisi del pH della neve e del ghiaccio (0-30 cm) a confronto nel 2011 e nel 2014.

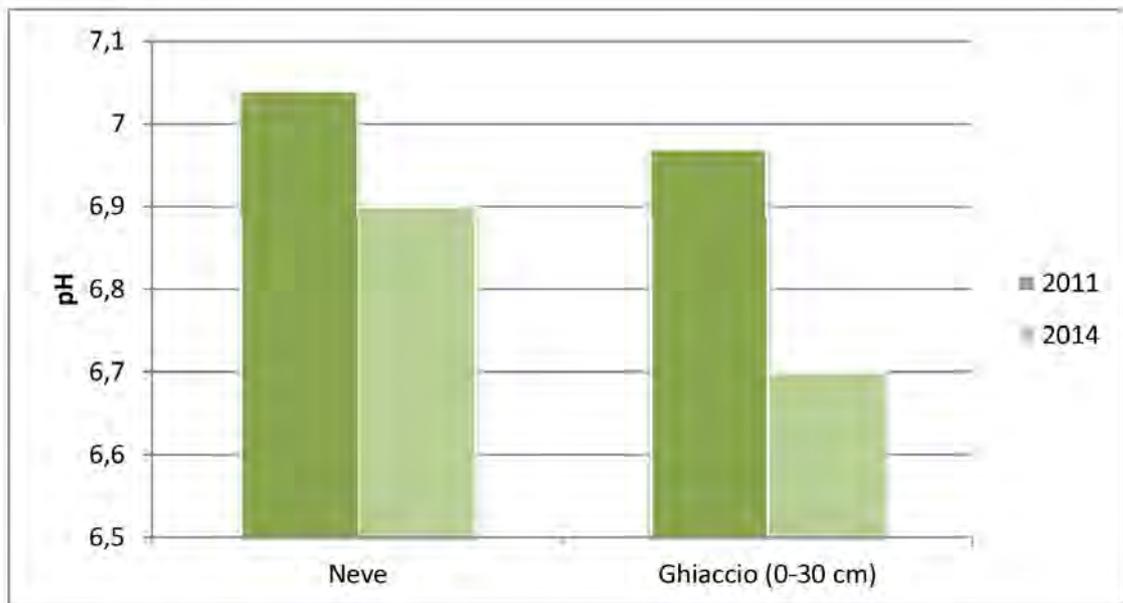


Grafico 3: rappresentazione grafica dei valori di pH ottenuti a confronto nel 2011 e nel 2014.

I valori di pH si sono rivelati invece molto simili nei campioni di neve prelevati nel 2014 e nel 2011, mentre i valori ottenuti per il ghiaccio si discostano maggiormente, rispettando comunque i limiti di legge.

Nella tabella successiva sono inseriti i risultati, espressi in $\mu\text{g/L}$, delle analisi all'assorbimento atomico riguardanti metalli pesanti e non metalli.

	H₂O distillata	Neve (23-09-2014)	Ghiaccio 0-30 cm (23-09-2014)	Neve (05-03-2015)
Na	137.62	1569.68	5424.83	89.01
Mg	89.55	77.67	211.84	95.04
Al	41.29	10.97	21.70	23.45
K	62.75	182.49	528.41	50.62
Ca	298.78	231.50	635.62	820.97
Cr	0.22	0.70	6.88	1.84
Mn	0.24	0.98	4.85	3.05
Fe	4.69	8.86	28.74	17.90
Co	assente	assente	0.15	assente
Ni	0.45	0.64	1.44	0.40
Cu	209.16	189.09	189.29	207.60
Zn	12.99	10.30	15.72	14.34
As	assente	assente	assente	assente
Se	assente	assente	assente	assente
Sr	1.28	1.98	6.00	1.88
Mo	assente	assente	assente	assente
Cd	assente	assente	assente	assente
Ti	assente	assente	assente	assente
Pb	0.28	0.23	0.68	0.15
P	assente	assente	assente	assente

Tabella 10: concentrazioni degli analiti ricercati.

I risultati ottenuti sono stati presentati in forma grafica in modo tale da rendere più evidenti le differenze di concentrazioni degli analiti.

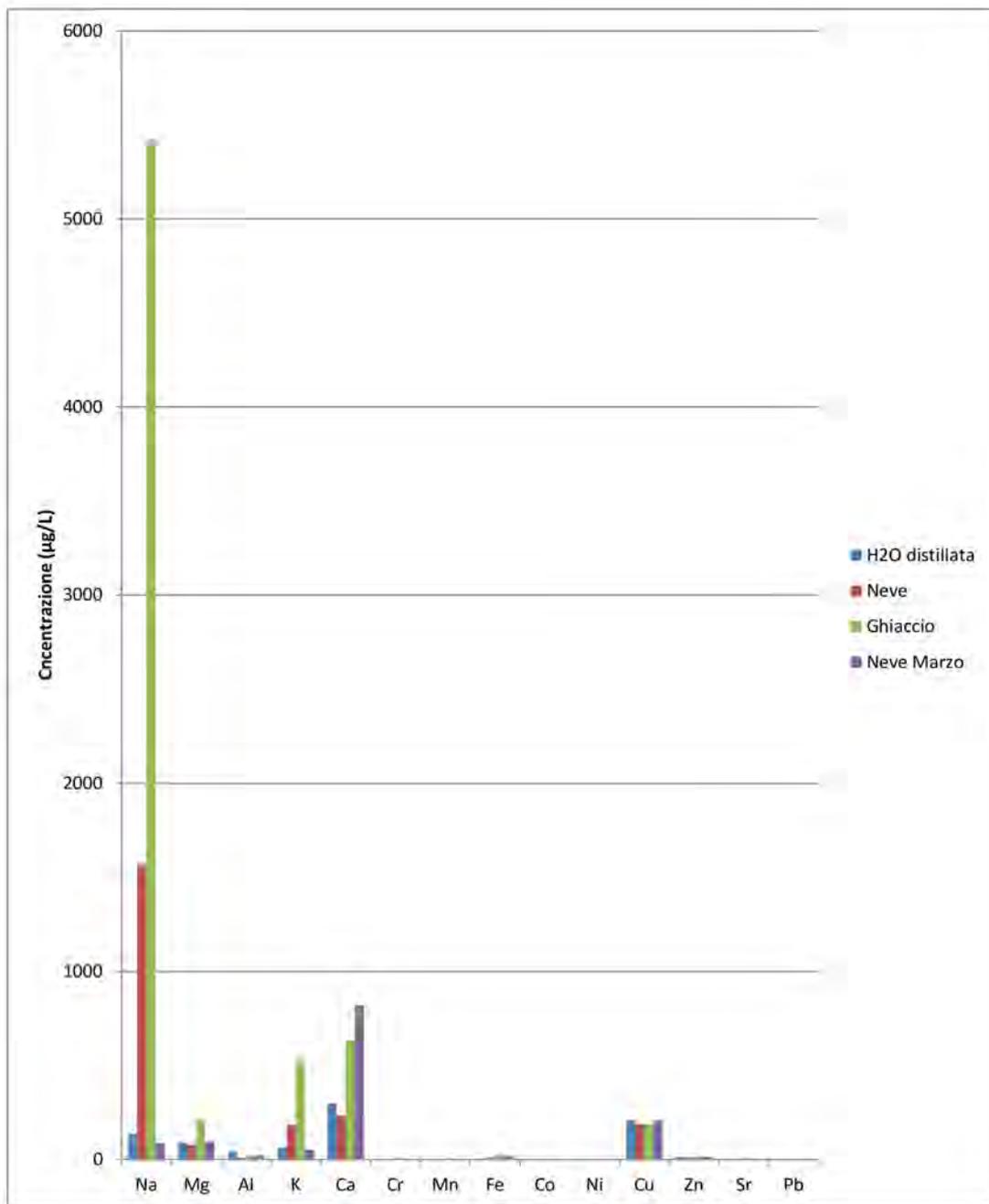


Grafico 4: concentrazioni degli analiti a confronto.

Osservando il grafico è possibile osservare una relazione tra il contenuto di analiti e la loro collocazione, infatti è stato riscontrato un fenomeno di accumulo di suddetti analiti nel campione di ghiaccio. E' evidente inoltre che la concentrazione di sodio nel ghiaccio ha un valore molto elevato rispetto alle concentrazioni trovate negli altri campioni.

3.2 RISULTATI ANALISI CAMPIONE VEGETALE

Nella tabella 11 è possibile confrontare le differenze tra i metalli rilevati nel 2011 nel primo sito di campionamento e i metalli riportati nel 2014 nel secondo sito.

metalli pesanti	<i>Concentrazione 2011 (ppm)</i>	<i>Concentrazione 2014 (ppm)</i>
ferro	334	134
zinco	21	71
rame	8	2.4
manganese	168	54.9
nichel	assente	<0.5
piombo	4	<0.5
cadmio	assente	<0.5
cromo totale	assente	1.3
cobalto	assente	<0.5

Tabella 11: concentrazione in ppm dei metalli pesanti ricercati nel campione vegetale.

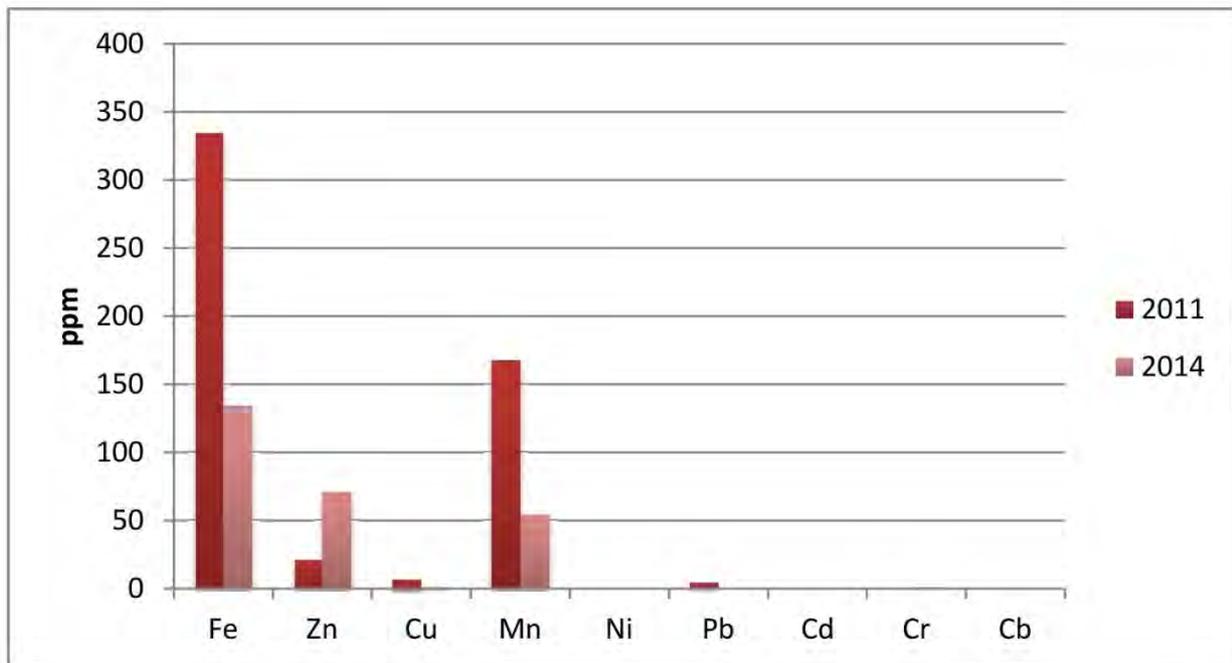


Grafico 5: confronto della concentrazione dei metalli pesanti trovati nel 2011 e nel 2014.

Dal confronto tra le concentrazioni dei nove metalli tra il 2011 e 2014 si può notare che non vi sono particolari relazioni, infatti i due campioni sono stati prelevati in luoghi geograficamente vicini ma diversi in quanto appartenenti a versanti differenti.

Possiamo affermare quindi che il fenomeno della bioconcentrazione è strettamente legato al sito nel quale le essenze vegetali si sviluppano.

Nei successivi diagrammi a torta sono inseriti i valori dei metalli pesanti in percentuale. In questo modo sono più visibili le differenze tra i risultati del primo campionamento (2011) e del secondo (2014).

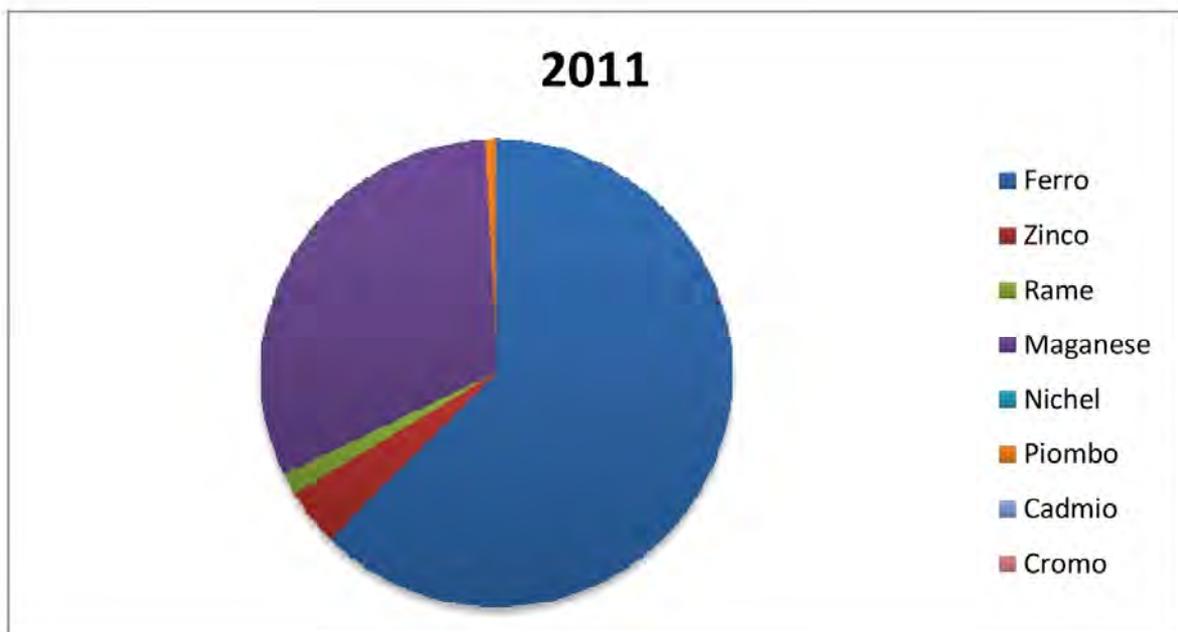


Grafico 6: percentuale dei vari metalli presenti nel campione vegetale del 2011.

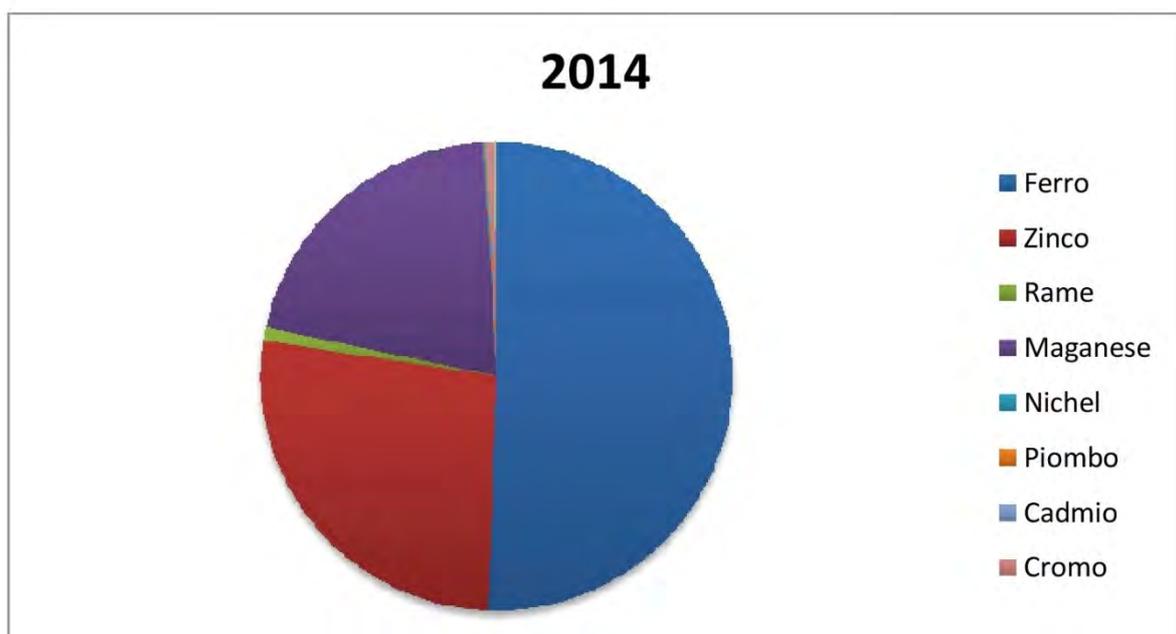


Grafico 7: percentuale dei vari metalli presenti nel campione vegetale del 2014.

4. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

Per affermare con certezza quali siano le origini degli analiti dei quali la ricerca in questione ha affermato la presenza in Adamello (Meridiani montagne, Maggio 2005), sarebbero necessarie ulteriori e più approfondite ricerche distribuite su una scala spazio-temporale più vasta. E' tuttavia possibile, con l'ausilio della bibliografia, formulare delle ipotesi su come le sostanze riscontrate nel ghiaccio e nelle precipitazioni abbiano potuto raggiungere l'ambiente glaciale. Per quanto riguarda le sostanze chimiche presenti sia nel ghiaccio che nelle precipitazioni, essendo il primo un prodotto del compattamento delle seconde, è lecito ritenere che siano state apportate dalle precipitazioni stesse.

E' stato riscontrato in altri studi che la neve è capace di trattenere al suo interno specie chimiche diverse sia durante la sua formazione sia durante la caduta a terra, è quindi possibile affermare che la neve rivesta un'importanza fondamentale nella sottrazione di suddette specie chimiche all'atmosfera.

E' più complicato invece stabilire l'origine degli inquinanti presenti nel ghiaccio ma non nelle precipitazioni.

Non è tuttavia possibile stabilire con certezza che detti inquinanti non provengano anch'essi dalle precipitazioni infatti è possibile che tali analiti possano aver subito modificazioni durante la fase di compattamento che determina la formazione del ghiaccio. Inoltre bisogna tenere conto che la composizione delle precipitazioni può variare nel tempo determinando un accumulo di specie chimiche differenti.

Dai risultati esposti nelle tabelle precedenti è possibile individuare una dinamica di accumulo delle specie chimiche all'interno del ghiacciaio, inquinanti e non.

Questo meccanismo è particolarmente evidente nei metalli pesanti e nei non metalli le cui concentrazioni lette allo spettrofotometro sono sempre superiori nel ghiaccio rispetto a quelle della neve.

E' possibile affermare che il ghiaccio essendo derivante dal compattamento delle neve possa determinare un fenomeno di concentrazione sulle specie chimiche presenti in essa.

Dalle tabelle relative ai metalli pesanti individuati nel campione vegetale è possibile affermare che i metalli pesanti apportati al ghiacciaio dalle precipitazioni possono andare incontro a bioconcentrazione anche se questo è strettamente correlato alla zona dove le essenze vegetali sono situate e dalle specie che possono influenzarne l'assorbimento.

Anche se il fenomeno della bioconcentrazione per quanto riguarda alcuni metalli è fisiologico e necessario per la vita del vegetale, esso può causare fenomeni di tossicità in altri esseri viventi che si nutrono del vegetale portando i metalli pesanti all'interno della catena alimentare.

Di seguito vengono formulate delle ipotesi riguardo l'origine di alcuni degli analiti ricercati, sia nel caso in cui essi siano apportati dalle precipitazioni, sia nel caso in cui non siano apportati dalle precipitazioni e quindi siano presenti solo nel ghiaccio.

La sostanza organica potrebbe essere presente nelle precipitazioni in seguito alla condensazione dei composti organici volatili dovuta alle basse temperature

che spesso si riscontrano ad alta quota, all'adsorbimento di sostanza organica (quali gli IPA od altri composti organici volatili condensati) sulla superficie del particolato adsorbito nelle precipitazioni od all'adsorbimento di sostanze organiche sospese (quali pollini) nelle stesse. Altri apporti di sostanza organica, diversi da quelli dovuti alle precipitazioni, potrebbero essere dovuti alle deposizioni secche di particolato contenente sostanza organica, adsorbita o come sostanza organica sospesa. In ogni caso, la microbiocenosi del ghiaccio rientra nella determinazione della concentrazione di sostanza organica nello stesso. La lunga permanenza della sostanza organica nel ghiaccio (provata dalla presenza di sostanza organica nello strato da 30cm a 60cm e successivamente rilevata nello strato da 0cm a 30cm) è assicurata dalle basse temperature, che ne rallentano la degradazione.

Recenti studi hanno evidenziato il comportamento della sostanza organica all'interno del ghiacciaio che essendo un ambiente ostile allo sviluppo dei microorganismi conserva per lunghi periodi di tempo la sostanza organica accumulata.

E' tuttavia di fondamentale importanza la distinzione tra la quota di sostanza organica fisiologica che perviene al ghiacciaio e che non può essere considerata inquinante e la quota di origine antropica e di conseguenza ritenuta inquinante che può contenere al suo interno idrocarburi di diversa natura e numerosi metalli pesanti.

Spesso questa tipologia di sostanza, capace di pervenire al ghiacciaio tramite precipitazioni, è generalmente imputabile ai processi di combustione antropici.

Analogo comportamento potrebbero avere i metalli pesanti adsorbiti sul particolato; essi possono inoltre essere presenti nell'aria sottoforma di gas, non è quindi da escludersi un'eventuale solubilizzazione nell'umidità atmosferica.

Gli ioni azotati potrebbero essere presenti nelle precipitazioni in seguito alla solubilizzazione dell'ammoniaca atmosferica nell'umidità dell'aria ed alla successiva ossidazione a ione nitrito ed a ione nitrato, ossidazione che può avvenire una volta che l'ammoniaca è arrivata al suolo oppure quando essa è ancora in atmosfera.

Alcuni sali presenti nel ghiaccio potrebbero essere dovuti all'erosione glaciale, che comporta l'inglobamento nella massa di ghiaccio di materiale minerale, così come alcuni elementi ricercati: la granodiorite (la roccia di cui è costituito il massiccio dell'Adamello) contiene infatti sodio, calcio, magnesio e ferro. Essa contiene inoltre ammoniaca, contribuendo quindi al contenuto in ione ammonio del ghiaccio.

Per quanto riguarda i numerosi metalli pesanti rilevati è possibile imputare la loro presenza alle correnti ascensionali che possono favorire il trasporto del particolato (PM10) dalle valli antropizzate verso l'arco alpino e all'effetto delle precipitazioni che possono intercettare il particolato e farlo pervenire al Pian Di Neve causando i fenomeni precedentemente esposti di accumulo.

E' necessario precisare che i prelievi effettuati nel 2014 sono stati effettuati su ghiaccio neoformato ed è concesso collocare la sua formazione nel corso dell'anno 2014 essendo stato esso un anno particolarmente favorevole per i ghiacciai.

E' lecito supporre quindi che gli inquinanti riscontrati si siano accumulati nell'arco di un anno e di conseguenza è possibile supporre che l'inquinamento glaciale è un fenomeno in continua evoluzione e che esso sia strettamente legato alle precipitazioni e alla loro composizione. Dai risultati ottenuti dallo svolgimento delle analisi è possibile affermare che, nonostante il Pian di Neve sia un luogo remoto e teoricamente protetto dall'azione dell'uomo, è anch'esso soggetto a tutti quei fenomeni di inquinamento derivanti dalle attività antropiche umane tipiche delle aree industrializzate. Di conseguenza è evidente che tutti gli ecosistemi del nostro pianeta, anche in modo remoto, sono collegati tra loro e che le attività umane, nonostante si limitino alle parti terminali delle valli e della pianura, possono compromettere la salubrità dei ghiacciai alpini che per loro natura sono capaci di conservare gli inquinanti anche per centinaia di anni e rilasciarli nella rete idrica in seguito al loro scioglimento. Questo deve farci riflettere sulle attività tipiche del ventesimo secolo dato che i primi utilizzatori delle risorse idriche derivanti dai ghiacciai siamo proprio noi.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il Prof. Ermanno Zanini, la Prof.ssa Gigliola Borgonovo e la Prof.ssa Stefania Mazzini per la disponibilità e per aver seguito con interesse la realizzazione e la stesura del mio elaborato finale.

Ringrazio il Prof. Roberto Ranzi dell'Università degli Studi di Brescia per aver fornito la cardatrice utilizzata per la realizzazione dello studio.

Ringrazio inoltre il dott. Giorgio Lucchini e il Prof. Attilio Sacchi dell'università degli studi di Milano per aver realizzato parte delle analisi riguardante i metalli pesanti.

Un ringraziamento particolare va alla mia famiglia che mi ha sostenuto durante gli anni di studi e alla mia ragazza Giovanna che mi ha seguito durante la realizzazione delle analisi e dei prelievi.

BIBLIOGRAFIA

Alpi A., Pupillo P., Rigano C. 2000. Fisiologia delle piante. Ed. EdiSES, Napoli.

APHA, AWWA and WEF, 2005. Standard Methods of the Examinations of Water and Wastewater. 21st ed. American Public Health Association, Washington D.C.

Barbante C., Gabrielli P., Cozzi G., Cescon P., 1998. La neve indicatore della qualità dell'aria nelle Alpi. Neve e Valanghe.

Cann M., Baird C., 2006. Chimica ambientale. Zanichelli.

Ferrari M., 2000. Ecologia del paesaggio ed ecologia applicata. Edagricole.

Gerola F. M., Castaldo Cobianchi R., Cristoforini G., Dalessandro G., Gerola P. D., Grilli Caiola M., Scannerini S., Spaevoli E., Tripodi G., 1995. Biologia e biodiversità dei vegetali. UTET, Torino.

Grossi G., Caronna P., Ranzi R., 2010. Bilancio di massa del ghiacciaio del Mandrone nel clima attuale ed in quello prevedibile. pp. 3-6.

Martinelli V., Poverelli D., 1996. Guerra alpina sull'Adamello, 1915-1917. Edizioni D. & C. Povinelli, Pinzolo (TN).

Martinelli V., Poverelli D., 1998. Guerra alpina sull'Adamello, 1917-1918. Edizioni D. & C. Povinelli, Pinzolo (TN).

Meridiani Montagne, Maggio 2005. Adamello. Editoriale Domus.

Smiraglia C., Morandi G., Diolaiuti G., 2010. Clima e ghiacciai, l'evoluzione delle risorse glaciali in Lombardia. Comitato Glaciologico Italiano.

Tar buck E. J., Lutgens F. K., Tozzi M., 1997. Il nostro pianeta. Principato.

Viglietti D., Freppaz M., Celi L., Said-Pullicino D., Filippa G., Zanini E., Gabrieli J., De Pieri S., Gambero A., Barbante C., Caramiello R., Siniscalco C., 2009. Il fenomeno "neve collosa". pp.1-4.

Zenk M. H., 1996. Heavy metal detoxification in higher plants.