



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE STORICHE,
GEOGRAFICHE E DELL'ANTICHITÀ

SCUOLA DI DOTTORATO IN SCIENZE STORICHE
INDIRIZZO "GEOGRAFIA UMANA E GEOGRAFIA FISICA"
XXV CICLO

CARATTERIZZAZIONE DELL'IMPATTO
ANTROPICO DELLA GRANDE GUERRA
SULL'AMBIENTE GLACIALE ALPINO

Direttore della Scuola: Ch.mo Prof. Cristina La Rocca

Coordinatore dell'indirizzo: Ch.mo Prof. Andrea Pase

Supervisore: Dott. Aldino Bondesan

Co-tutore: Prof. Carlo Baroni

Dottoranda: Vittoria Laterza

INDICE

RIASSUNTO	I
ABSTRACT	II
1. - INTRODUZIONE	1
1.1 - SCOPO DEL PROGETTO E STRATEGIE DI INDAGINE	4
2. - AREA DI STUDIO	6
2.1 GRUPPO MONTUOSO DELLA MARMOLADA	7
2.2 GRUPPO MONTUOSO DELL'ADAMELLO-PRESANELLA	12
2.3 GRUPPO MONTUOSO DELL'ORTLES-CEVEDALE	17
Parte 1 – RAPPRESENTAZIONE CARTOGRAFICA E RICOSTRUZIONE STORICA DELLA PRESENZA BELLICA NELL'AREA	
3. - MATERIALI E METODI	22
3.1 RACCOLTA DATI	22
3.2 ACQUISIZIONE E TRATTAMENTO DATI	24
4. - RISULTATI	27
4.1 ORGANIZZAZIONE DEI CONTENUTI INFORMATIVI: il <i>Database</i> storico-geografico	27
4.2 RAPPRESENTAZIONE CARTOGRAFICA E CONTESTO STORICO	31
4.2.1 Gruppo montuoso della Marmolada	32
4.2.2 Gruppo montuoso dell'Adamello-Presanella	36
4.2.3 Gruppo montuoso dell'Ortles-Cevedale	46
Parte 2 – INDAGINI CHIMICHE E ISOTOPICHE E CARATTERIZZAZIONE DELLA PRESSIONE BELLICA NELL'AREA	
5. - MATERIALI E METODI	52
5.1 CAMPIONAMENTO	52
5.1.1 Siti di campionamento	52
5.1.2 Matrici campionate e tecniche di campionamento	56
5.2 TRATTAMENTO CAMPIONI	60
5.2.1 Campioni di acque	60
5.2.2 Campioni di sedimenti, suoli e rocce	61
5.2.3 Reperti bellici	61
5.3 TECNICHE ANALITICHE	62
5.3.1 STRUMENTAZIONE : ICP-MS	62
5.3.2 Analisi chimica multielementare	65
5.3.3 Applicazione degli isotopi di piombo per gli studi di caratterizzazione	67
5.3.4 Determinazione dei rapporti isotopici del Pb	68
5.4 TRATTAMENTO DATI	69

6. – RISULTATI ANALITICI	71
6.1 ANALISI MULTIELEMENTARE	71
6.1.1 Reperti bellici	71
6.1.2 Sedimenti, suoli e roccia	74
Campioni Marmolada	
Campioni Adamello-Presanella	
Campioni Ortles-Cevedale	
6.1.2.1 Variazioni spaziali dei metalli pesanti e confronto con i limiti di legge	91
6.1.2.2 Suoli dell'Adamello-Presanella: relazioni tra variabili	100
6.1.2.3 Il Fattore di Arricchimento	102
6.1.3 Acque	107
Campioni Marmolada	
Campioni Adamello-Presanella	
Campioni Ortles-Cevedale	
6.2 RAPPORTI ISOTOPICI DEL PIOMBO	124
6.2.1 Reperti bellici	124
6.2.2 Sedimenti, suoli e roccia	125
7. – DISCUSSIONE	130
7.1 Reperti bellici	130
7.2 Sedimenti, suoli e roccia	130
7.3 Confronto tra i rapporti isotopici del Pb per la discriminazione delle sorgenti	135
7.4 Campioni di acqua	137
8. – CONCLUSIONI	140
9. – BIBLIOGRAFIA	142
APPENDICI	153
Appendice A	
Tabella I Descrizione campioni acqua	
Tabella II Descrizione campioni sedimenti, suoli, roccia	
Tabella III Descrizione campioni bellici	
Appendice B	
Tabella IV Risultati analisi multi-elementare per i campioni bellici	
Tabella V Risultati analisi multi-elementare per i campioni di sedimento, suolo e litologia	
Tabella VI Risultati analisi multi-elementare per i campioni di acque	
Appendice C	
Tabella VII Risultati analisi isotopica dei rapporti $^{208/207}\text{Pb}$ e $^{206/207}\text{Pb}$, relativa SD, nei campioni bellici	
Tabella VII Risultati analisi isotopica dei rapporti $^{208/207}\text{Pb}$ e $^{206/207}\text{Pb}$ e relativa SD, nei campioni di sedimento, suolo e litologia.	

RIASSUNTO

Per potenza, varietà, quantità e novità dei mezzi utilizzati, la Prima Guerra Mondiale è stata a tutti gli effetti la prima guerra di epoca moderna. Le innovazioni tecnologiche nel settore militare, lo sviluppo degli armamenti e la dimensione “totale” degli scontri tra le nazioni resero questo conflitto molto diverso da quelli dei secoli precedenti.

In Italia, la Prima Guerra Mondiale fu combattuta anche in territorio montuoso, glaciale e periglaciale. Il fronte di guerra montano, lungo circa 100 km, si sviluppava sull’arco alpino a quote spesso superiore ai 3000 m sopra le creste di ghiaccio dell’Ortles - Cevedale, sui ghiacciai e sulle montagne del gruppo dell’Adamello-Presanella e della Marmolada.

Con il conflitto italo-austriaco nasce quindi la Guerra Bianca, termine che contestualizza la guerra di posizione portata alle quote più elevate, inserita nello scenario globale degli scontri della Prima Guerra Mondiale. Alternativamente creste strategiche, passi e larghe superfici glaciali, furono militarmente occupate dai due eserciti in guerra, difese con medi e grossi calibri, protette da trincee, muniti di ripari in gallerie scavate nella roccia e nei ghiacciai e contese con accanimento dalle truppe di montagna e di fanteria dei due eserciti in lotta.

Durante la Guerra Bianca, grandi quantitativi di metalli pesanti (Pb, Cu, Zn, Sb, As, Fe, Sn) sono stati utilizzati per la produzione di esplosivi e munizioni per armi di diverso calibro. Ben nota è la ricaduta ambientale dei metalli pesanti, molti dei quali conosciuti per la loro tossicità, persistenza nell’ambiente, poiché non biodegradabili, e per la tendenza al bioaccumulo e biodisponibilità (Adriano, 2001).

Le attività belliche, la persistenza a lungo termine di materiale bellico o la corrosione di frammenti metallici possono, direttamente o indirettamente, rappresentare una fonte di inquinamento da metalli pesanti nelle località alpine interessate dal conflitto andando quindi a incidere su elementi importanti dell’ecosistema globale quale è l’ambiente glaciale.

Il progetto di ricerca ha lo scopo di indagare attraverso ricostruzioni storico-geografiche e analisi chimiche il possibile impatto ambientale da metalli pesanti legato al primo conflitto mondiale, combattuto in alcuni siti localizzati sull’ambiente glaciale alpino del gruppo montuoso della Marmolada, dell’Adamello-Presanella e dell’Ortles - Cevedale.

Gli obiettivi del lavoro sono stati sviluppati attraverso differenti metodologie di indagine. La rappresentazione cartografica in ambiente GIS, delle aree glacializzate del fronte alpino ha fornito un quadro storico-geografico complessivo della presenza bellica nelle aree indagate e ha portato alla produzione di tre carte tematiche che hanno consentito di localizzare e contestualizzare gli insediamenti militari della Prima Guerra Mondiale sui tre gruppi montuosi interessati dal conflitto. Questa parte del lavoro ha inoltre consentito di definire le aree di influenza di tale presenza, fornendo indicazioni relative ai siti più sfruttati durante il primo conflitto. Il lavoro ha portato inoltre a sviluppare un sistema di gestione delle informazioni in ambiente GIS che, opportunamente implementato e ottimizzato, potrebbe contribuire ad una più efficace archiviazione di documenti cartografici e fotografici relativi alla Prima Guerra Mondiale, attraverso sistemi informativi territoriali.

Per valutare gli arricchimenti di metalli pesanti (Pb, Zn, Cu, Sn e Sb) da sorgente bellica nei siti indagati sono state sfruttate le potenzialità combinata di due tecniche analitiche, quali la caratterizzazione chimica multielementare e l'analisi dei rapporti isotopici del Pb, effettuata su diverse matrici ambientali (sedimenti, suolo, acqua) e su campioni di riferimento (rocce affioranti nelle diverse aree indagate e materiale bellico).

I risultati ottenuti indicano che la contaminazione di metalli pesanti (con contenuti di Pb >1000 ppm e superiori alle Concentrazioni Soglia di Contaminazione dettate dalla normativa italiana, D.lgs 152/2006), di origine bellica caratterizza il gruppo montuoso dell'Adamello-Presanella, in particolare i suoli superficiali degli ex siti militari del Passo del Castellaccio e del Lagoscuro. Questo risultato confermerebbe quanto ricostruito dalle indagini storico geografiche, poiché questo è stato il fronte della Guerra Bianca che ha registrato le più importanti battaglie e che ha avuto un peso strategico maggiore. Inoltre gli insediamenti localizzati sul Presena e sulla Presanella (per la parte austriaca) e quelli del Castellaccio e del Lagoscuro (per la parte italiana) sono stati tra quelli più sfruttati perchè di maggiore importanza tattica, di conseguenza negli anni di guerra furono interessati da numerosi sviluppi bellici.

L'analisi del contenuto in metalli pesanti delle acque dei ghiacciai dell'Adamello-Presanella non ha fornito, al contrario, valori significativi che possano evidenziare particolari anomalie. Sia sull'Adamello-Presanella che negli altri siti indagati, sulla Marmolada e sull'Ortles-Cevedale, il contenuto in metalli pesanti nelle acque non supera le Concentrazioni massime ammissibili nelle acque destinate al consumo umano dettate dalla Direttiva Europea 98/83/EC.

ABSTRACT

World War I was the first modern war fought on a gigantic scale. Technological innovations in the military sector, the development of armaments and the total dimension of the clashes between nations made this warfare very different than in any previous century. During World War I, the western sector of the Italian and Austro-Hungarian front crossed two of the mountain groups of the Italian Alps. The highest and most spectacular battles of WWI were fought on the Marmolada, Adamello-Presanella and Ortles-Cevedale mountain groups (White War).

During the White War, large quantities of heavy metals (Pb, Cu, Zn, Sb, As, Fe) were used for explosives and munitions manufacturing and were scattered on Alpine battle sites. These are elements of notable environmental concern due to their toxicity, different origins, non-biodegradable properties (persistence in the soil), their tendency to bioaccumulate and their bioavailability (Adriano, 2001).

Most of the war material used and abandoned during and after WWI was recovered and put on display in museums or has been taken away by war souvenir collectors. These materials were also enclosed and preserved in the alpine glacial bodies and emerge today due to the recent reduction in thickness of the glacial bodies.

The war activity, the long-term persistence of war material or the corrosion of metal fragments can directly or indirectly cause heavy metal pollution on the Alpine glacial systems.

The aim of the research project is to investigate, on the basis of historical-geographic reconstructions and chemical analyzes, the potential environmental impact of heavy metals related to the First World War, fought on some localized sites in the glacial Alpine environment of the mountain range Marmolada, Adamello-Presanella and Ortles - Cevedale. The objectives of this study were developed through various investigation methods. The cartographic representation generated in a GIS environment of the glacial areas of the Alpine front gave an overview of the historical and geographical global military presence in the investigated areas and led to the production of three thematic maps that made it possible to locate and contextualize the military installations of the First World War on the three mountain groups affected by the conflict. This part of the work made it possible to define the areas of influence of this presence, providing information on the most exploited sites during the WWI. Furthermore, we developed a system for managing information in a GIS environment which, when properly implemented and optimized, could contribute to a more efficient storage of cartographic documents and photographs relating to the First World War, using geographic information systems.

The assessment of heavy metal enrichment (Pb, Zn, Cu, Sn and Sb) due to war activities in the investigated sites was made by combining the potential of two analytical techniques, such as multi-element chemical characterization and Pb isotopes analysis, carried out on various environmental matrices (sediment, soil, water) and reference samples (rocks outcropping in the studied areas and war material). The results obtained indicate that the contamination of heavy metals (Pb with content > 1000 ppm and higher than the threshold values of the Italian legislation standard, D.lgs 152/2006) due to the war characterize the Adamello-Presanella range, in particular the surface soils of former military sites on the Passo del Castellaccio and Lagoscuro. This result confirms the previous evidence of the historical and geographical reconstructions, as this was the main White War front where the battles had a great strategic importance. In addition, the settlements on the Presena and Presanella (the Austrian side) and those of Castellaccio and Lagoscuro (the Italian side) were among the most exploited due to their major tactical importance, so during the war years they were severely war-affected. On the contrary, the analysis of the heavy metals content in water samples of the glaciers Adamello-Presanella did not show particular anomalies. Both on the Adamello-Presanella as

the other sites investigated, the Marmolada and the Ortles-Cevedale, the heavy metals content in the water samples do not exceed the threshold concentrations in water intended for human consumption included in Directive 98/83/EC.

1. - INTRODUZIONE

Le guerre del XX secolo si connotano per essere in grado di causare modificazioni sull'ambiente naturale sia a breve che a lungo termine (Westing, 1980), provocando alterazione delle risorse naturali, trasformazione del paesaggio (Hupy e Schaetzl, 2008; King, 2001) e contaminazione chimica (Van Meirvenne *et al.*, 2008; Bausinger *et al.* 2007; Pirc e Budkovic, 1996). In tal senso i conflitti di epoca moderna e contemporanea rappresentano nel loro complesso una fonte di impatto di ordine di grandezza variabile, talora così ubiquitaria e incisiva da conferire, sul piano della "ecologia del paesaggio", un'impronta paesaggistica di lunga durata, attraverso specifici processi formativi di "paesaggi di guerra", *warscapes* (De Guio, 2002).

Per potenza, varietà, quantità e novità dei mezzi utilizzati, la Prima Guerra Mondiale è stata a tutti gli effetti la prima guerra di epoca moderna. Le innovazioni tecnologiche nel settore militare, lo sviluppo degli armamenti e la dimensione "totale" degli scontri tra le nazioni resero questo conflitto molto diverso da quelli dei secoli precedenti.

In Italia, la Prima Guerra Mondiale si ricorda per le grandi e sanguinose battaglie dell'Isonzo, del Carso, degli Altipiani di Asiago, per la tragedia di Caporetto e l'epopea del Piave. In contemporanea la guerra si combatté anche su un altro fronte che si sviluppava in territorio montuoso, glaciale e periglaciale e che ebbe come teatro l'arco alpino tra il Passo dello Stelvio e le Alpi Giulie. Un fronte montano lungo circa 100 km che correva ad altezza spesso superiore ai 3000 m (Langes, 1991). Dal Passo dello Stelvio, il fronte attraversava i gruppi montuosi più elevati delle Alpi Orientali, si sviluppava su una linea ininterrotta, sopra le creste di ghiaccio dell'Ortles - Cevedale (3905 m), sui ghiacciai e sulle montagne del gruppo dell'Adamello (3539 m) e della Presanella (3550 m). Raggiungeva le depressioni delle valli, scendendo nelle Giudicarie, in Val d'Adige e, dopo un tratto nelle Prealpi in cui toccava il Pasubio e la zona di Asiago, tornava alle quote più elevate della catena del Lagorai, della Marmolada (Punta Penia, 3342 m), delle Dolomiti, del Comelico e delle Alpi Carniche (Langes, 1991).

Con il conflitto italo-austriaco nasce quindi la Guerra Bianca, termine che contestualizza la guerra di posizione portata alle quote più elevate, inserita nello scenario globale degli scontri della Prima Guerra Mondiale. Alternativamente creste strategiche, passi e larghe superfici glaciali, furono militarmente occupate dai due eserciti in guerra, difese con medi e grossi calibri, protette da trincee, muniti di ripari in gallerie scavate nella roccia e nei ghiacciai e contese con accanimento dalle truppe di montagna e di fanteria dei due eserciti in lotta.

A ormai 100 anni dalla conclusione del conflitto, trincee, postazioni e gallerie costellano ancora oggi le montagne dell'arco alpino e godono, come tutto il patrimonio storico della Grande Guerra, dello *status* di patrimonio culturale (Legge n. 78 del 2001). Negli ultimi tempi l'archeologia della Grande Guerra sta acquisendo, anche nel nostro paese, come già da qualche tempo nel resto d'Europa, sempre più importanza (AA.VV., 2008; Nicolis *et al.*, 2011) e numerosi sono i progetti operativi sul territorio finalizzati al recupero e alla restituzione dei manufatti bellici in risposta ad una crescente domanda di un turismo culturale dedicato.

Soprattutto nel panorama europeo, le tecniche di telerilevamento (*remote sensing*), l'uso della fotografia aerea storica e della cartografia storica – militare, sono i nuovi approcci sviluppati per rilevare siti archeologici e, in generale, per la protezione, gestione e recupero del patrimonio militare della prima guerra mondiale (Stal *et al.*, 2010; Stichelbaut, 2011). Queste applicazioni vengono dall'altro lato anche utilizzate per analizzare l'evento bellico da un punto di vista geografico - militare valutando i condizionamenti geologico-geomorfologici alle operazioni militari stesse.

Nuove tematiche e riflessioni di natura diversa si configurano di recente anche nell'ambito delle scienze naturali-ambientali, evidenziando un interesse nei confronti delle potenzialità di trasformazione della morfologia del paesaggio in conseguenza agli eventi del primo conflitto mondiale e dei cambiamenti ambientali da essi indotti. Riflessioni queste maturate anche dalle numerose e recenti evidenze di armi e residui metallici sparsi sui siti di guerra alpini, poi rimasti racchiusi e conservati nei corpi glaciali che oggi emergono, a un secolo di distanza, a causa della progressiva riduzione dello spessore medio dei ghiacciai alpini. Fa riflettere quanto riportato dalla Relazione Ufficiale austriaca, in cui si definì la conquista del ghiacciaio dell'Adamello “in fatto di quantità di truppe impiegate, la più grande operazione che si sia mai attuata nell'ambiente delle nevi e dei ghiacciai d'alta montagna; fu un capolavoro di turismo di massa” (estratto da Martinelli, 1997).

Durante la Guerra Bianca, grandi quantitativi di metalli pesanti (Pb, Cu, Zn, Sb, As, Fe, Sn) sono stati utilizzati per la produzione di esplosivi e munizioni per armi di diverso calibro. Nel periodo 1914-1918 furono sparati circa un miliardo di proiettili di artiglieria di tutti i tipi, equivalenti a circa 15 milioni di tonnellate di metalli, di esplosivi e di altri materiali (Bausinger *et al.* 2007). L'industria bellica italiana produsse durante la Prima Guerra Mondiale, entro la fine del 1917, 2,4 miliardi di munizioni per fucili (Relazione ufficiale dell'Esercito Italiano della Grande Guerra, 1927).

Oltre al Ferro, molti altri elementi sono stati usati nella fabbricazione dei proiettili da artiglieria. Il Rame era necessario per la produzione di spolette e bossoli; il Piombo per la fabbricazione di pallini di *shrapnel*, per gli esplosivi primari e per le attrezzature da guerra chimica; lo Zinco era un sostituto del Rame nella fabbricazione delle spolette. L'Arsenico e i suoi composti sono state le materie prime per la produzione di agenti chimici. Le munizioni per fucili e pistole erano costituite da cartucce di ottone e proiettili di piombo e ottone rispettivamente; i proiettili di artiglieria, da cartucce di ottone e da un involucro di metalli (Fe, Cu e ottone; Pirc e Budkovic¹, 1996). Ben nota è la ricaduta ambientale dei metalli pesanti¹, molti dei quali conosciuti per la loro tossicità, persistenza nell'ambiente, poiché non biodegradabili, e per la tendenza al bioaccumulo e biodisponibilità (Adriano, 2001).

¹ Ad esclusione di Fe e Al vengono anche detti elementi in traccia (< 0.1% nei più comuni suoli e rocce) e le loro concentrazioni nei suoli, nei sedimenti e nelle rocce sono solitamente di parti per milione o per miliardo (ppm, ppb). Generalmente vengono considerati metalli pesanti Ag, Ba, Cd, Co, Cr, Mn, Hg, Mo, Ni, Pb, Cu, Sn, Tl, Ti, V, Zn, alcuni metalloidi, con proprietà simili a quelle dei metalli pesanti, quali As, Sb, Bi ed Se (Förstner e Salomon, 1984). Tra questi, gli elementi che determinano più spesso fenomeni d'inquinamento sono: As, Hg, Tl, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, Zn e Se (Förstner e Salomon, 1984).

Le attività belliche, la persistenza a lungo termine di materiale bellico o la corrosione di frammenti metallici possono, direttamente o indirettamente, rappresentare una fonte di inquinamento da metalli pesanti nelle località alpine interessate dal conflitto andando quindi a incidere su elementi importanti dell'ecosistema globale quale è l'ambiente glaciale. I ghiacciai non sono unicamente esclusivi per il loro valore naturalistico e paesaggistico, ma sono fondamentali per la funzione di riserva idrica che rappresentano nel bilancio idrico delle regioni e per il notevole ruolo scientifico che essi svolgono come formidabili archivi dei cambiamenti climatici e ambientali globali (Gabrielli *et al.*, 2008; Schwikowski *et al.*, 1994; Barbante *et al.*, 2001-1999; Van De Velde *et al.*, 1998-2000).

Diverse indagini hanno evidenziato l'esistenza di siti contaminati su alcuni dei campi di battaglia europei interessati dal primo conflitto mondiale (Meerschman *et al.*, 2010; Bausinger *et al.*, 2007; Van Meirvenne *et al.*, 2008; Pirc e Budkovic[˘], 1996).

Utilizzando una banca dati geochimica di grandi dimensioni, Van Meirvenne *et al.* (2008) ha segnalato la presenza di arricchimenti di metalli pesanti in suoli superficiali intorno a Ypres, una delle località belghe intensamente bombardata durante la Prima Guerra Mondiale. Una valutazione della contaminazione del suolo a scala regionale, sempre in questa zona, è stata realizzata da Meerschman *et al.* (2010). In generale, l'autore non ha rilevato un arricchimento a scala regionale, ma piuttosto la presenza di elevate concentrazioni di metalli quali Cu, Pb, e Zn a livello locale. Escludendo altre possibili fonti di metalli pesanti nell'area indagata, l'autore ha identificato come responsabile dell'insorgenza locale di elevati livelli di metalli pesanti le attività belliche ascrivibili al primo conflitto mondiale. Anche secondo le indagini svolte da Bausinger *et al.* (2007) e Schwartz *et al.* (2003) i suoli nelle località interessate dagli avvenimenti bellici in Francia e in Belgio presentano contenuti elevati di Cu, Pb e Zn. Inquinamento da As, Cu, Pb oltre che da contaminanti organici (quali nitrobenzene, nitrotoluene, nitronaftalina e trifenilarsine) è stato segnalato in un ex sito per la distruzione di munizioni nelle Fiandre (Belgio) da Bausinger e Preuss, 2005. L'As è stato utilizzato come agente tossico dal 1917, ed è stato definito dagli autori uno dei più importanti contaminanti del suolo in queste località, con concentrazioni tra 1120 e 2595 ppm.

Studi analoghi lungo il fronte italo-sloveno del primo conflitto mondiale, condotti da Pirc e Budkovic[˘] (1996) su campioni di suolo, sedimenti, piante e aria, hanno rilevato diverse anomalie nel contenuto di Cu, Zn, Pb, Sb e Hg nei suoli, meno pronunciate nei sedimenti. Lo stesso fronte è stato ulteriormente indagato da Souvent & Pirc (2001), focalizzando l'attenzione sulla corrosione dei frammenti metallici degli ordigni esplosi e inesplosi che hanno provocato un arricchimento di Cu, Pb, Zn, Hg, Sb (con valori massimi di 225; 1005; 278; 9 e 7 ppm rispettivamente). D'altra parte, un'analisi di 30 campioni di suolo, sul fronte turco (nella località di Gallipoli) ha rivelato, in generale, un'assenza di contaminazione (Baba e Deniz, 2004). Le basse concentrazioni medie ritrovate (Cu 15,1 ppm; Pb 13,9 ppm; Zn 36,7 ppm) sono state giustificate da Baba e Deniz come conseguenza di una probabile buona lisciviazione del suolo, mentre le concentrazioni relativamente alte, sembrano essere legati all'intensa attività della Prima Guerra Mondiale. In Italia, studi sull'impatto antropico imputabile alla Grande Guerra sono stati compiuti solo nella zona del Monte Grappa, da Sauro (1987) e Celi (1991; 2009). Celi riporta valori

alti di Zn e Cu (>2000 ppm), in guano e argille presenti nelle depressioni carsiche dei luoghi di battaglia. La morfologia di questo massiccio calcareo è caratterizzata inoltre dalla presenza di numerose depressioni di varie dimensioni risultato delle esplosioni di bombe e mortai.

Nonostante il crescente interesse verso le problematiche ambientali legate alle attività belliche della Guerra Bianca e alla presenza di residui bellici in ambiente glaciale, nessuna indagine è stata finora compiuta sui campi di battaglia del fronte alpino italo-austriaco. In generale nessuna indagine organica è stata realizzata sia in relazione alla quantità di materiale utilizzato dai paesi belligeranti durante la Grande Guerra e sparso sui campi di battaglia, sia in relazione alla stima del possibile inquinamento ambientale causato dal conflitto a diversa scala territoriale.

1.1 – SCOPO DEL PROGETTO DI RICERCA E STRATEGIA DI INDAGINE_____

Alla luce di quanto esposto, lo scopo del progetto di ricerca è stato quello di indagare attraverso ricostruzioni storico-geografiche e analisi chimiche il possibile impatto ambientale da metalli pesanti legato al primo conflitto mondiale, combattuto in alcuni siti localizzati in ambiente glaciale alpino.

Gli obiettivi del progetto di dottorato sono stati quindi:

- i. contestualizzare la presenza bellica sui tre gruppi montuosi interessati dalla Guerra Bianca, quali Marmolada, Adamello-Presanella e Ortles - Cevedale;
- ii. indagare il possibile arricchimento di metalli pesanti derivanti da sorgenti belliche e la loro persistenza nel tempo.

Per sviluppare tali obiettivi sono stati seguiti differenti metodologie di indagine:

- i. la rappresentazione cartografica delle aree glacializzate del fronte alpino è stata utilizzata per fornire un quadro storico-geografico complessivo della presenza bellica nelle aree indagate;
- ii. la caratterizzazione chimica multielementare e l'analisi dei rapporti isotopici del Pb, effettuata su diverse matrici ambientali sono state utilizzate per valutare gli arricchimenti di metalli pesanti da sorgente bellica nei siti indagati.

Il diagramma di flusso in Fig 1. sintetizza le attività di ricerca svolte e presentate in due parti distinte nell'elaborato finale.

La fase di preparazione e analisi dei campioni è stata effettuata presso il Dipartimento di Scienze Ambientali di Venezia Ca' Foscari e il Dipartimento di Scienze della Terra di Pisa. La scelta di combinare due tecniche analitiche, quali l'analisi multielementare e quella isotopica, è stata effettuata in base alla loro documentata efficacia nell'identificare sorgenti di metalli pesanti in diversi tipi di matrici ambientali (Cheng *et al.*, 2010; Komarek *et al.*, 2008; Ettler *et al.*, 2006; Monna *et al.*, 2004; Rosman *et al.*, 2000).

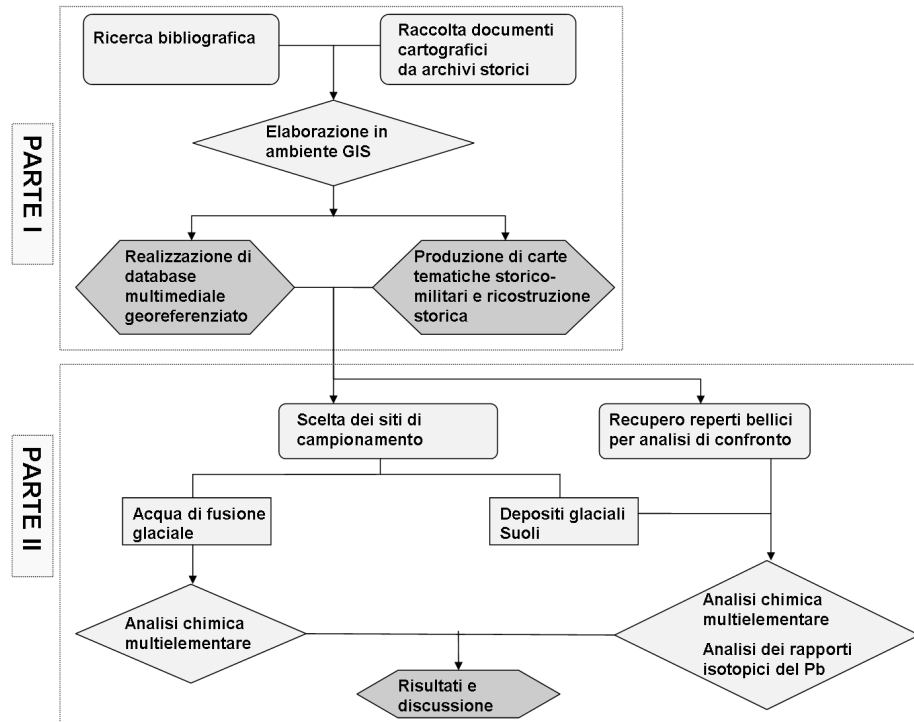


Fig. 1 Schema logico di sviluppo del progetto di ricerca.

2. - INQUADRAMENTO DELL' AREA DI STUDIO

L'area oggetto di indagine è situata nel Nord Italia e comprende parte delle regioni Lombardia, Trentino-Alto Adige e Veneto (Fig. 2.1) e include alcuni siti individuati nell'ambiente glaciale dei tre gruppi montuosi tra i più importanti del fronte alpino della Prima Guerra Mondiale: il massiccio della Marmolada, il gruppo dell'Adamello-Presanella ed il gruppo dell'Ortles-Cevedale.

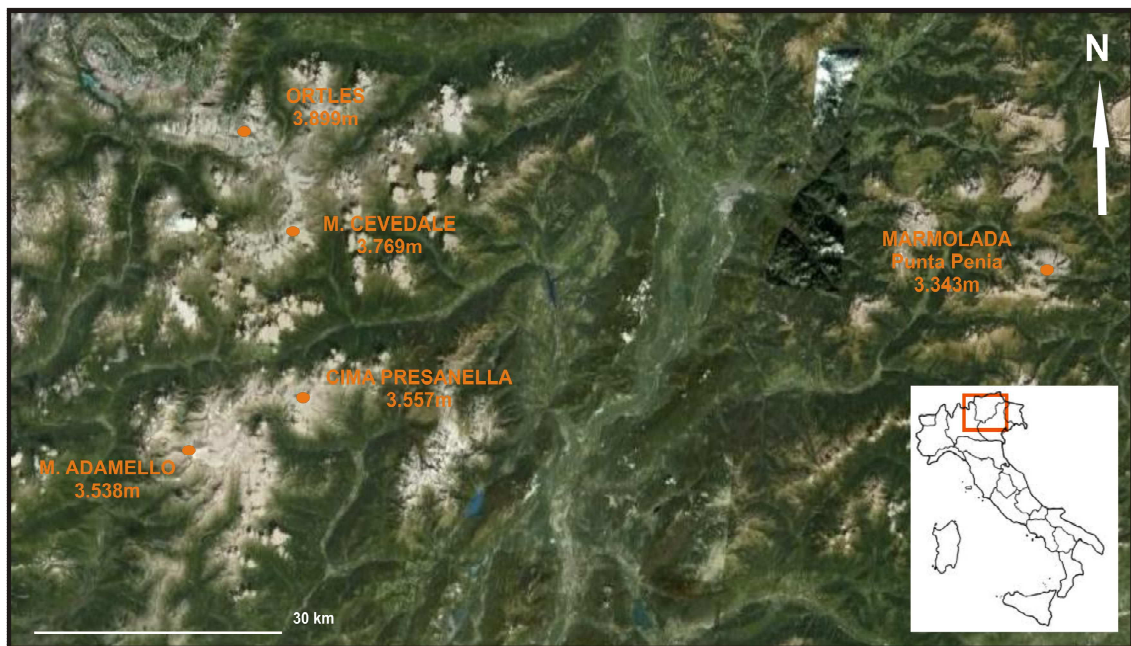


Fig. 2.1 Ubicazione dei tre gruppi montuosi (immagine da *Google Earth*, 2012, modificata).

Di seguito riportiamo le caratteristiche generali che distinguono i tre gruppi montuosi, focalizzando in dettaglio i settori in cui ricadono i siti di campionamento (descritti nel § 5.1). Specifichiamo che per il gruppo della Marmolada l'area indagata è ristretta alla zona limitrofa al ghiacciaio omonimo; per l'Ortles-Cevedale l'area di nostro interesse si estende nel settore meridionale del gruppo, a sud del Monte Cevedale; mentre l'intero settore dell'Adamello-Presanella è stato campionato.

I dati relativi alla descrizione dei ghiacciai, fanno riferimento al Catasto dei Ghiacciai Italiani (CGI-CNR 1959-1961). Le schede descrittive sono reperibili in rete consultando il *database* (Fig. 2.2) del portale del CGI (www.glaciologia.it)¹. Per i ghiacciai trentini, sono stati recuperati ulteriori dati dal catalogo del Comitato Glaciologico Trentino della Società degli Alpinisti Italiani (C.G.T.-SAT, 1994; www.sat.tn.it/sns/17/ghiacciai_elenco.htm) e dal portale cartografico della Provincia per quelli ricadenti in territorio lombardo dal portale cartografico della Regione Lombardia².

¹ I codici di catalogazione dei ghiacciai relativi al CGI-CNR 1959-1961 verranno abbreviati nel testo come "n.cat." per comodità.

² Dati estensione ghiacciai Provincia autonoma di Trento riferiti al 2003 da www.territorio.provincia.tn.it; dati estensione ghiacciai Regione Lombardia riferiti al 2003 da www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportale.



Fig. 2.2 Ubicazione dei ghiacciai italiani consultabili mediante il database geografico del Comitato Glaciologico Italiano (immagine da www.glaciologia.it)

2.1 - GRUPPO MONTUOSO DELLA MARMOLADA

Il gruppo della Marmolada è il più alto rilievo delle Alpi Dolomitiche ($46^{\circ}26'N-11^{\circ}48'E$), situato tra la Regione Veneto e Trentino-Alto Adige, in particolare tra le Province di Belluno e Trento, e ricopre in complesso un'area di circa 2207 ha. Il massiccio principale della Marmolada (Fig. 2.3) ha uno sviluppo est-ovest ed è delimitato a nord e nord-Est dalla profonda ed ampia depressione del Fedaia con l'omonimo Passo (2056 m), al di là della quale si erge il Monte Padòn (2521 m). E' circoscritto a nord-ovest dalla Valle dell'Avisio mentre a sud dal solco Valle del Contrin – Passo Ombretta (2704 m) – Valle Ombretta (Mattana, 1995).

La cresta di vetta è costituita da numerose cime che superano i 3000 m, fra le quali Punta Penia (3343 m), Punta Rocca (3310 m), Cima Ombretta (3011 m), Gran Vernel (3205 m), Piccolo Vernel (3098 m), Punta Serauta (2964 m) e Pizzo Serauta (3036 m). La cresta principale, che rappresenta il limite tra le due regioni, costituisce lo spartiacque tra il bacino del T. Cordevole (a est) e quello dell'Avisio (a ovest), che ha origine dal Lago Fedaia (2053 m), situato alla base del versante nord. Il versante meridionale ricade in una gigantesca e compatta bastionata rocciosa alta da 600 a 1000 m e lunga circa 5 km. Il gruppo, denominato anche "La Regina delle Dolomiti", non solo per la sua altezza ma anche per l'imponenza e la maestosità, è stato dichiarato dall'UNESCO patrimonio mondiale dell'umanità. Inoltre è stata istituita con Legge n. 719 del 1975, la Zona Monumentale di Punta Serauta che, come vedremo nel capitolo 4 (§ 4.2.1), è stata intensamente occupata durante la Prima Guerra Mondiale.

Sul versante settentrionale della lunga e imponente catena montuosa si estende il Ghiacciaio Principale della Marmolada, il più vasto ghiacciaio del gruppo, l'unica grande formazione glaciale di tutte le Dolomiti (Tabella 2.1). Classificato col codice 941 (CGI-CNR, 1959-62) ha una forma trapezoidale (Mattana, 1995).

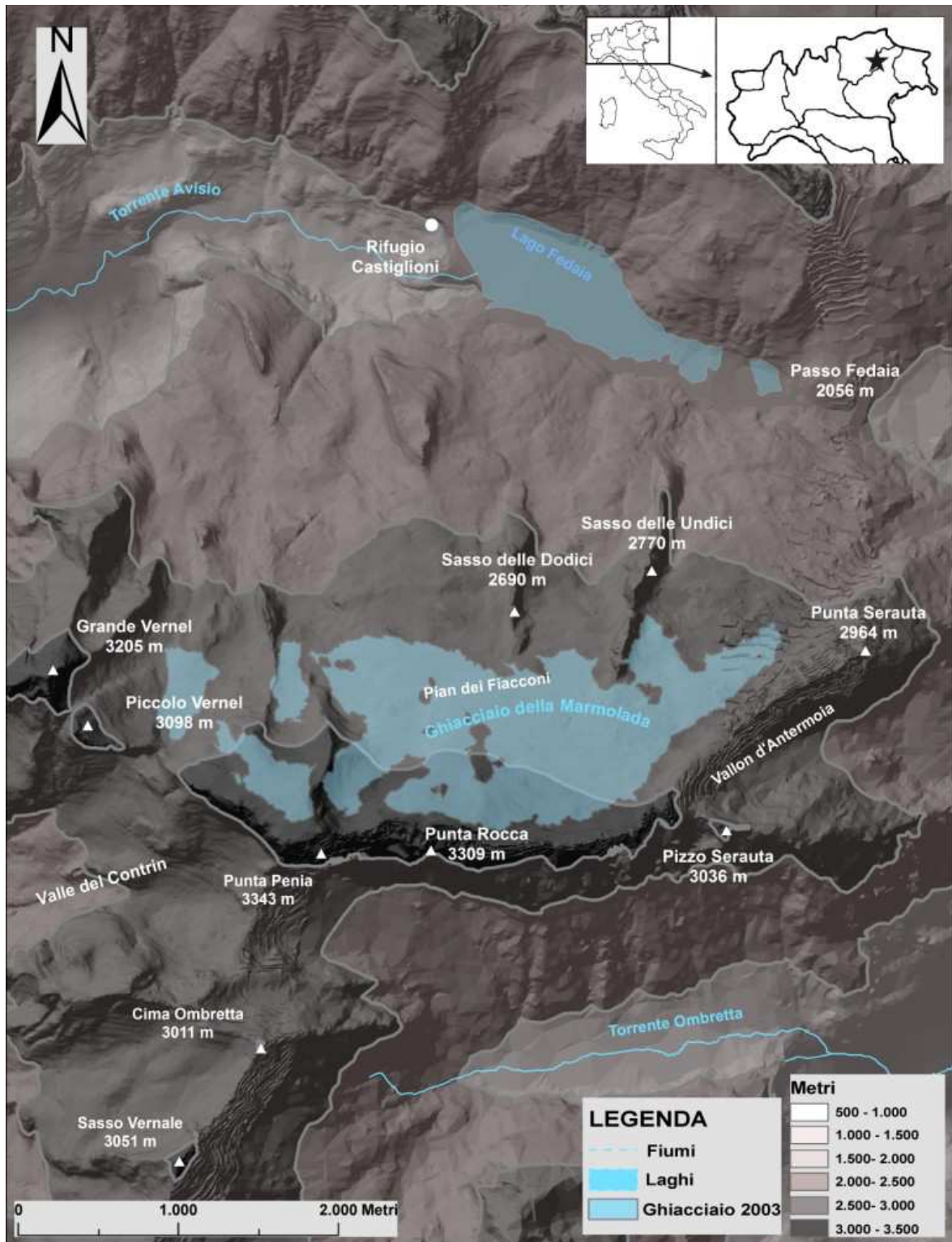


Fig. 2.3 Carta di inquadramento del gruppo della Marmolada.

La parte meridionale, rappresenta la base maggiore del questo trapezio (Fig. 2.3) ed inizialmente era divisa in tre piccole fronti dai due rilievi taglienti diretti nord-sud, il Sasso delle Undici ad ovest (2770 m) ed il Sasso delle Dodici (2690 m) ad est. Nel Gruppo della Marmolada sono stati quindi accatastati 4 ghiacciai (Mattana, 1995): Ghiacciaio Principale della Marmolada (Centrale), Ghiacciaio Principale della Marmolada settore occidentale (n. cat. 942; 8,4 ha nel 1994 dati SAT) e settore orientale (o ghiacciai del Vernel n. cat. 942a;

11,8 ha nel 1994 dati SAT). Di queste fronti solo la centrale, protesa verso valle tra i due speroni rocciosi, presenta la caratteristica lingua glaciale. Dopo il forte ritiro degli ultimi anni, la fronte si è attestata a monte dei due speroni rocciosi, ma la tradizionale suddivisione nei tre settori è rimasta. Il Ghiacciaio (Vedretta) di Vernale, è il quarto ghiacciaio del gruppo (n. cat. 945; 3,79 ha, 1994 da SAT).

Tabella 2.1 Dati descrittivi relativi al Ghiacciaio Principale della Marmolada

NOME GHIACCIAIO	CODICE CATASTO*	DESCRIZIONE	SUPERFICIE (ha)	BACINO IDROGRAFICO
Gh. Principale della Marmolada	941 I-4L001011-1	Pirenaico (circo)	305** 159 (2003) ^a	Avisio-ADIGE

*Il primo è il codice dato dal CGI-CNR, 1959-62; il secondo dal WGI-*World Glacier Inventory* (*World Glacier Monitoring Service*, 1989); **CGI-CNR, 1959-62; ^a Dati Provincia autonoma di Trento, 2003.

Le Dolomiti appartengono al settore orientale del Dominio Subalpino, una catena a pieghe e faglie, vergente verso sud (Doglioni, 1987; Castellarin, 1996), delimitati a nord dal Lineamento Insubrico e a sud dal sovrascorrimento neogenico della Valsugana vergente verso sud. In particolare il massiccio della Marmolada (Fig. 2.4) è caratterizzato da strutture tettoniche costituite da un sistema di faglie trascorrenti ad andamento NE-SO e NNO-SSE più evidente nella parte occidentale del massiccio ereditate dalla tettonica ladinica (di tipo trascorrente compressiva) e da thrust alpini (ad andamento circa E-O e NE-SO).

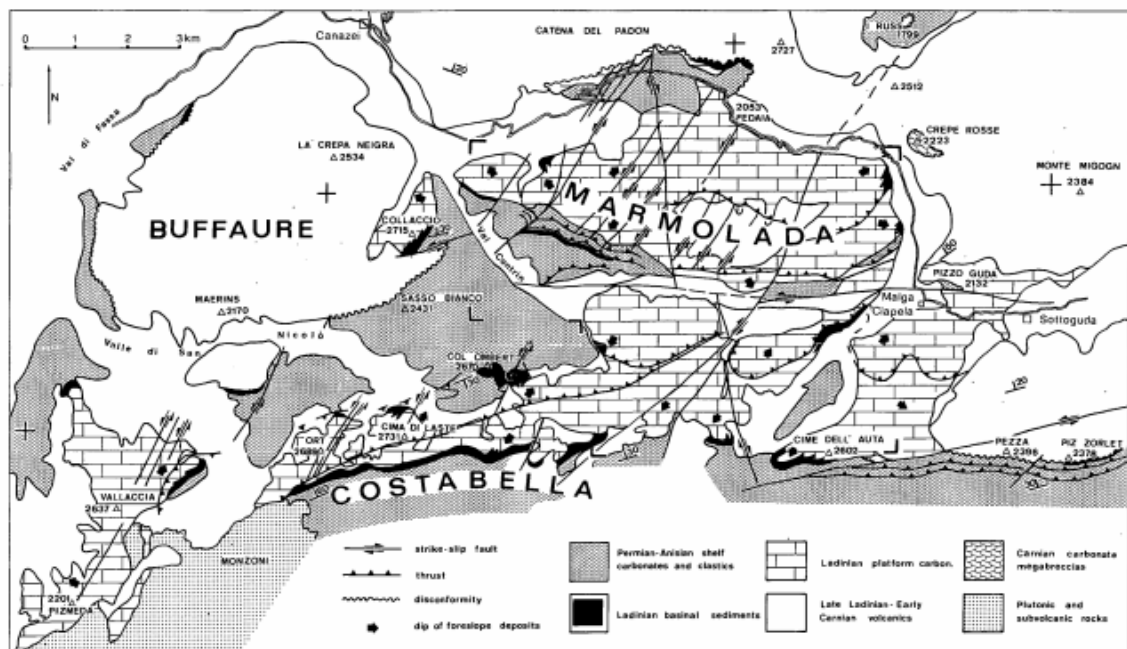


Fig. 2.4 Schema geologico - strutturale del massiccio della Marmolada da Blendinger (1984).

Il massiccio è formato da unità sedimentarie accumulate fra il Permiano superiore e il Ladinico (260-235 Ma). In Fig. 2.5 è riportato il settore del massiccio in esame in cui è incassato il ghiacciaio; l'immagine rappresenta uno stralcio della Carta Geologica d'Italia Foglio 11 scala 1:100.000. L'ossatura è costituita da spesse piattaforme carbonatiche

medio-triassiche, che sono sfuggite alla dolomitizzazione tardiva che ha invece pervasivamente interessato il resto delle Dolomiti (Caputo *et al.* 1999). E' stato possibile distinguere tre piattaforme indipendenti all'interno del massiccio stesso, immaginandolo come parte, un tempo, di un arcipelago di isole carbonatiche (Stefani e Caputo, 1998): i calcari di versante appartengono alla Formazione del Calcarea della Marmolada, mentre la parte superiore della piattaforma è formata dal Calcarea del Latemar (Leonardi *et al.*, 1968), correlati come "*lower cyclic member*" alla Formazione del Calcarea del Latemar nel massiccio del Latemar (Goldhammer *et al.*, 1994; Eggenhoff *et al.*, 1999). Gli affioramenti del Calcarea della Marmolada sono molto estesi nella parte occidentale del massiccio (Fig. 2.5), mentre nella parte orientale vengono sostituiti, per passaggio laterale di facies, da formazioni eruttive e vulcano-clastiche ladino-carniche (Mattana, 1995). La "Regina delle Dolomiti" è un esempio della complessità delle Dolomiti dal punto di vista geologico e morfologico. Infatti il basamento della Marmolada, come per alcuni gruppi dolomitici, è costituito da affioramenti di rocce scure di origine vulcanica (età Ladinica, medio Triassica) che si sono effuse sul fondo del bacino (Leonardi *et al.*, 1968) e che contrastano con il colore chiaro delle pareti superiori formate appunto da calcarea con poco magnesio. Dal punto di vista morfologico, nella Marmolada la disposizione degli strati ha assunto a nord (lato del ghiacciaio) un andamento conforme al senso del versante (giacitura a franapoggio), mentre a sud (lato della parete più ripida) un andamento contrario al versante stesso (giacitura a reggipoggio). Ciò conferisce al corpo centrale della Marmolada la tipica forma asimmetrica lungo una sezione nord - sud, che la fa apparire come un gigantesco piano inclinato, costituito da una grande piattaforma calcarea (un tempo orizzontale), poi sollevata durante l'orogenesi ed accavallata in direzione sud-ovest, mantenendo l'inclinazione più dolce verso nord.

Sul versante nord della piattaforma alla base del ghiacciaio, sono evidenti forme di accumulo detritico modellate in argini morenici frontali, di età tardo wurmiana e olocenica. Depositi alluvionali e falde detritiche sono presenti, per l'azione fluvio-glaciale, sia ai margini del ghiacciaio che più a valle e circondano l'intero massiccio (Fig. 2.5). Il diverso grado di alterazione della roccia calcarea, più resistente e solubile solo in particolari condizioni (carsismo) rispetto alla rocce vulcaniche basali, più facilmente alterabili, fa sì che le pallide e imponenti pareti calcaree del versante nord della Marmolada contrastino sia dal punto di vista cromatico che morfologico con i più dolci e verdi pendii che si sviluppano su lave e prodotti vulcanici, ad esempio le creste del Padon.

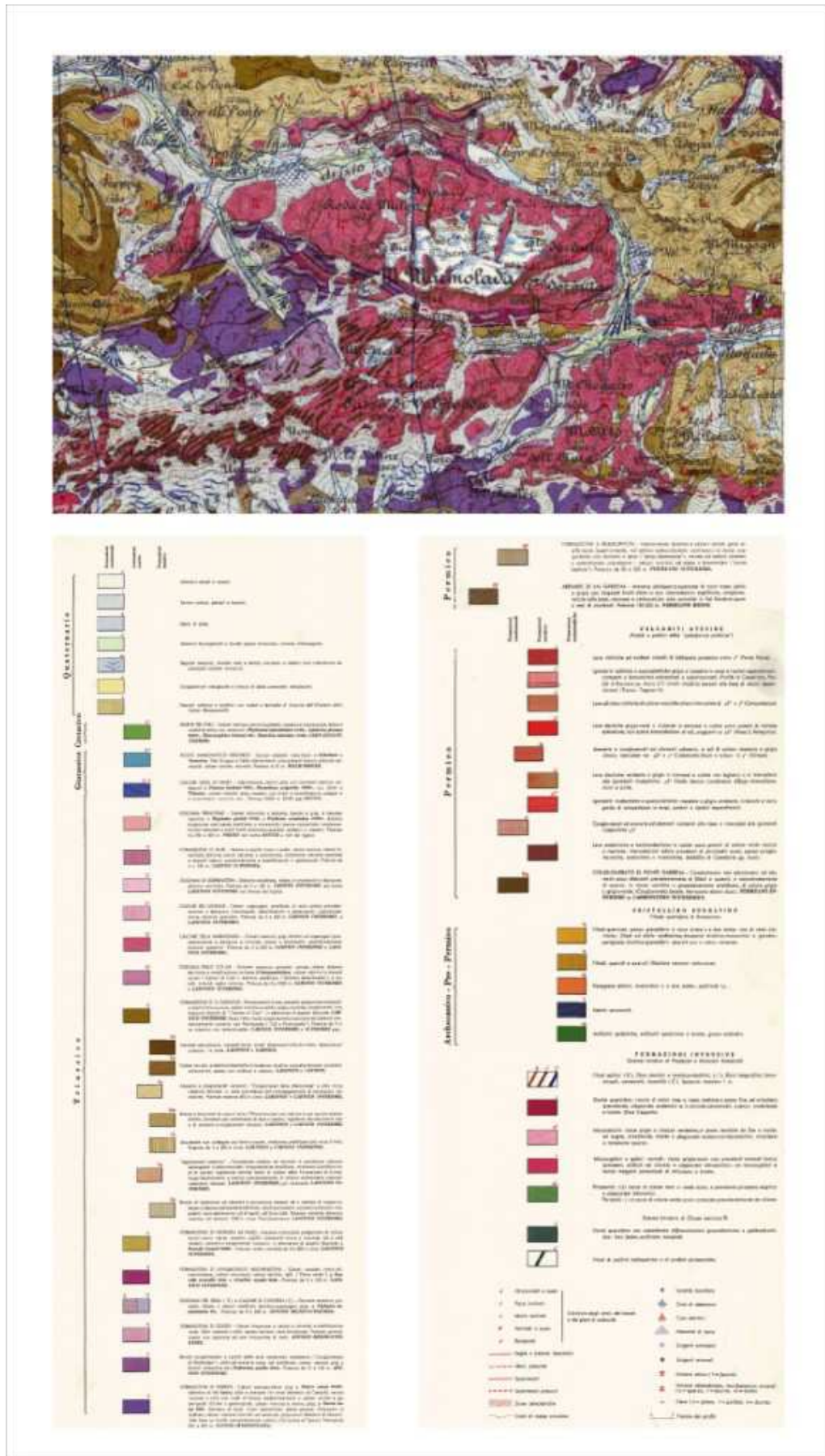


Fig. 2.5 Stralcio del Foglio 11“M. Marmolada” della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:100.000, relativo alla zona di specifico interesse.

2.2 - GRUPPO MONTUOSO DELL'ADAMELLO-PRESANELLA

Il gruppo montuoso dell'Adamello-Presanella si estende nelle Alpi Retiche, settore meridionale delle Alpi Centro Orientali (45°54'-46°19' N; 10°21'-10°53' E) e ricopre un'area di più di 1100 km². Esso è compreso all'interno del Parco Regionale dell'Adamello, nella Regione Lombardia (510 km², Provincia di Brescia) e Parco Naturale dell'Adamello-Brenta, nel Trentino-Alto Adige (620,53 km², Provincia autonoma di Trento). Si sviluppa in direzione nord-est ed è delimitato dalla Val di Sole a nord-est, dalla Val Camonica a nord-ovest, valli che lo dividono dal gruppo dell'Ortles-Cevedale (Fig. 2.6). La Val Rendena lo delimita ad est. Il confine a sud è meno marcato ed il massiccio cede gradualmente il passo alle Prealpi lombarde tra la Val Camonica e le Valli Giudicarie (Baroni *et al.*, 2004). Inoltre numerose valli glaciali secondarie, che si sviluppano a raggiera dalla sommità del massiccio, lo solcano profondamente. Le più rappresentative del gruppo sono: la Valle Adamè, la Valle dell'Avio, la Val Miller, la Val Narcanello e la Val Salarno (per la parte lombarda); la Val di Fumo, la Val di Genova e la Val Presena (nel Trentino Alto-Adige). Le cime più importanti superiori ai 3500 m sono: Cima Presanella (3557 m), Monte Adamello (3539 m) e Monte Carè Alto (3463 m). Tra questi rilievi rimangono racchiusi più di 100 ghiacciai, che si sviluppano nel settore settentrionale e centrale del gruppo. In Tabella 2.2 vengono sinteticamente descritti i ghiacciai di specifico interesse per il presente studio. La cima del massiccio ospita il complesso glaciale continuo più esteso delle Alpi italiane (Baroni & Carton, 1996), il Ghiacciaio dell'Adamello (n. cat. 608), classificato come ghiacciaio di altopiano di tipo scandinavo (Marson, 1906; S.G.L 1992). La superficie risultava di 18 km² nel 1997 (S.G.L, 1992) e si è poi ridotta a 17,24 km² nel 2003 come riportato da Ranzi *et al.* (2010).

Tabella 2.2 Dati descrittivi relativi ai ghiacciai del Gruppo Adamello-Presanella interessati dal presente lavoro.

NOME GHIACCIAIO	CODICE CATASTO*	DESCRIZIONE	SUPERFICIE (ha)	BACINO IDROGRAFICO
Gh. Adamello (Pian di Neve)	608 I-4L01024-06 581	Altopiano, tipo scandinavo	427** 1724 ^a 105**	Poja-Oglio-PO
Gh. del Venerocolo	I-4L01028-11 639	Alpino	125 1193**	Sarca-PO
Gh. Mandrone	I-4L01011-15 678	Alpino	1338 ^a 392,2**	Sarca-PO
Gh. della Presanella	I-4L001024-13	Alpino**	289***	Noce-ADIGE
Gh. del Presena Occidentale	684 I-4L001024-18	Pirenaico	82** 34***	Noce-ADIGE

*Il primo è il codice dato dal CGI-CNR, 1959-62; il secondo dal WGI-*World Glacier Inventory (World Glacier Monitoring Service, 1989)*; **CGI-CNR, 1959-62; ***Dati estensione ghiacciaio da Provincia autonoma di Trento, 2003; ^aRanzi *et al.*, 2010.

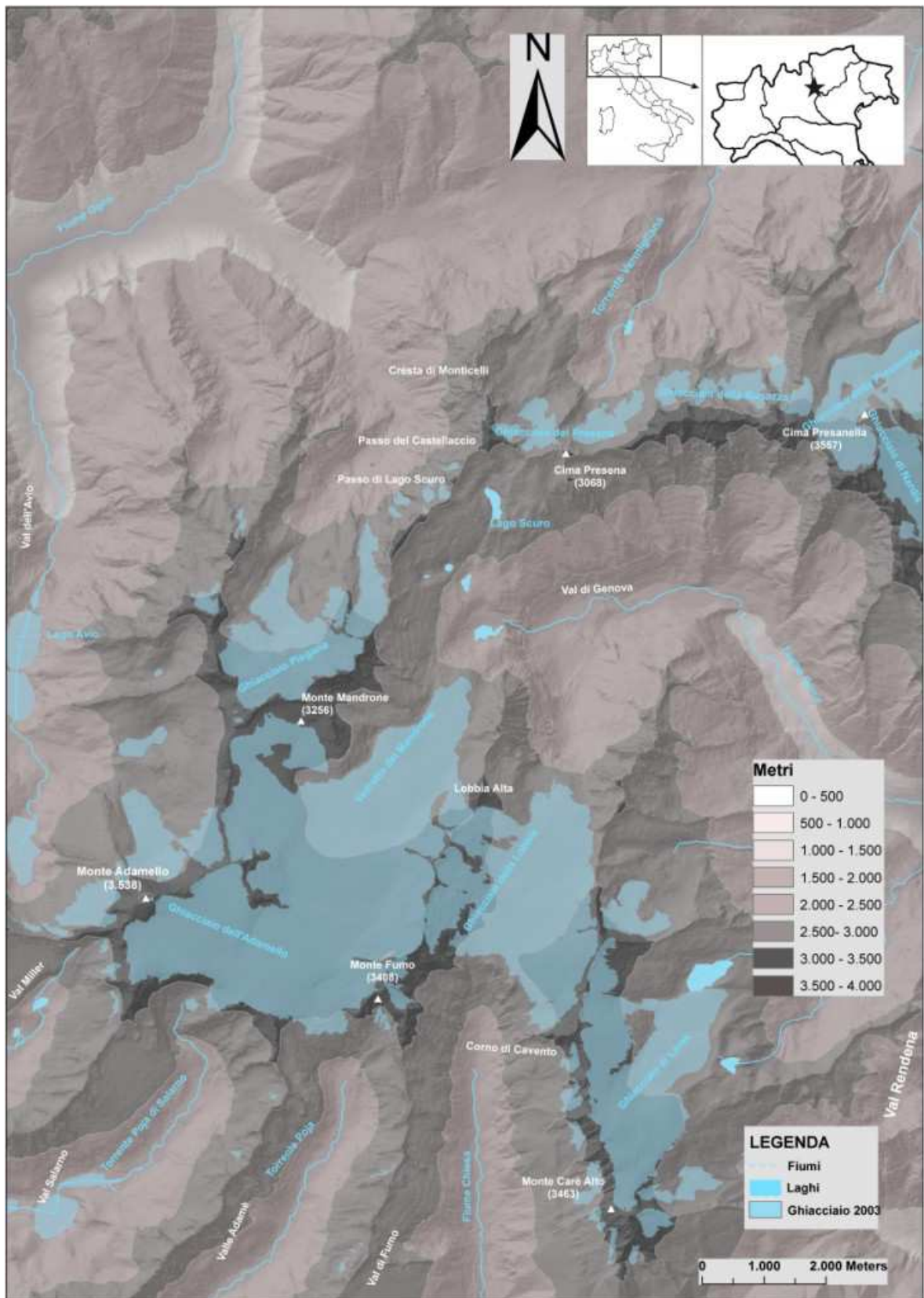


Fig. 2.6 Figura di inquadramento Adamello-Presanella. Ancora da fare

Dalla zona centrale pianeggiante, o Pian di Neve, si dipartono a raggiera numerose lingue glaciali che vengono considerate corpi glaciali autonomi secondo il Catasto dei Ghiacciai Italiani (Ghiacciaio del Mandrone, n. cat. 639; Ghiacciaio Salarno, n. cat. 604; Ghiacciaio del Corno di Salarno, n. cat. 604; Ghiacciaio del Miller Superiore, n. cat. 600; Ghiacciaio dell'Adamè). Il Ghiacciaio del Mandrone costituisce l'unità idrografica principale, che alimenta il Fiume Sarca di Genova: nel 2003 la sua superficie misurava 13,38 km² (Ranzi *et al.*, 2010). Degno di nota nel settore nord-est del gruppo il Ghiacciaio della Presanella (n. cat. 678) tra i più importanti per estensione ed uno dei più vasti del Trentino, che si sviluppa sul versante settentrionale dell'omonima cima. È costituito da due bacini di alimentazione principali, uniti in una singola lingua che si spinge verso valle fino a una quota inferiore a 2500 m.

Il più grande complesso igneo intrusivo di età alpina delle Alpi, caratterizza la struttura geologica del massiccio dell'Adamello-Presanella considerato un batolite, per la vastità dell'area di affioramento dei litotipi magmatici, intorno a 670 km² (Callegari, 1983- 1985, Callegari & Brack, 2002). L'assetto geologico - strutturale del Gruppo è sintetizzato nella Fig. 2.7, schema estratto dalla carta geologica del gruppo Adamello - Presanella alla scala di 1:50.000 di Callegari *et al.*, 1998.

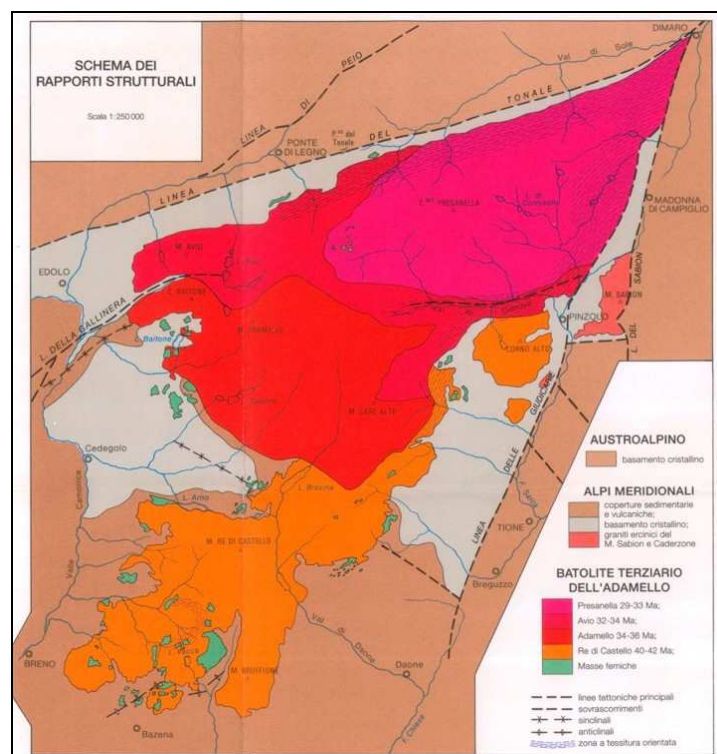


Fig. 2.7 Rapporti strutturali del Massiccio dell'Adamello - Presanella schematizzati alla scala 1:250.000 (da Callegari *et al.*, 1998).

La messa in posto della massa magmatica è avvenuta in vari momenti dell'orogenesi alpina, in un arco di tempo che va dall'Eocene superiore all'Oligocene medio (età radiometrica dei litotipi da 42 a 29Ma; Mayer *et al.*, 2003), ed ha interessato un cuneo di crosta continentale, strutturalmente delimitato a nord dalla Linea del Tonale e a sud-est dalla Linea delle Giudicarie. Le due strutture tettoniche appartengono al lineamento

Insubrico o Periadriatico di età oligocenica, che divide il dominio Subalpino a sud da quello Austroalpino a nord.

La composizione del plutone dell'Adamello è essenzialmente tonalitico-granodioritica, con corpi gabbrici e dioritici localmente presenti. Le diverse intrusioni succedutesi durante l'orogenesi alpina, vengono distinte in 4 Unità principali (Callegari, 1983), la cui composizione varia dalle granodioriti alle tonaliti, sino alle quarzodioriti: Plutone di Monte Re di Castello-Corno Alto (42-40 Ma), Plutone centrale dell'Adamello (36-34 Ma), Plutone di Avio (34-32 Ma), Plutone della Presanella Centrale (33-29 Ma). La Fig. 2.7 evidenzia inoltre l'intera intrusione della porzione settentrionale del batolite nel basamento cristallino pre-Permiano delle Alpi Meridionali (scisti di Edolo, gneiss, micascisti e filladi paleozoici). La porzione meridionale è intrusa nella successione Permo-Mesozoica dello stesso dominio strutturale (Callegari, 1983; Callegari & Brack, 2002). La massa magmatica, inizialmente iniettata in profondità, è stata successivamente esposta all'azione delle forze erosive che, asportando gran parte delle coperture sedimentarie (rocce arenacee e carbonatiche permo-triassiche), hanno portato alla luce le rocce intrusive che caratterizzano il massiccio. Dal punto di vista litologico in Fig. 2.8 si distinguono diversi litotipi quali: quarzo dioriti biotitiche, orneblenditi, gabbri, dioriti affioranti ai margini del plutone. In superficie, i litotipi più estesi sono tonaliti e quarzodioriti.

Ai margini del plutone è presente un'aureola metamorfica di contatto, contraddistinta da numerosi minerali caratteristici (Salomon, 1908-1910). Ampiamente diffusi sono anche i filoni aplitici e pegmatitici che attraversano le formazioni incassanti e non mancano i filoni basici.

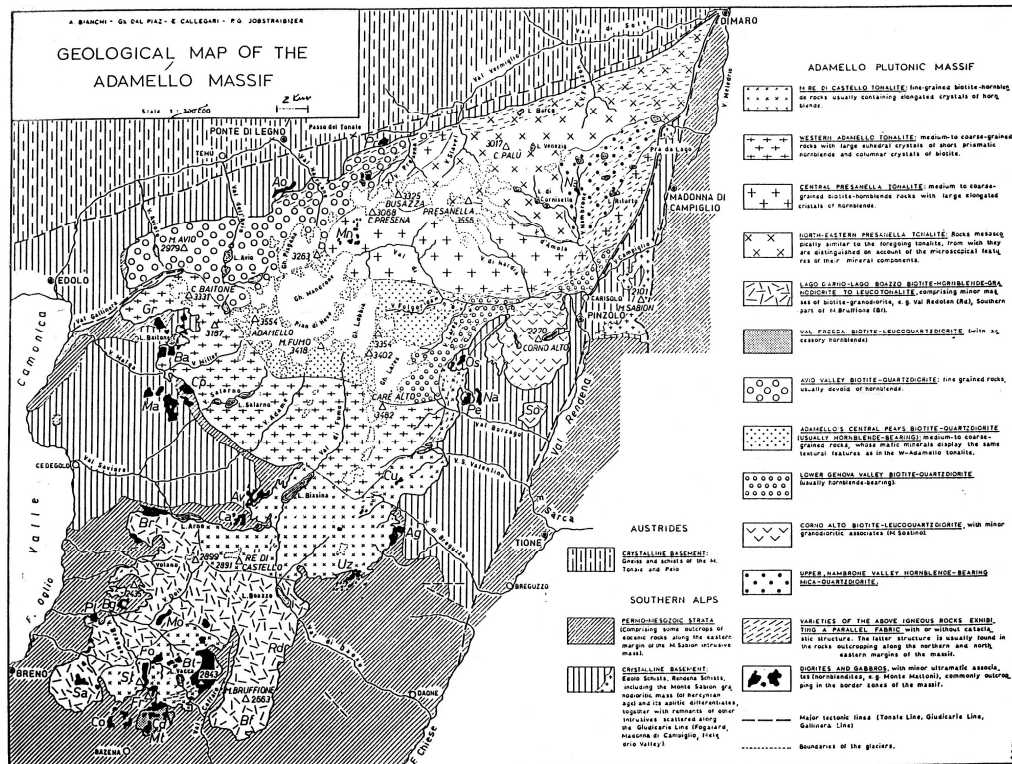


Fig. 2.8 Schizzo geologico 1:200.000 con differenziati i litotipi fondamentali del plutone dell'Adamello (da Bianchi *et al.*, 1970).

La morfologia del massiccio è direttamente connessa al glacialismo. Sono evidenti i caratteri tipici di un paesaggio di alta montagna, con profonde valli glaciali che nella parte superiore presentano ampi circhi glaciali, addossati a creste aguzze e cime piramidali, alcuni dei quali sono occupati da ghiacciai o nevai ed altri presentano tracce dell'intensa attività deposizionale di ghiacciai estinti. Nella parte media si susseguono spesso, in alternanza, conche di sovra escavazione e gradini di valle che fanno da raccordo alla parte inferiore, caratterizzata da morfologia più spiccatamente fluviale. Questo contrasto è particolarmente evidente alla periferia del batolite, al passaggio litologico fra le rocce tonalitiche della parte alta e gli scisti cristallini in cui si sviluppa la parte inferiore delle valli (Dal Piaz *et al.*, 2008). Insolite ma ben conservate sono le *trimline* risalenti sia all'Ultimo Massimo Glaciale (LGM, *Last Glacial Maximum*) che alla Piccola Era Glaciale (PEG o LIA, *Little Ice Age*) (Baroni *et al.*, 2004). Depositi glaciali delle principali fasi tardo-glaciali (Castiglioni, 1961) e della PEG, ritrovati a varia altitudine, caratterizzano tutte le valli (Baroni *et al.*, 2004). Le morene più recenti laterali e terminale (LIA) si trovano in prossimità di ghiacciai esistenti o recentemente estinti (Baroni *et al.*, 2004). Oltre al glacialismo, i processi erosivi e deposizionali per l'azione dell'acqua e della gravità hanno generato forre, piane alluvionali, conoidi di deiezione frane e falde detritiche.

Sul materiale morenico tonalitico – granodioritico, si sviluppano suoli acidi poco sviluppati, dal profilo AC o AR (Mirabella e Sartori, 1998). Secondo Sartori *et al.* (2005) e Egli *et al.* (2002) i suoli in questa regione montana variano, utilizzando la codifica del WRB (*World Reference Base for Soil Resources*, 2006) da Leptosol Umbric a Podzol Haplic. (utilizzando la classificazione del WRB,).

2.3 - GRUPPO MONTUOSO DELL'ORTLES-CEVEDALE

Il Gruppo dell'Ortles-Cevedale è anch'esso situato nelle Alpi Retiche Meridionali (46°15'-46°40'N e 10°22'-11°09'E) tra Trentino-Alto Adige (Provincia di Trento e Bolzano) e Lombardia (Provincia di Sondrio). Il massiccio occupa un'area molto estesa di cui 68 km² all'interno del Parco Nazionale dello Stelvio. Presenta una forma ad arco molto pronunciata in direzione NO-SE (Fig. 2.9) ed è delimitato a nord-nord ovest dal Passo dello Stelvio e dalla Valle Trafoi e del Braulio, che lo dividono dalle *Mustair Alpen* o Alpi di Val Monastero; mentre a nord-nord est si apre in un ventaglio di catene secondarie che dominano la Val Venosta. A ovest, la Valtellina lo separa da altri massicci montuosi delle Alpi Retiche tra cui il Bernina. A sud è chiuso dall'alta Val Camonica e dalla Val di Sole, che lo separano dal massiccio Adamello-Presanella. Ad est il limite è costituito dalle Val di Rabbi e Val d' Ultimo unite dal Passo di Rabbi.

Le quote superano i 3500 m ed il gruppo include le vette più alte della regione Trentino-Alto Adige: Ortles (3899 m), Gran Zebrù (3859 m); Monte Cevedale (3769 m); Monte Zebrù (3735 m); Monte Vioz (3645 m); Palon della Mare (3705 m). Lungo la linea di cresta del massiccio corre lo spartiacque tra il bacino del Po e quello dell'Adige.

Il massiccio ospita al suo interno il Ghiacciaio dei Forni, il ghiacciaio vallivo (CGI-CNR, 1959-1961) più grande e lungo delle Alpi Italiane (estensione 12 km², lunghezza 4,7 km) (Regione Lombardia, 2003) e numerosi altri ghiacciai. In sintesi (Tabella 2.3) vengono riportati alcuni dei dati descrittivi dei ghiacciai che sono stati interessati dal presente studio e che si sviluppano nel settore meridionale del gruppo montuoso in esame.

Tabella 2.3 Dati descrittivi relativi ai ghiacciai del Gruppo Ortles-Cevedale interessati dal presente lavoro.

NOME GHIACCIAIO	CODICE CATASTO*	DESCRIZIONE	SUPERFICIE (ha)	BACINO IDROGRAFICO
	512		215**	Gavia, Frodolfo,
Gh. Dosegù	I-4L01137-31	Alpino	219 ^a	Adda-PO
	507	Himalaiano (alpino	2000**	
Gh. dei Forni (del Forno)	I-4L01137-24	con 3 confluenze)	1200 ^a	Frodolfo, Adda-PO
	516		28,5**	Gavia, Frodolfo, Adda-
Gh. della Sforzellina	I-4L01137-36	Pirenaico (circo)	30 ^a	PO

*Il primo è il codice dato dal CGI-CNR, 1959-62; il secondo dal WGI-*World Glacier Inventory* (*World Glacier Monitoring Service*, 1989); **CGI-CNR, 1959-62; ^aDati estensione ghiacciaio da Regione Lombardia, 2003.

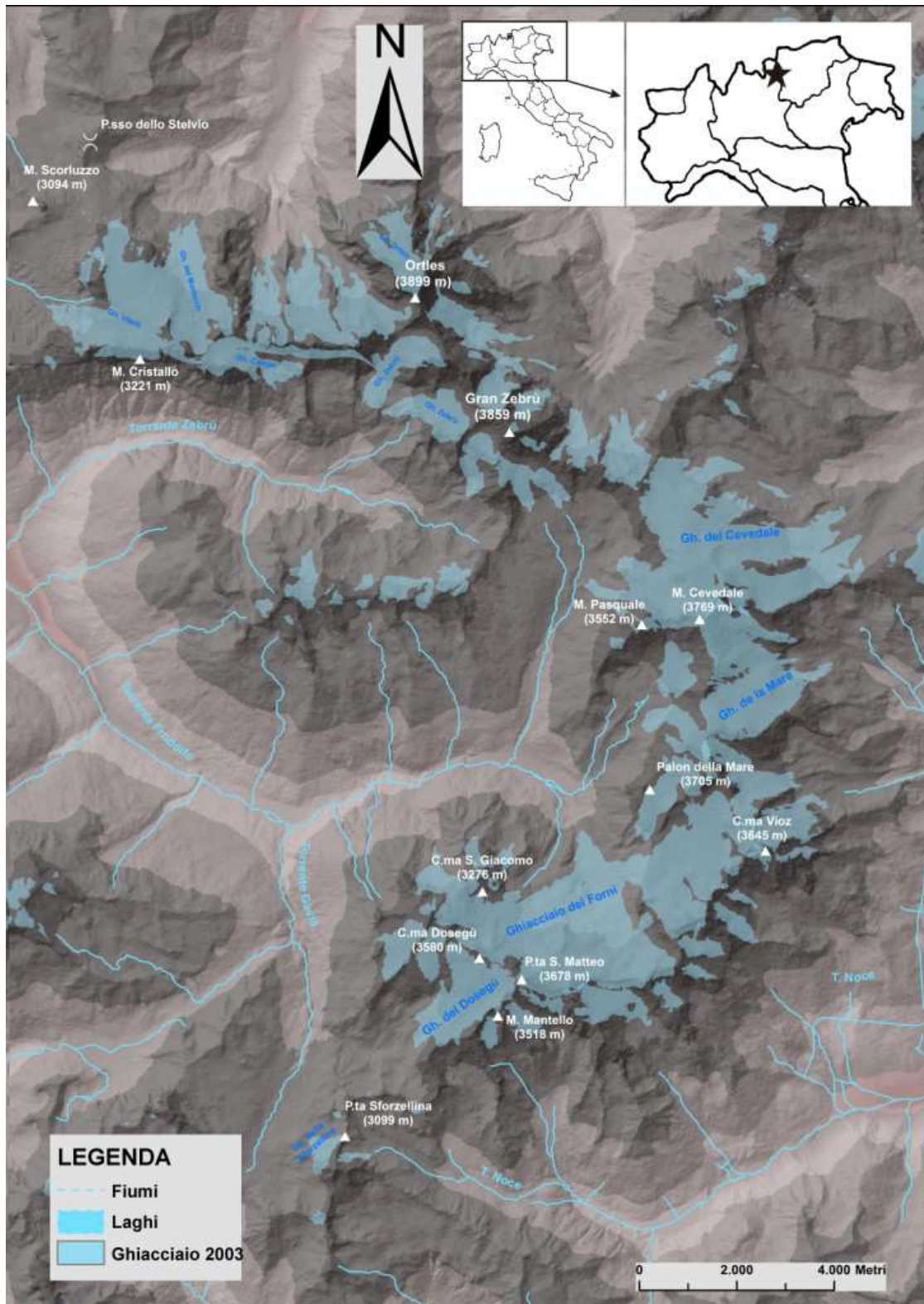


Fig. 2.9 Figura di inquadramento Ortles. Ancora da fare

Il gruppo montuoso dell'Ortles – Cevedale è geologicamente delimitato a sud dalla Linea Insubrica, frattura che attraversa tutto l'arco alpino e che separa in direzione est-ovest (Chiesa *et al.*, 2010), in modo netto, due unità geologicamente molto diverse: le Alpi Settentrionali e quelle Meridionali (schema strutturale riportato in Fig. 2. 10).

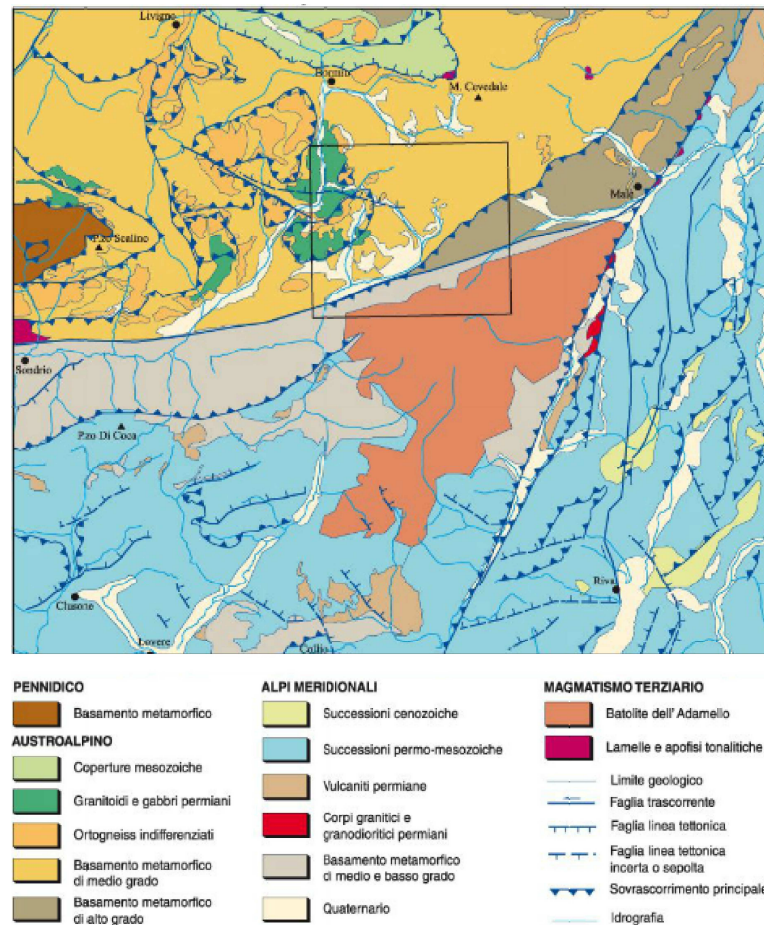


Fig. 2. 10 Schema strutturale dell'Ortles-Cevedale, da Foglio 041 "Ponte di Legno" 1:50.000.

Il massiccio in esame appartiene al Dominio Austroalpino e la Linea del Tonale (denominazione locale della Linea Insubrica) a sud lo separa dal Dominio Subalpino e dal Batolite dell'Adamello. Il Dominio Austroalpino viene poi suddiviso in tre unità: Inferiore, Medio e Superiore (considerando la classificazione tettonico-stratigrafica effettuata da Staub (1924-1964) in primis e da Chiesa *et al.* (2010) poi. In particolare l'area che comprende il massiccio montuoso dell'Ortles-Cevedale appartiene al Dominio Austroalpino Medio e Superiore. L'Austroalpino è caratterizzato da una netta prevalenza di rocce scisto cristalline e da un assetto strutturale complesso con presenza di falde tettoniche, pieghe e sovrascorrimenti. Orientate secondo direzioni che variano EW a NE-SW. La più importante è la linea di Pejo lungo cui è avvenuto il sovrascorrimento della falda del Tonale su quella dell'Ortles.

L'area è descritta nel Foglio 09 "M. Cevedale" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000. In Fig. 2.11 è presente uno stralcio, dal Foglio 09, del settore meridionale del gruppo montuoso a sud del Monte Cevedale, in cui è compresa la zona di nostro specifico interesse, tra il Passo di Gavia e Palon della Mare - M.Vioz. In questa sede descriveremo esclusivamente il basamento metamorfico pre-Permiano che caratterizza il settore indagato, appartenente alla Falda Ortles-Campo e facendo riferimento inoltre alle note

illustrative del Foglio 041 “Ponte di Legno” scala di 1:50.000 del Progetto CARG³ (Chiesa *et al.*, 2010). L’area è costituita prevalentemente da filladi, micascisti, paragneiss e localmente ortogneiss. Si evidenziano intercalazioni di quarziti e quarzoscisti entro paragneiss e micascisti. Materiale più giovane (Permiano-Terziario) sono rappresentati da filoni andesitici e filoni basici. Abbondanti sono nell’area le coperture di depositi detritici quaternari, per lo più di origine glaciale testimoni delle ultime glaciazioni.

Infatti le forme del paesaggio sono state e sono ancora legate al glacialismo quaternario ed alla sua azione morfogenica che modella i pendii e scava le caratteristiche valli a U, irradianti simmetricamente in varie direzioni. Numerosi e ben evidenti sono i cordoni morenici sia laterali che frontali che latero-frontali presenti alle testate delle valli glaciali e risalenti anche alla Piccola Età Glaciale. Laghetti alpini e le pozze d’acqua al limite della copertura detritica, sono anch’essi ascrivibili all’azione dei ghiacciai. Contribuiscono a modellare il paesaggio processi gravitativi, legati alle acque e crionivali che portano alla degradazione dei versanti e quindi alla presenza di estese falde di detrito.

I suoli nelle aree di alta quota sono classificati, come riportato nella carta pedologica della Lombardia (Brenna, 2001) come Podzol, Umbrisol e Leptosol (classificazione dal WRB, 2006).

³ Il settore Nord del gruppo è descritto nel Foglio 024 “Bormio” (1:50.000 del Progetto CARG) che non prenderemo in considerazione.

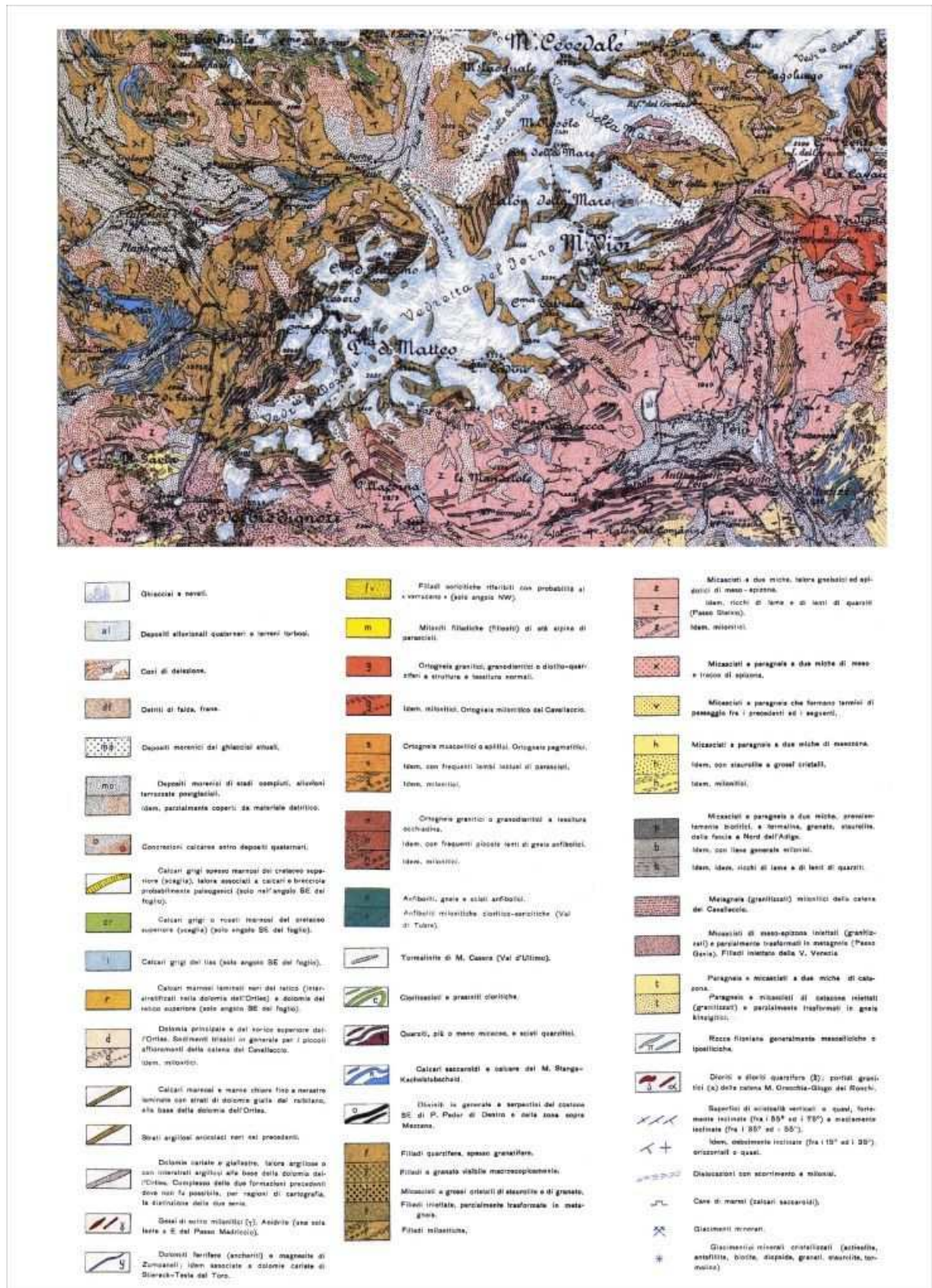


Fig. 2.11 Stralcio dell'area indagata dalla carta geologica Foglio 09 "M. Cevedale" 1:100.000.

Parte 1

***RAPPRESENTAZIONE CARTOGRAFICA E
RICOSTRUZIONE STORICA
DELLA PRESENZA BELLICA NELL'AREA***

3. MATERIALI E METODI

Il processo di indagine finalizzato all'elaborazioni e quindi alla produzione cartografica di tematismi relativi alla presenza bellica nelle aree indagate, si è articolato in diverse fasi successive interconnesse: consultazione e recupero di fonti storiche e storico-geografiche acquisizione e trattamento dei dati e interpretazione ed elaborazione degli stessi.

Il lavoro di acquisizione ed elaborazione della documentazione e infine della rappresentazione cartografica è stato eseguito in ambiente GIS (acronimo inglese *Geographic Information Systems*; in italiano SIT, Sistema Informativo Territoriale). Un sistema informativo geografico può essere definito come un sistema informatizzato che consente l'acquisizione, la modellazione, la conservazione, il recupero, la condivisione, la manipolazione, l'analisi e la presentazione di dati georeferenziati (Worboys e Duckham, 2004). Mediante il GIS è possibile manipolare grandi quantità di informazioni che possiedano una collocazione geografiche, di qualsiasi natura ed origine, comprese quelle storico-militari, come nel nostro caso. Una delle caratteristiche peculiari che distingue un software GIS da altri software grafici è proprio la capacità di utilizzare in modo integrato dati geografici e dati alfanumerici, lavorando con *database* spaziali sui quali effettuare analisi di vario tipo e complessità, poiché a ciascuno degli oggetti geografici presenti nel *database* possono essere associati dati descrittivi (attributi).

La creazione di un *database* storico-geografico multimediale georeferenziato, che rappresenta la base informativa indispensabile per la restituzione grafica degli specifici tematismi, nel nostro caso le carte storico-militari, è stata la parte più consistente del lavoro di organizzazione e sviluppo del GIS.

3.1- RACCOLTA DATI

La prima fase di lavoro è stata quindi finalizzata al recupero e alla raccolta dei dati. Le informazioni sono derivate sia da fonti scritte che da documenti cartografici storico-militari.

Numerosa e diversificata è la bibliografia storica dedicata al Primo Conflitto Mondiale. Per le nostre elaborazioni è stato necessario selezionare e consultare la storiografia di settore (monografie, diari storici ma anche raccolte fotografiche) che, in maniera sintetica ed efficace, ricostruiva gli eventi bellici relazionandoli con il territorio in esame. Di nostro particolare interesse è stata la storiografia contenente schizzi e carte storiche. Dalla lettura di questo materiale è stato possibile definire quali relazioni intercorressero tra le vicende belliche e le località alpine glacializzate. Sono state ottenute informazioni sulla diversa importanza dei tre settori del fronte montano, sulle località più rilevanti dal punto di vista degli scenari bellici, sugli insediamenti militari più sviluppati. Questa fase è stata fondamentale quindi per ottenere un quadro storico-geografico complessivo. Tutte le informazioni recuperate sono state in seguito inserite, in quanto dati, nel *database* storico-geografico (§ 4.1).

L'esame di questi scritti ha permesso di indirizzare la successiva fase di ricerca e recupero di documenti cartografici storico-militari (o di altro materiale iconografico che potesse rappresentare una fonte documentaria) relative alle aree montuose interessate dall'evento

bellico, attraverso la consultazione di alcuni degli archivi storici di settore del territorio nazionale. In particolare, sono stati consultati: l'archivio dello Stato Maggiore dell'Esercito di Roma; il Museo del Risorgimento di Milano; l'Associazione Nazionale Alpini di Milano; il Museo della Guerra di Rovereto (TR) e il Museo della Guerra di Pejo (TR).

Come era facile attendersi, il patrimonio documentario riguardante il primo conflitto mondiale è vastissimo e allo stesso tempo molto disperso. Il settore del fronte di cui ci siamo occupati è stato un settore, per alcuni aspetti, di importanza strategica minore rispetto agli altri, sebbene il più spettacolare e suggestivo. Questo aspetto ha indubbiamente complicato la nostra ricerca. Inoltre non è sempre stato possibile acquisire i documenti attraverso l'impiego di scanner. Per queste ragioni la digitalizzazione dei documenti è avvenuta prevalentemente attraverso fotocamera digitale (formato *.jpg). In Fig. 3.1 è possibile visionare alcuni esempi di carte storico-militari utilizzate per le elaborazioni successive.

Ogni documento è stato archiviato attraverso l'attribuzione di un'apposita sigla alfanumerica (x_y_n), che comprende: (x) le iniziali del gruppo montuoso di appartenenza (A = Adamello-Presanella; M = Marmolada; O =Ortles-Cevedale); (y) il tipo di documento (F = Foto, C = Carta, S = Schizzo); (n) un numero progressivo.

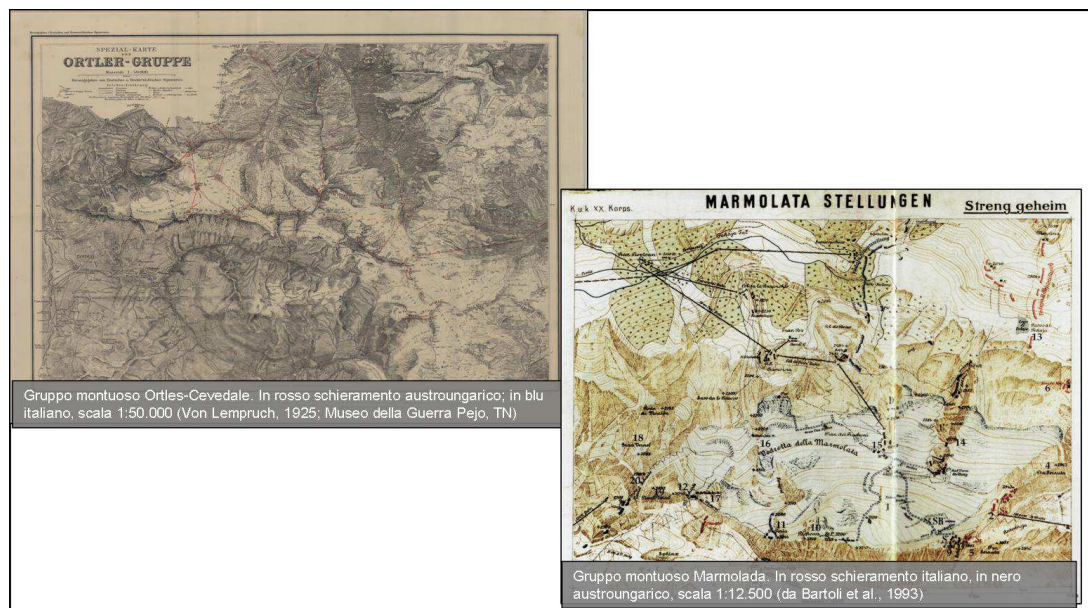


Fig. 3.1 Esempi di carte storico-militari recuperate e utilizzate per le successive elaborazioni

3.2 - ACQUISIZIONE E TRATTAMENTO DATI

I dati raccolti sono stati quindi acquisiti attraverso la creazione di un archivio digitale ed in seguito elaborati. Per effettuare le elaborazioni è stato creato un progetto in ambiente GIS distinto per ogni gruppo montuoso considerato, orientato nel sistema di riferimento nazionale Gauss Boaga, fuso Ovest (Roma Monte Mario).

Nel presente lavoro è stato utilizzato il software ESRI ArcGIS 10©, una *suite* di applicazioni integrate composta da: ArcCatalog, ArcMap; ArcGlobe; ArcToolbox; ModelBuilder. Tramite queste applicazioni ed interfacce è stato possibile effettuare tutte le applicazioni proprie di un GIS.

Come base digitale cartografica del nostro sistema informativo è stata utilizzata la cartografia tecnica regionale delle Regioni Lombardia e Veneto (CRT 1:10.000) e la cartografia tecnica provinciale della Provincia autonoma di Trento (CTP 1:10.000) in formato raster (*.tif). I dati raster sono stati acquisiti attraverso il portale del servizio cartografico delle Regioni e Province autonome, messi a disposizione per gli utenti, a cui si rimanda per i dettagli tecnici del materiale cartografico utilizzato¹. I *database* regionali e provinciali forniscono una notevole quantità di informazioni specifiche. Ai fini di questo lavoro sono stati inoltre recuperati i dati vettoriali, in formati *shapefile* puntuale, lineare e poligonale, contenenti informazioni topografiche di base e elementi costitutivi del paesaggio naturale (curve di livelli, punti quotati, reticolo idrografico, estensione dei ghiacciai, limiti amministrativi, ortofoto). Questo materiale è stato inserito a seconda del gruppo montuoso nel relativo progetto.

Per il massiccio dell'Adamello-Presanella e per l'Ortles-Cevedale è stata creata una carta derivata dall'unione delle carte tecniche regionali della Lombardia e della Provincia Autonoma di Trento, poiché i gruppi montuosi risultano appartenenti ad entrambi i territori. In corrispondenza delle zone di confine la cartografia della Lombardia e del Trentino risulta in parziale sovrapposizione. In questo caso per ottenere una base topografica meglio definita è stato opportuno estrarre la porzione di territorio in sovrapposizione attraverso una *tool* di *Spatial Analyst (Extraction by Mask)* di ArcToolbox. Per il settore settentrionale del gruppo Ortles-Cevedale, ricadente nei territori della provincia autonoma di Bolzano è stata invece utilizzata la cartografia (tavole IGM al 1:25.000) acquisita attraverso i servizi WMS del Portale Cartografico Italiano (www.pcn.minambiente.it).

La base cartografica elaborata a partire dall'interpolazione dei dati vettoriali (curve di livello e punti quotati delle Regioni e Province autonome interessate, selezionati per l'area specifica) ha permesso di creare il DTM (*Digital Terrain Model*). La rappresentazione della distribuzione delle quote della superficie del suolo terrestre in formato digitale è stata modellata attraverso la costruzione di un modello vettoriale della superficie, il TIN (*Triangular Irregular Network*), costituito da una rete di triangoli irregolari che hanno come vertici tre punti quotati. Il modello di rappresentazione della superficie è stato poi rasterizzato ottenendo il GRID, con una risoluzione di 10 m. Attraverso la *tool* di

¹ www.cartografia.regione.lombardia.it; www.idt.regione.veneto.it; www.territorio.provincia.tn.it

ArcToolbox (*3D ANALYST Surface analysis – Hillshade*) è stato creato il modello *shadow* (ombreggiatura).

La cartografia storica recuperata, e ritenuta più completa e rappresentativa per i nostri scopi, è stata quindi adattata alla base cartografica. Attraverso il *tool* del programma *ArcMap* è stata georeferenziata (Fig. 3.2), assegnando dei punti comuni certi tra la cartografia storica e la base topografica e quindi rettificata (*Rectify*).

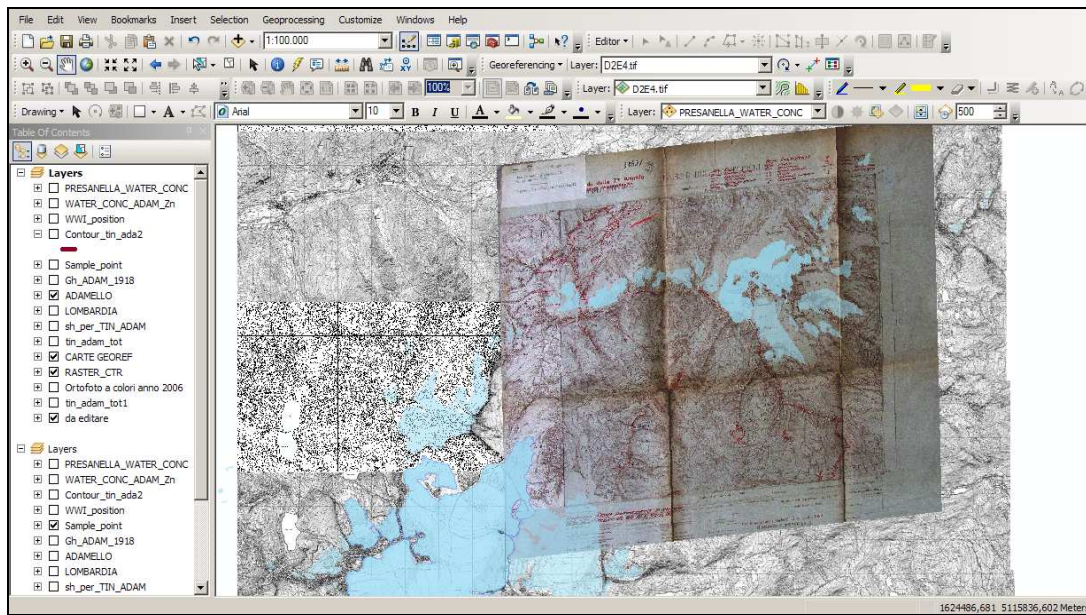
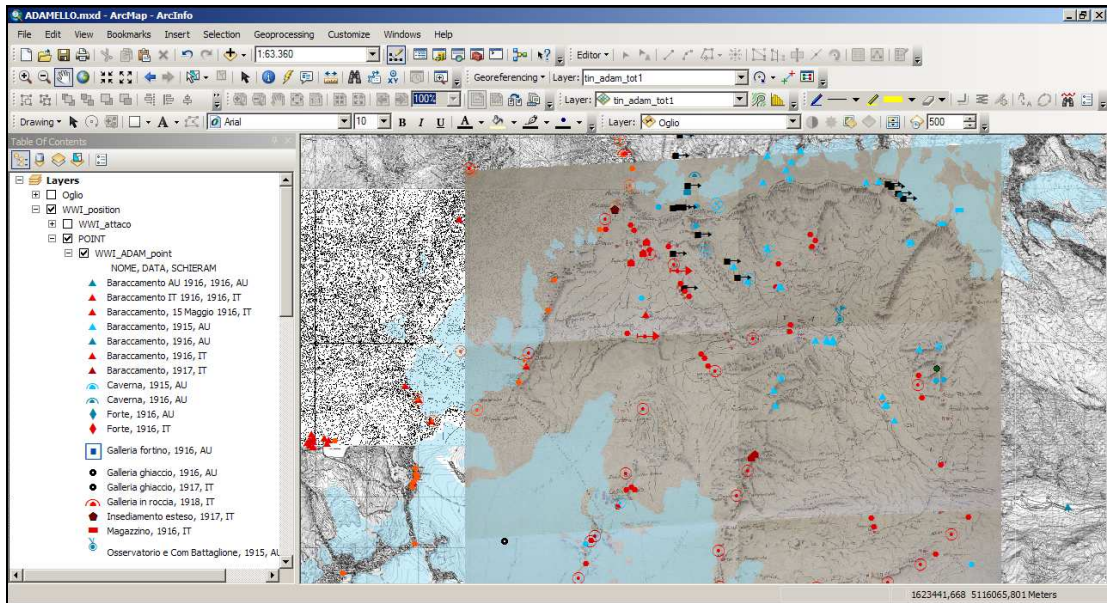


Fig. 3.2 Esempio di georeferenziazione su CTR 1:10.000 della carta storica 1:25.000 Passo dei Monticelli (A_C_8), recuperata presso il Museo del Risorgimento di Milano.

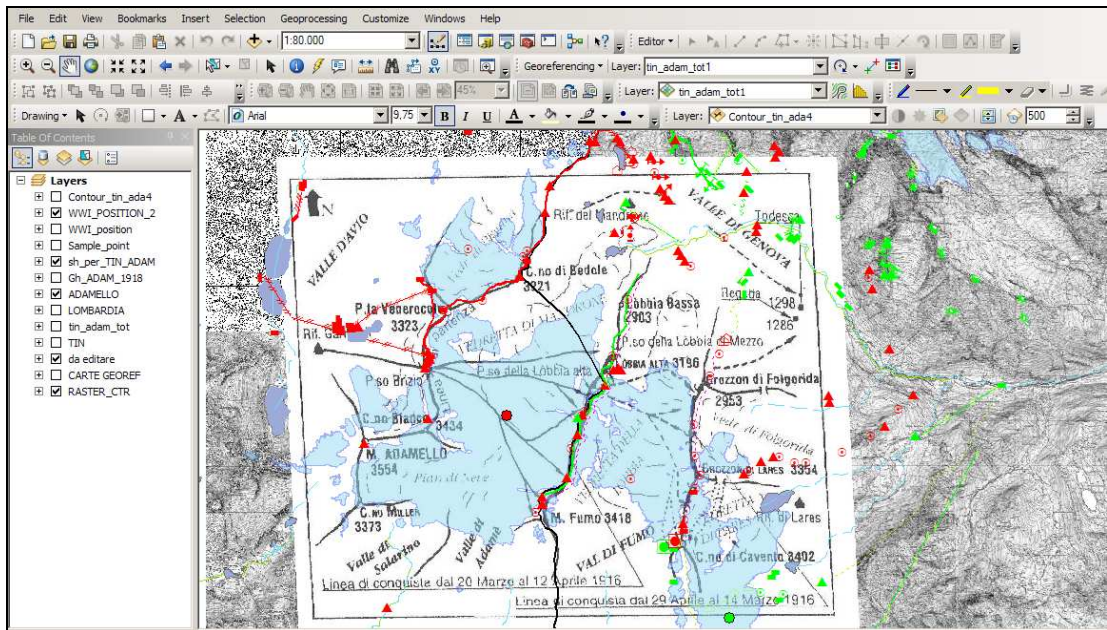
Molte delle carte storiche selezionate possiedono un buon dettaglio e questo ci ha permesso di effettuare una georeferenziazione di qualità discreta, grazie ad un numero di punti di controllo abbastanza buono (data la zona montuosa, abbiamo scelto in genere cime e creste ben evidenziate in carta). Ovviamente, pur tenendo conto di un errore quadratico metrico (RMS) non trascurabile, la sovrapposizione della vecchia cartografia sulla nuova, rimane comunque un'approssimazione accettabile per quelli che sono stati i nostri scopi. L'imprecisione dovuta alla sovrapposizione di carte storiche su basi cartografiche recenti realizzate su base aero-fotogrammetrica, porta ad effettuare molte mediazioni. La non esatta sovrapposizione è un problema difficile da risolvere, che va considerato per una corretta lettura e interpretazione degli elementi topografici (Baiocchi e Lelo, 2002). Talvolta per mediare alla non perfetta sovrapposizione, le carte storiche, sono state divise in sezioni di più limitata estensione e georeferenziate separatamente.

Sulle carte storiche georiferite è stato quindi eseguito l'*editing* dei dati geografico-militari presenti in carta. Gli oggetti bellici selezionati in carta sono stati acquisiti come dati vettoriali (puntuali e lineari) e inseriti nei *layer* del rispettivo progetto GIS (Fig. 3.3 a). Ad ogni punto sono stati associati specifici attributi. In maniera analoga sono stati acquisiti ed elaborati anche gli schizzi recuperati dalla bibliografia storica (Fig. 3.3 b)

I dati estrapolati sono stati integrati con le informazioni derivate dalle fonti storiche scritte e questo ha portato alla creazione del *database*, come verrà descritto in dettaglio nel Capitolo 4 (§ 4.1).



(a)



(b)

Fig. 3.3 Fase di acquisizione dati mediante l'editing da: (a) carta storica 1:25.000 zona Adamello-Presanella (A_C_1), recuperata presso il Museo del Risorgimento di Milano; (b) schizzo della zona Adamello-Presanella, con fasi di attacco dello schieramento italiano, estratto da Viazzi e Cavaciocchi, 1996.

4. -RISULTATI

L'obiettivo di questa parte del lavoro è stato quello di sviluppare un *database* storico-geografico (§ 4.1) per la gestione digitale d'informazioni storiche relative ai territori in esame, grazie al quale è stato possibile elaborare i dati acquisiti e produrre delle carte tematiche storico-militari distinte per ciascun gruppo montuoso (§ 4.2), che saranno descritte in relazione al contesto storico in esame.

4.1 - ORGANIZZAZIONE DEI CONTENUTI INFORMATIVI: IL DATABASE STORICO-GEOGRAFICO

Allo scopo di costruire un idoneo modello di organizzazione delle informazioni, utile a gestire tutti i dati disponibili, sono stati realizzati due tipi di livelli informativi, uno puntuale e uno lineare (in formato *shapefile*) distinti per gruppo montuoso.

I requisiti informativi utilizzati per implementare il *database* sono: dati descrittivi geografici (riferiti alla base cartografica) e dati descrittivi più specificatamente storico-militari (derivanti dai due tipi di fonti prima descritte (§ 3.1) ovvero da carte storiche georiferite e storiografia). Nello schema in Fig. 4.1 sono elencati i diversi attributi della banca dati correlata ad ogni *shapefile*, con specifiche relative al tipo di campo (*field*), all'estensione nonché alle caratteristiche dei dati inseriti per alcuni campi. L'identificativo (*primary key*) è rappresentato dal tipo di oggetto bellico esistente nel punto geografico di interesse (campo NOME), distinguendo tra il tipo d'identificativo per *layer* puntuale (NOME_ *point*) e lineare (NOME_ *line*). Nel campo LOCALITA' il punto è orientato nella zona in cui ricade (es. ad ovest e ad est della località più vicina) con il relativo toponimo (campo TOPONIMO) e la quota del punto stesso (campo QUOTA espressa in metri). Il campo ORIENTAMENTO definisce la posizione dell'oggetto militare nello spazio ed è stato utilizzato in particolar modo per postazioni di artiglierie o di mitragliatrice, in modo da specificare la direzione dei tiri quando questa informazione era nota. Inoltre nella tabella degli attributi è specificato il gruppo montuoso di appartenenza (campo GRUPPO_MONTUOSO) e il ghiacciaio (campo GHIACCIAIO) interessato dalla postazione bellica con il relativo codice catasto estratto dal Catasto dei Ghiacciai Italiani (CGI-CNR 1959-1962), inserito nell'apposito N_GHIACCIAIO.

Per quanto concerne le informazioni storiche, differenziate nel riquadro nero in Fig.4.1, sono stati distinti un campo DATA, relativo alla data della carta e/o del periodo a cui risale l'informazione da fonte scritta, e un campo SCHIERAMENTO specificando tra italiano e austroungarico. Nel campo DESCRIZIONE è stata dettagliata l'informazione derivata dalla specifica fonte cartografica, definita nel campo FONTE (sigla sintetica nel § 3.1). Nel campo ARCHIVIO si definisce l'archivio di provenienza di tale fonte cartografica². In fine nei due campi RIFERIMENTO_DESCRIZIONE_e RIFERIMENTO_BIBLIOGRAFICO sono riportati dati derivati da fonti scritte con relativo riferimento bibliografico.

² La relazione ufficiale dell'Esercito Italiano della Grande Guerra edita nel 1927 (EIGG) è stata considerata come archivio, in quanto presenta numerose carte e tavole.

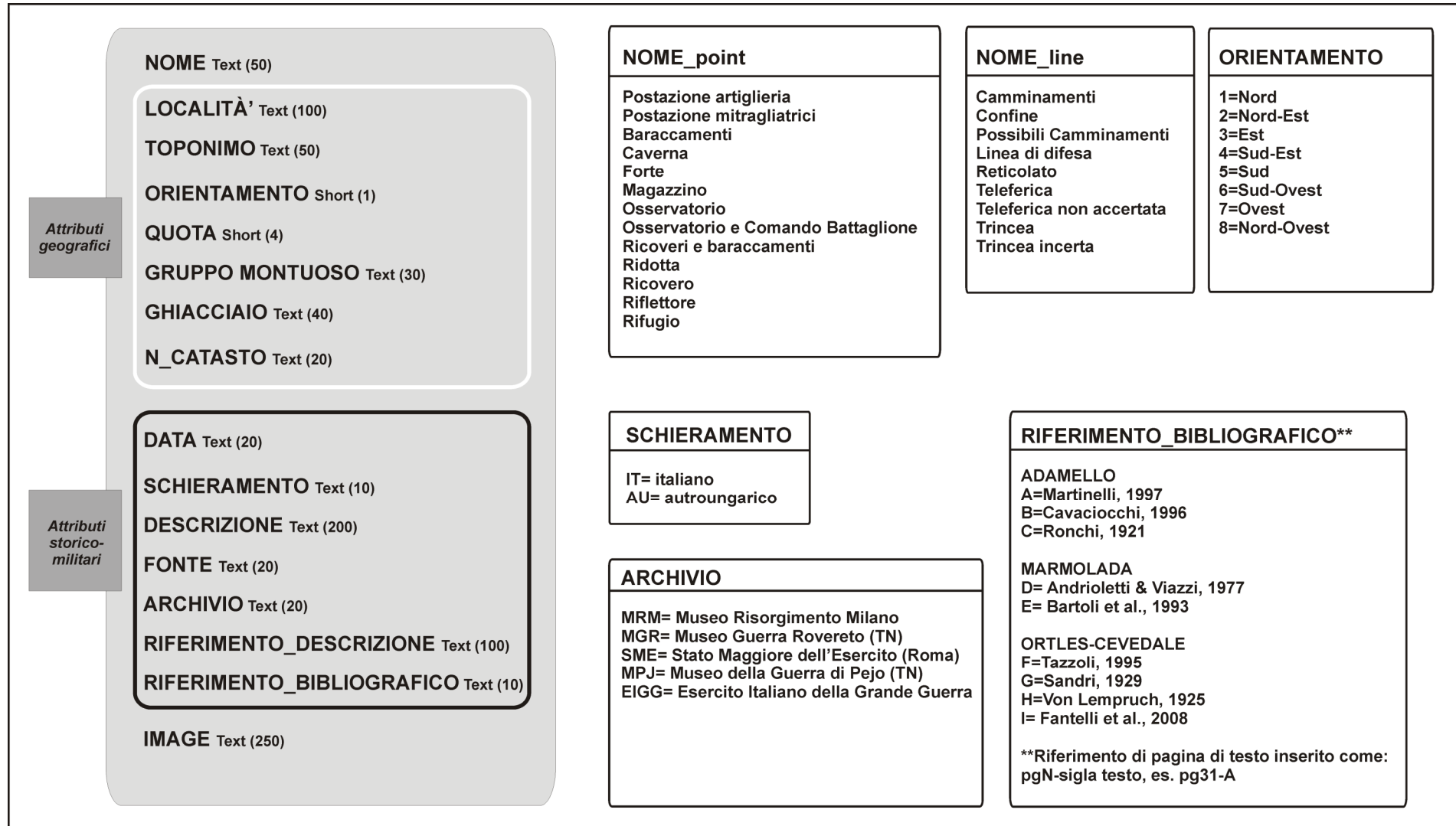


Fig. 4.1 Schema esplicativo della tabella degli attributi associata agli *shapefile* puntuali e lineari, con specifiche sul tipo di campo, estensione e contenuti.

Nello schema di Fig.4.1 sono dettagliate nello specifico, per ogni campo, le diverse abbreviazioni utilizzate per agevolare il lavoro d'implementazione della banca dati. In Fig.4.2 è illustrata la modalità d'implementazione dei dati alfanumerici all'interno del database, distinti secondo del tipo di fonte da cui derivano.

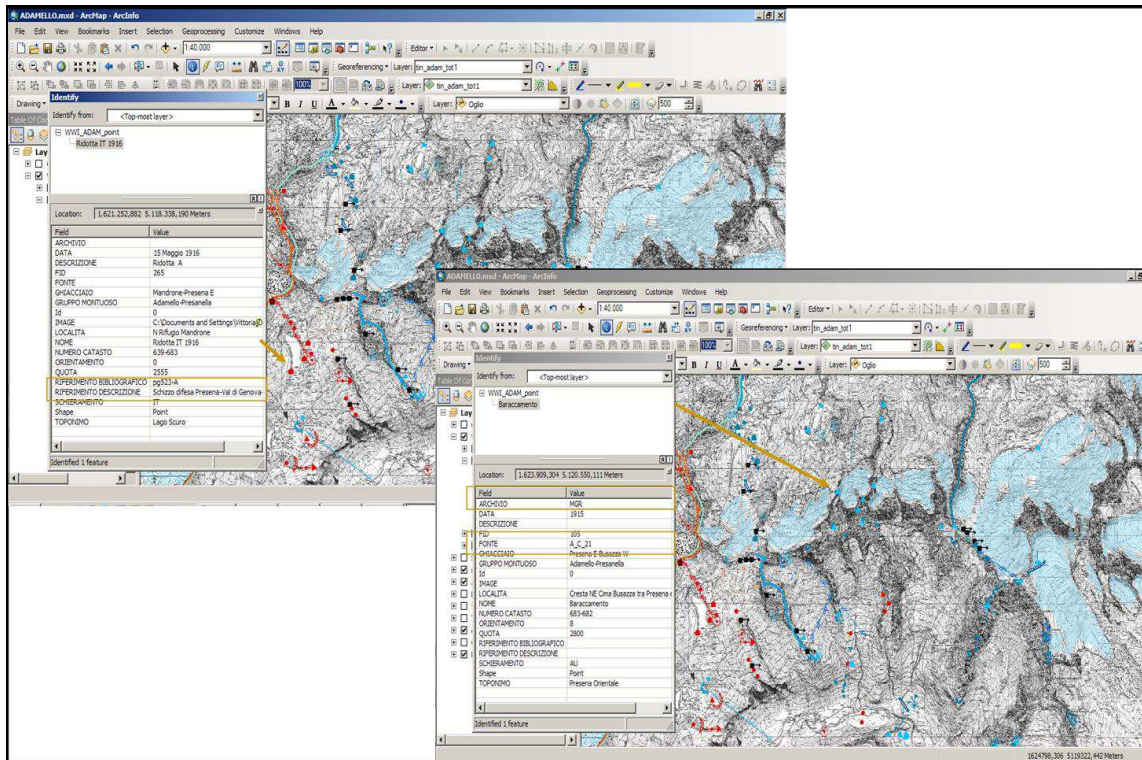


Fig. 4.2 Esempio dei contenuti alfanumerici del database, visualizzati mediante il comando *Identify*; (a) nella schermata in alto, all'interno del riquadro in giallo si evidenzia il dato derivato da fonte scritta; (b) da documento cartografico.

Mediante le funzioni d'interrogazione (*query*), è possibile consultare la nostra banca dati effettuando semplici selezioni di oggetti (Fig. 4.3) secondo criteri spaziali (*Select by Location*) e/o formulando uno o più criteri di ricerca all'interno dei dati inseriti nella tabella degli attributi (*Select by attributes*).

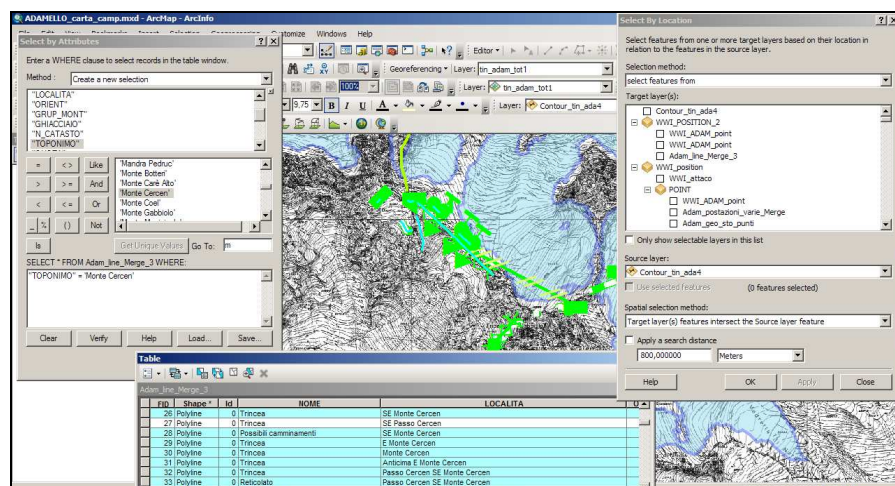


Fig. 4.3 Esempio di selezione all'interno della tabella degli attributi (*Select by attributes*) e secondo criteri spaziali (*Select by Location*).

E' possibile valutare, ad esempio, quali sono stati durante il conflitto i ghiacciai maggiormente occupati o selezionare le armi da fuoco insistenti in una determinata zona o, ancora, valutare gli insediamenti relativi ai diversi schieramenti.

Infine i dati vettoriali sono stati collegati dinamicamente ad altri tipi di dati (fotografie-schizzi storici), a seconda sia dello specifico interesse sia della disponibilità. Mediante il comando *Hyperlink* di *ArcMap*, è possibile attivare le funzioni multimediali che permettono di visualizzare i documenti immagine (in formato *.jpg) associati all'elemento vettoriale, visualizzato sul *Data Display*. Il legame tra l'elemento ed il documento associato è definito da una stringa registrata nel campo IMAGE della tabella degli attributi (Fig. 4.1), che descrive la *path* di registrazione del documento (Fig. 4.4).

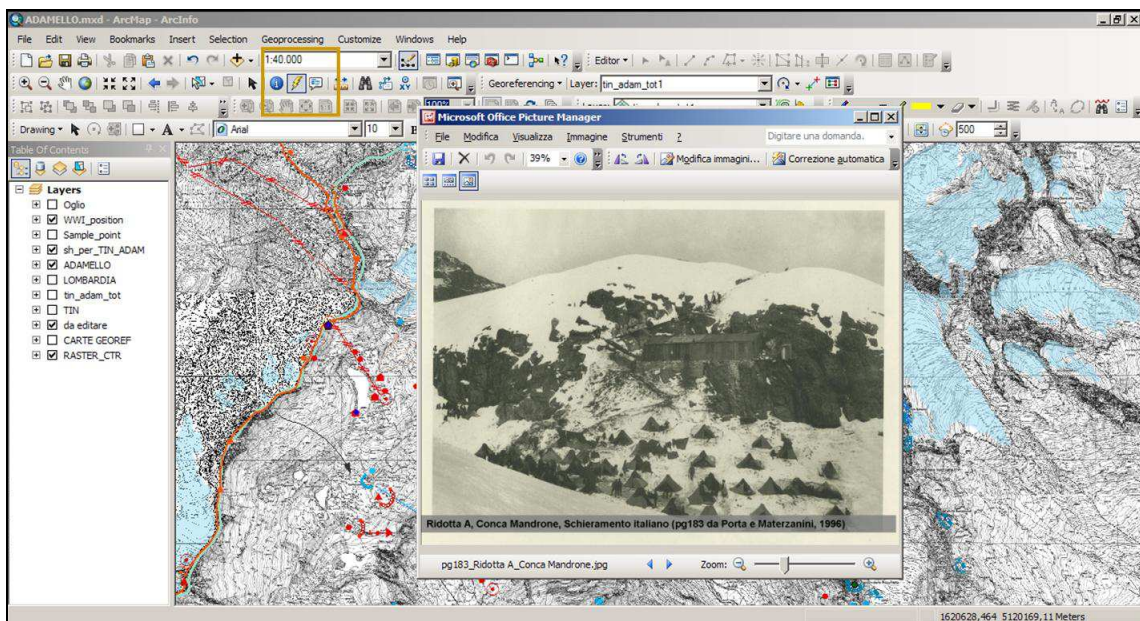


Fig. 4.4 Esempio di collegamento dinamico tramite la funzione *Hyperlink*.

4.2 - RAPPRESENTAZIONE CARTOGRAFICA E CONTESTO STORICO_____

Non vi è l'intenzione di fornire un completo e dettagliato resoconto di tutte le battaglie e le azioni che si sono verificate nelle aree in esame. Tuttavia, è necessario fornire alcune informazioni di base su ciò che è accaduto durante la Prima Guerra Mondiale nei tre settori indagati e citare le azioni salienti che hanno portato alla formazione e lo sviluppo del fronte, riferite in particolar modo alle posizioni occupate limitrofe ai ghiacciai. Questo al fine di inserire nel contesto storico in esame le elaborazioni cartografiche prodotte ed evidenziare in seguito le possibili relazioni esistenti tra i siti oggetto di campionamento e i risultati analitici ottenuti.

Prima di procedere con la descrizione e la discussione dei risultati, sono necessarie alcune precisazioni. Gli schieramenti delle due nazioni belligeranti e le relative postazioni sono distinti in rosso per lo schieramento italiano e in verde per quello austriaco. Il simbolo di rappresentazione scelto per ciascun oggetto bellico visibile in carta, è derivato dalla consultazione delle legende riportati nelle carte storico-militari consultate.

Le estensioni dei ghiacciai fanno riferimento ai dati regionali e/o provinciali, estratti dai relativi portali cartografici, risalenti al 2003 (§ 3.2). In carta sono inoltre definiti (con linea bianca) i limiti glaciali all'incirca a inizio '900 e quindi al tempo del primo conflitto. Questa informazione è stata ottenuta attraverso l'*editing* della cartografia storica consultata.

Per i dettagli geografici non presenti nelle carte tematiche, si rimanda al Capitolo 2 di inquadramento geografico dei tre gruppi montuosi.

4.2.1 – Gruppo montuoso della Marmolada

Dato il carattere di guerra di posizione assunto dall'intero fronte dolomitico, l'importanza strategica della Marmolada, nel quadro generale delle operazioni, fu sempre piuttosto modesta. Era comunque una posizione chiave poichè da un lato sbarrava l'accesso agli Italiani in Val di Fassa (Nord-Ovest) e dall'altro precludeva agli Austriaci l'accesso in Val Cordevole (Nord-Est), impedendo così lo scardinamento delle rispettive linee, sulle Dolomiti (Andreoletti e Viazzi, 1991). Le posizioni dei due eserciti sul Ghiacciaio della Marmolada sono rappresentate in Fig. 4.5.

Fino al 1915, la Marmolada rappresentava il confine di stato tra il Regno d'Italia e l'Impero Austro-Ungarico. Il confine politico³ (linea nera in Fig. 4.5) dalla cresta a sud-ovest del ghiacciaio, Cima Ombrettola (2923 m)-Cima Ombretta (3011 m), passava per il ghiacciaio dividendolo in due. Toccava il Sasso delle Undici (uno dei due rilievi taglienti estesi in direzione nord-sud) fino al Passo Fedaiia (2053 m) per poi proseguire ad est del Passo Padon (2368 m).

Sul massiccio della Marmolada, e sul fronte dolomitico tutto, la durata del conflitto fu di due anni, dal 24 maggio 1915 al 10 novembre 1917; per lo sfondamento del fronte italiano a Caporetto questo settore fu poi abbandonato. L'occupazione della zona del ghiacciaio iniziò a tutti gli effetti nel marzo 1916. I primi combattimenti in questa zona, all'inizio del conflitto (1915), si svilupparono sulle catene a nord (Passo Fedaiia e la catena del Monte Padon, 2521 m) e a sud della Cima Ombretta (Bartoli *et al.*, 1993; Andreoletti⁴ e Viazzi, 1991); mentre il massiccio della Marmolada, era interessato da sporadici scontri di pattuglie in perlustrazione.

Nella primavera del 1916 gli Austriaci cominciarono la vera occupazione della Marmolada prendendo possesso inizialmente della Forcella Marmolada (2896 m), il profondo intaglio tra Punta Penia (3343 m) e il Piccolo Vernel (3098 m), a nord-ovest del ghiacciaio. Consolidarono l'occupazione costruendo la cosiddetta “*Capanna Scholz*” baracca per 25-50 uomini, di cui oggi non rimane più traccia. Da questa posizione gli Austriaci proseguirono l'occupazione del ghiacciaio. La cresta della Marmolada dalla vetta più alta, Punta Penia, si sviluppa a scogliera verso oriente con un susseguirsi di punte e di torri rocciose sino a raggiungere la q. 3153 oggi denominata Marmolada d'Ombretta (in carta indicata come q. 3155).

³ Von Lichem (1993) sottolinea un'incongruenza nel delineare il confine pre-bellico. Nelle vecchie mappe storiche d'archivio la linea scendeva al Passo Fedaiia passando per Punta Serauta, quindi tutto il ghiacciaio risultava fassano e quindi austriaco. I cartografi più recenti sottolinea l'autore, per comodità hanno tracciato una linea retta che va dalla Punta Penia al Passo Fedaiia, aggiudicando metà del ghiacciaio all'Italia. In guerra il Passo Fedaiia vero e proprio era considerato italiano (ad est dell'attuale lago, che al tempo del conflitto non esisteva) e la sella Fedaiia austriaco (ad ovest del lago attuale, presso il Rifugio Marmolada-Castiglione, sede della *Bamberghaus*; 2044 m).

⁴ Andreoletti Arturo fu Capitano della 206esima compagnia operante sulla Marmolada.

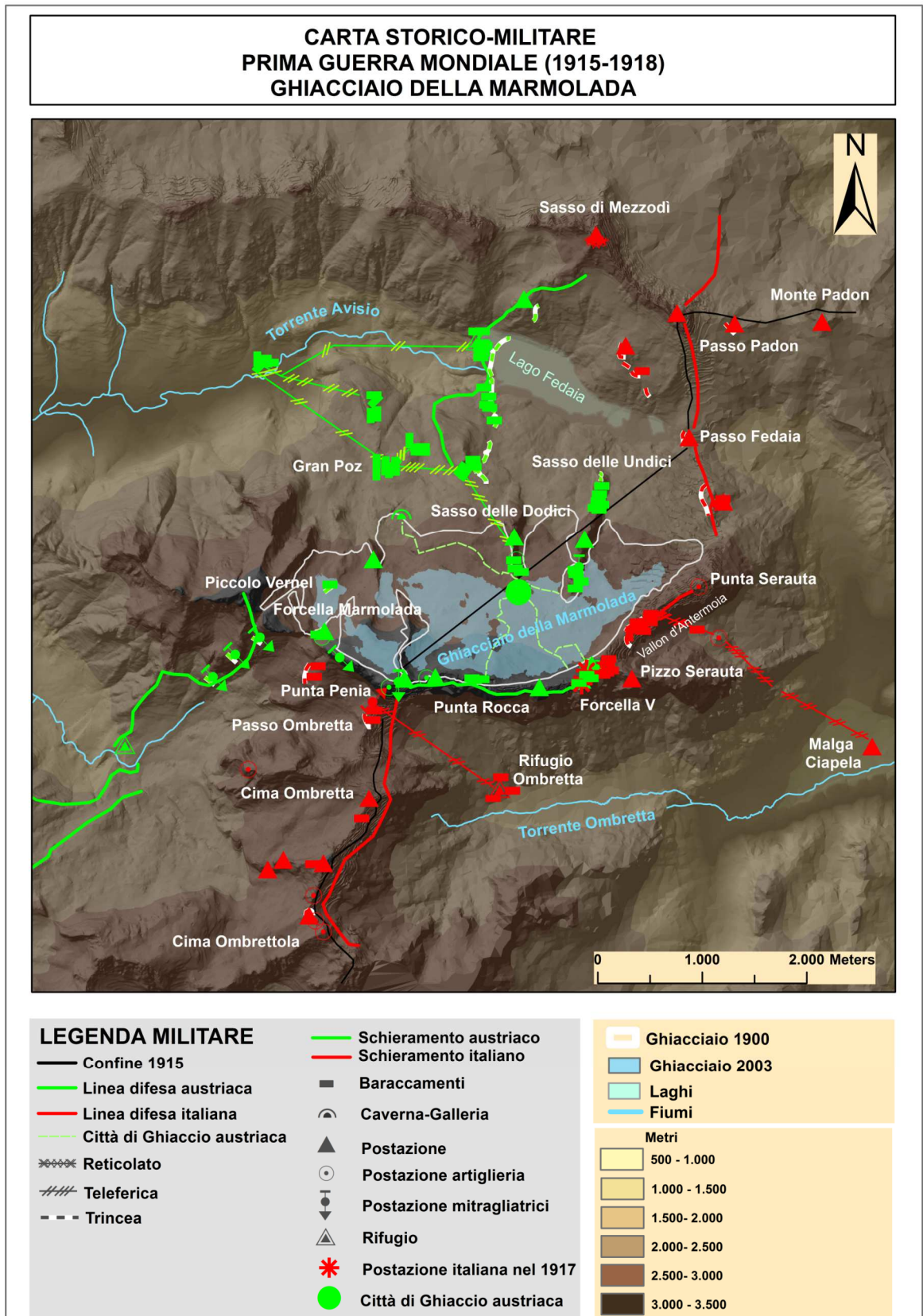


Fig. 4.5 Carta storico-militare della Marmolada; occupazione del ghiacciaio da parte dei due eserciti belligeranti durante il primo conflitto mondiale.

La prima linea del fronte austriaco si sviluppava sull'intero crinale a sud del ghiacciaio, da Punta Penia-Punta Rocca (3310 m) a est fino alla stretta sella di "Forcella a V" (*Vesurascharte* in tedesco; Forcella a feritoia o Forcella a V, per gli italiani) e su i due rilievi che tagliano il ghiacciaio, in senso NS, il Sasso delle Dodici (2712 m, "D" Stellung per gli Austriaci) e delle Undici (2792 m, "U" Stellung). Occuparono inoltre la q. 3065 (denominata Cima S e in carta segnata come q. 3069) e la Forcella Serauta (2875 m) ad est della parete sud. Gli Italiani invece si assestarono inizialmente a sud del ghiacciaio sulla linea Ombretta-Ombrettola e proseguirono l'occupazione del ghiacciaio, nella zona più ad est tra Pizzo Serauta (3036 m), Punta Serauta (2964 m) e Vallon d'Antermoia. Per contrastare un'ulteriore avanzata dell'avversario nell'aprile e maggio del 1916, gli Italiani riuscirono a conquistare la Forcella Serauta e la q. 3065n (Fig. 4.6 b), mentre gli Austriaci furono costretti a ripiegare sulle posizioni della Forcella a V.

Tutti i limiti della conca del ghiacciaio furono occupati e militarizzati. I due schieramenti si fortificarono nelle rispettive postazioni: sul Serauta gli Italiani costruirono un vero e proprio fortilizio in grotte difese da un trincerone (Andreolletti e Viazzi, 1991), oggi recuperate e visitabili, mentre sul ghiacciaio le postazioni degli Austriaci erano divenute un vero e proprio bastione. Da questo momento la guerra divenne guerra di posizione. Al Gran Poz, sotto la lingua del ghiacciaio, si sviluppò il centro austriaco di smistamento di truppe e di materiali e una baraccopoli per circa 300 uomini, lì vi era anche la stazione della teleferica (Langes, 1991). Circa 700 uomini austriaci presidiavano stabilmente le postazioni sul ghiacciaio (Andreolletti e Viazzi, 1991). A Malga Ciapela vi era l'esteso insediamento italiano, da qui nel 1916 fu costruita una teleferica per la Punta Serauta (Fig. 4.5).

Le azioni militari più importanti che caratterizzarono la difesa del fronte della Marmolada furono rivolte sostanzialmente al settore sud-est del ghiacciaio tra Forcella a V, Forcella Serauta e la Cima S, ma nell'ottobre del 1917 anche dentro e sopra il ghiacciaio (Striffler, 1992).

La Forcella a V (Fig. 4.6 c) è un intaglio caratteristico all'estremo angolo sud-est della parete Sud della Marmolada, delimitata dalla q. 3153 (Marmolada d'Ombretta rappresenta la spalla occidentale) e dalla q. 3065 (la spalla orientale detta anche *Köpferl S*) e con una propria guglia rocciosa detto Ago, per gli Italiani. Per raggiungere il Pizzo Serauta si doveva passare la Forcella V. L'importanza di questa fessura era strategica per il controllo del ghiacciaio che insieme alle postazioni del Sasso delle Undici formava un punto chiave per l'intera difesa austriaca e per il controllo o conquista, dal punto di vista degli Italiani, delle altre postazioni sul ghiacciaio. In questa zona si svolgevano accaniti scontri: i due schieramenti si fronteggiavano a pochi km di distanza. La q. 3153 era stata trasformata in un vero e proprio fortilizio austriaco e costituiva l'obiettivo principale dell'azione italiana (Andreolletti e Viazzi, 1991). Il Ten. Handl comandante austriaco sulla Marmolada racconta che "...48 pezzi di artiglieria italiani sparavano quotidianamente questa postazione e il ghiacciaio era colorato per un largo raggio in nero e giallo". Un vero e proprio bastione in cui gli Austriaci costruirono una serie di gallerie in grotta per proteggersi dai tiri degli Italiani: una caverna superiore e una caverna alla base della Forcella (Fig. 4.6 d).

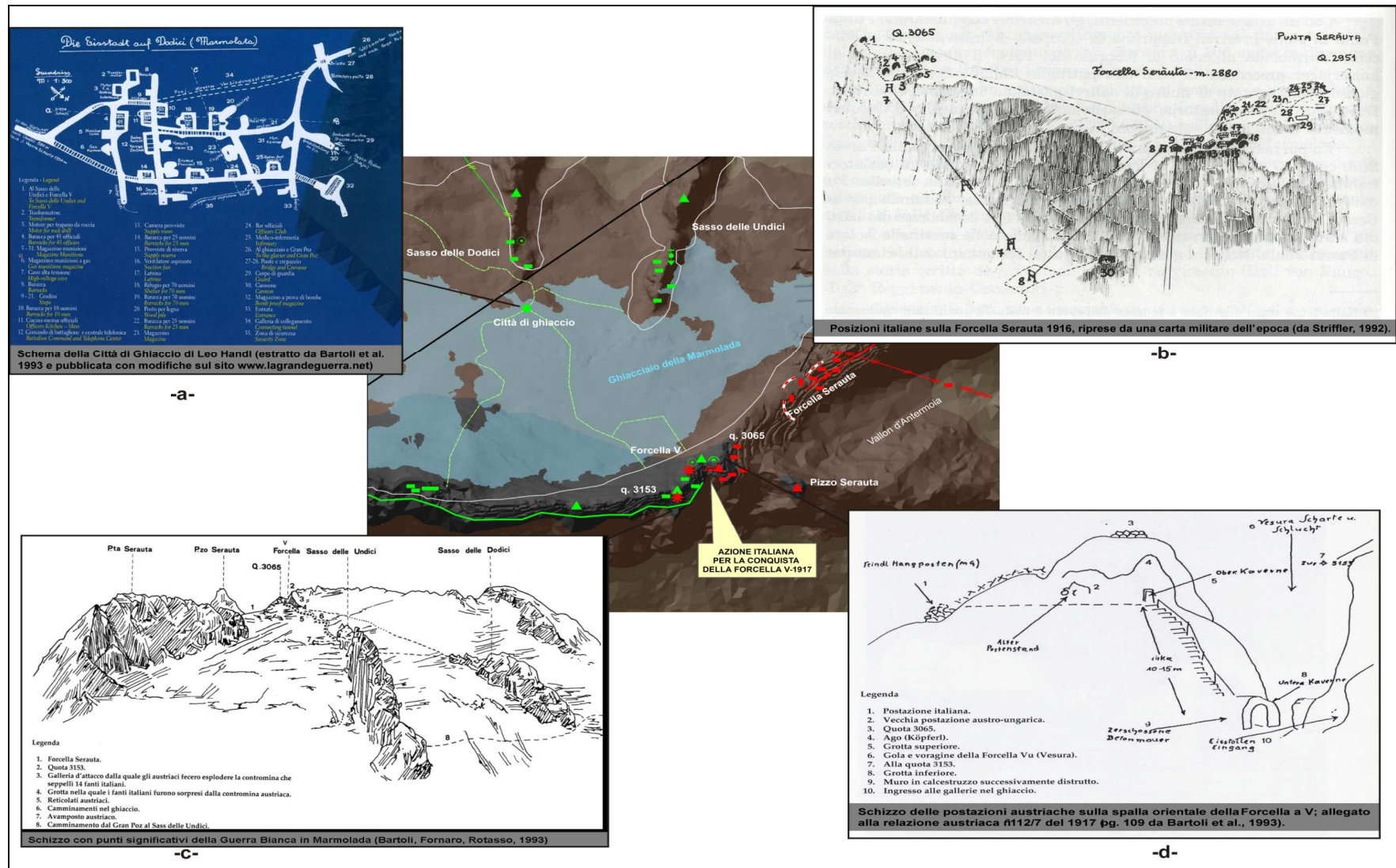


Fig. 4.6 Dettaglio della carta storico militare sulla parete Sud della Marmolada; a) Città di ghiaccio; b) Forcella Serauta; c) Vista tridimensionale di una parte della parete Sud; d) postazioni austriache della Forcella V.

Nel settembre del 1917 dopo ripetuti insuccessi, per occupare la Forcella V, gli Italiani cambiarono tattica: non più assalti disperati ma conquista attraverso la costruzione di una galleria in roccia dalla postazione italiana di q. 3065, utilizzando grandi quantitativi di dinamite. A questo proposito Andreoletti (1991) riporta nel suo scritto l'uso del fulminato di mercurio come innesco detonatore per le mine e miccia di polvere nera, ogni 9 mine sparate in contemporanea. Le truppe italiane riuscirono ad occupare la galleria superiore della Forcella V e in seguito anche quella inferiore. La zona subì intenso fuoco di cannoni austriaci. Occuparono un'altra galleria ad ovest della Forcella V. Ma gli Austriaci reagirono facendo scoppiare una poderosa mina sulla Forcella V, danneggiando la galleria da poco occupata dagli Italiani (denominata Galleria Rosso). Una enorme massa di macerie fu trascinata nella voragine sul Pian di Ombretta. A questa seguì l'esplosione di una grossa mina da parte italiana (ottobre 1917) e i tiri di artiglieria furono concentrati sulle postazioni avversarie del ghiacciaio. Andreoletti racconta che la parte terminale del ghiacciaio verso la Forcella V ne fu tutta sconvolta: grossi lastroni precipitarono verso Fedaiia, mentre tutto intorno il terreno apparve subito chiazzato da grandi macchie nere e gialle. Con questa azione gli Italiani riuscirono ad occupare la q. 3153. Ancora l'autore appena citato, riporta violente colluttazioni tra i due eserciti in lotta e l'utilizzo di gas tossici spruzzati contro l'avversario all'interno delle gallerie. Questa fu l'ultima azione sulla Marmolada. Il settore fu poi abbandonata dagli Italiani per le vicende sul Piave e Isonzo. Durante la ritirata nel novembre del 1917, le baracche furono incendiate, i depositi delle polveri esplosive fatti esplodere, le munizioni gettate giù per il ghiacciaio.

L'occupazione del ghiacciaio da parte degli Austriaci fu in questo settore, possiamo dire, totale. Mentre gli Italiani attuarono la tattica di ripararsi nelle caverne o nelle gallerie in roccia che scavavano a suon di mine, gli Austriaci, per evitare i continui bombardamenti le perdite umane, costruirono nella primavera del 1917 la famosa *Eisstadt*, la Città di Ghiaccio (Fig. 4.6 a). Una rete di gallerie scavate nella profondità del ghiacciaio ad opera del Ten. Handl. Inizialmente fu utilizzata l'ecrasite (Langes, 1991) per lo scavo, poi si procedette a mano. Essa consisteva di due rami principali di gallerie con 1000 metri di dislivello, con raccordi laterali che si diramavano verso i contrafforti rocciosi laterali di Cima Undici e Cima Dodici, con ingresso a monte del centro di distribuzione del Gran Poz (2250 m), 500 m più a sud, sino a giungere le postazioni avanzate in vetta e la Forcella V (Bartoli *et al.*, 1993). Un complesso di 12 Km di gallerie (di circa 2,5 m di larghezza e fino a 2 m di altezza), poste a 50 m di profondità. Vi alloggiavano 300 soldati austriaci e vi trovavano posto magazzini di munizioni, infermeria, dormitori, mensa ecc., conferendogli la struttura di un vero e proprio insediamento abitativo. Furono costruite baracche di legno, fornite di illuminazione elettrica, con i tetti isolati e volte isolate per evitare il gocciolamento estivo all'interno del ghiacciaio. I soldati riuscirono perfino a collocare sotto la quota 3259 della cresta sommitale un pezzo d'artiglieria, con il quale poterono colpire le posizioni italiane di Cima Ombretta.

Scomparsa dal 1922 (Von Lichem, 1993) per lo scorrimento del corpo glaciale, oggi i segni di questa colossale impresa sono rappresentati dai resti che in estate sono portati ai bordi dallo stesso ghiacciaio (Fig. 4.7 a).

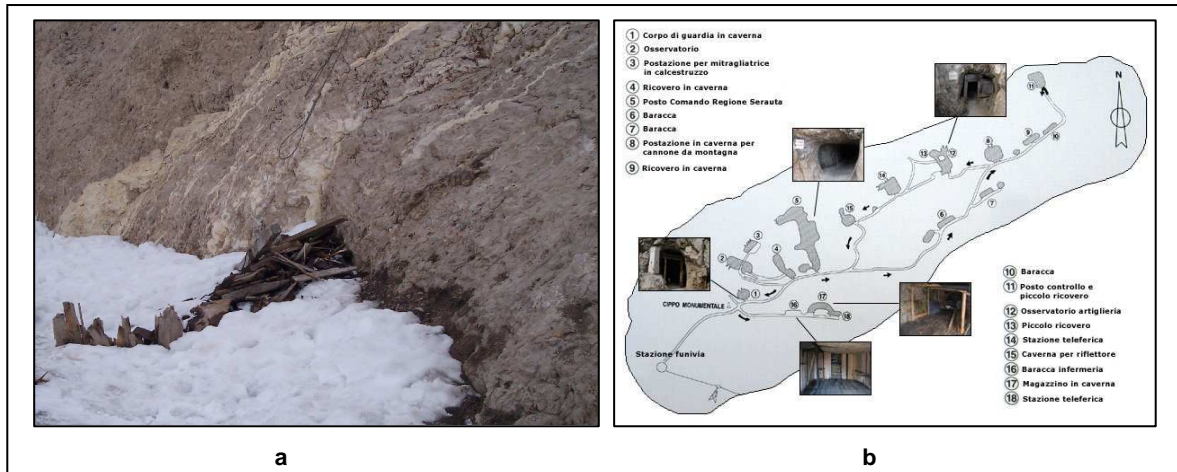


Fig. 4.7 a) Resti della Città di Ghiaccio da sito www.fassafront.com; b) Pianta del percorso della Zona Monumentale del Serauta da sito www.miamarmolada.it.

Mentre del labirinto in ghiaccio degli Austriaci non si ha più testimonianza; restano innumerevoli e impressionanti le tracce dei lavori in roccia dello schieramento italiano nella zona del Serauta, che come già accennato è dichiarata Zona Monumentale (Legge n. 719 del 5 dicembre 1975, delineata con Decreto Ministeriale del 22 giugno 1978). Al centro della zona monumentale è situato il Museo della Grande Guerra in Marmolada, in prossimità del quale sono state riattivate e rese visibili le posizioni in grotta italiane ed austriache della Punta Serauta e della Forcella V (Fig. 4.7 b).

4.2.2 – Gruppo montuoso Adamello-Presanella

Il settore dell'Adamello-Presanella fu tra i settori del fronte montano quello che registrò le maggiori battaglie e che ebbe un peso strategico maggiore. Uno dei comandanti del settore Col. Quintino Ronchi⁵ nel suo libro “La guerra sull’Adamello” (1927) scrive: “*La conquista dell’Adamello rimarrà nella storia come una arditissima operazione di guerra [...]*”. Diversamente dagli altri settori del fronte montano, quello dell’Adamello e della Presanella fu interessato dai combattimenti per l’intera durata del conflitto (dal Maggio del 1915 fino al Novembre 1918) e fu segnato da continue azioni di avanzata da parte dei due schieramenti. Cercheremo di dare un breve cenno delle azioni più significative che portarono all’occupazione della zona come delineato nella carta in Fig. 4.8, focalizzando l’attenzione su quelle che maggiormente videro protagonisti i ghiacciai.

L’altipiano dell’Adamello fu mantenuto percorribile in ogni senso dalle truppe dei due schieramenti per tutta la durata della guerra, facilitando così il movimento indispensabile allo sviluppo delle operazioni. Il Ghiacciaio del Mandrone e della Lobbia con le loro superfici glaciali offrivano la possibilità di attacchi con vasto spiegamento sulle quali si muovevano grandi masse di attaccanti (von Lichem, 1994).

Il confine (Fig. 4.8) tra Regno di Italia e Impero Austro-ungarico passava nella zona dell’Adamello lungo il filo della cresta a sud che separa le Valli di Fumo e di Adamè. Raggiungeva la zona dei ghiacciai presso Monte Fumo e proseguiva sulla cresta, in destra idrografica del Ghiacciaio dell’Adamello, fino al Passo della Lobbia Alta. Attraversava in modo obliquo il Ghiacciaio del Mandrone e, dirigendosi a nord-ovest, raggiungeva la cima omonima. Verso nord, sul filo della cresta, proseguiva per Punta Pisgana, Cima Payer, Punta e P.sso Lagoscuro, Punta e P.sso del Castellaccio. Scendeva poi verso il Passo del Tonale, attraversando la Cresta dei Monticelli.

Nelle prime settimane del conflitto entrambi gli eserciti cercarono di raggiungere alcune delle cime più strategiche. Lo schieramento austriaco all’inizio del conflitto occupava il crinale ad nord-ovest del Ghiacciaio del Presena. Gli Austriaci si erano insediati nella Conca di Presena, sui Monticelli (dove nel corso della guerra avevano strutturato un vero e proprio villaggio militare, di cui oggi rimangono sostanzialmente solo i basamenti delle costruzioni), sulla Punta del Castellaccio e fino al Passo del Lago Scuro e, seguendo la cresta, anche nella Conca del Mandrone e sul ghiacciaio, dove tenevano occupate le adiacenze del rifugio omonimo. Avevano disposto trinceramenti e scavato numerose caverne lungo la linea del fronte che collegava i Monticelli⁶ alle alture del Tonale orientale (Viazzi e Cavaciocchi, 1996).

Gli Italiani occuparono il settore ad ovest del confine, il Rifugio Garibaldi, il Monte Adamello e la sinistra idrografica del Ghiacciaio dell’Adamello.

⁵ Quintino Ronchi e Alberto Cavaciocchi coprirono entrambi il ruolo di Generale di corpo di armata nel settore Adamello.

⁶ Gli Austriaci poi intorno e sopra i laghetti, scavarono trincee, edificarono ridottine i cui resti sono ancora visibili nei dintorni della stazione della funivia.

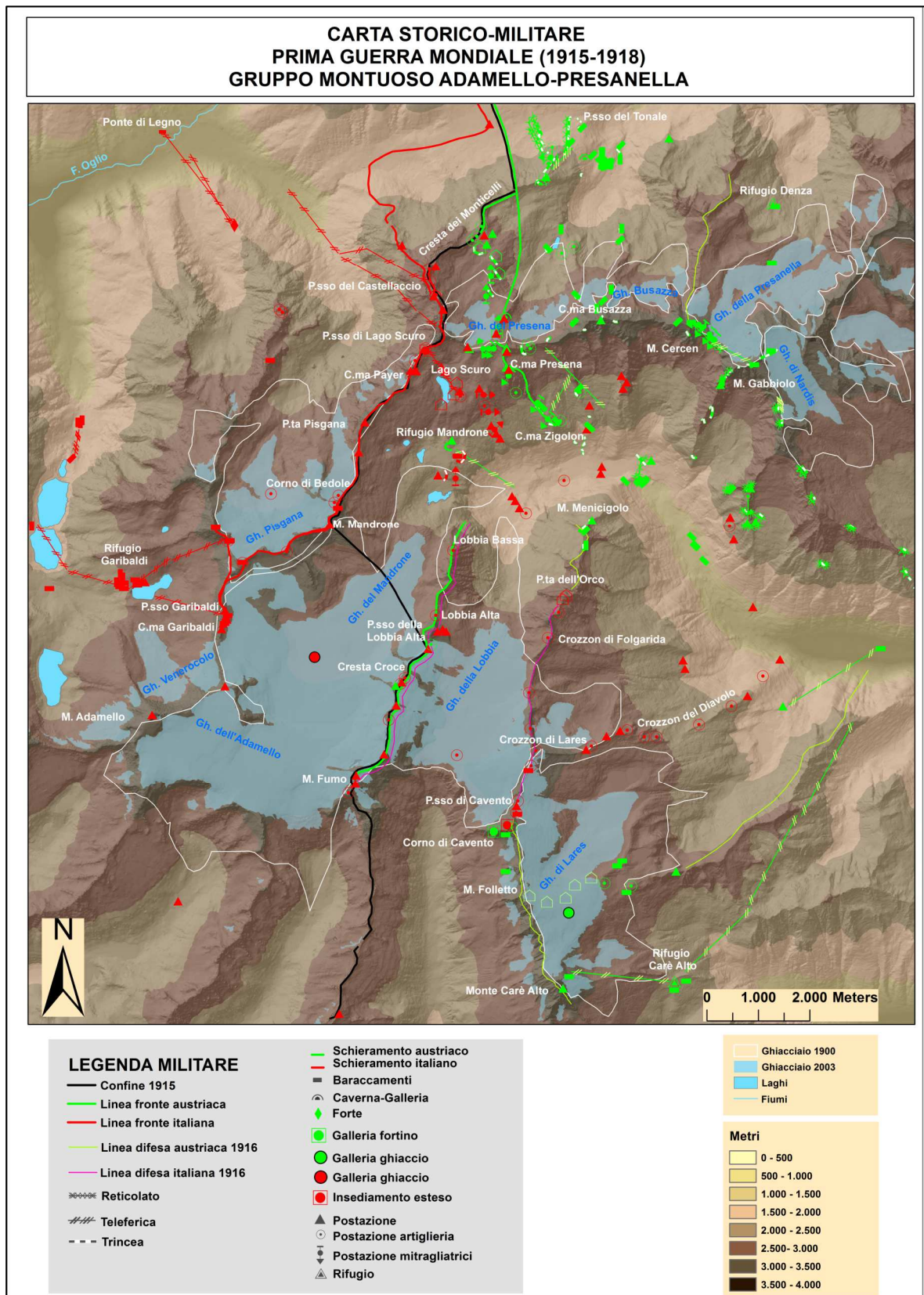


Fig. 4.8 Carta storico-militare del massiccio dell'Adamello-Presanella; con l'occupazione dei ghiacciai da parte dei due eserciti belligeranti durante il primo conflitto mondiale.

La Conca di Presena (a quel tempo coperta interamente dal ghiacciaio, oggi ridotto alla parte superiore; Martinelli, 1997) si estende verso nord-nord est, verso Val Vermiglio, a quel tempo austriaca, mentre verso nord ovest, nell'Alta Val Camonica che era controllata dagli Italiani. Sull'Adamello tutte le azioni, svoltesi nei diversi anni di guerra, tendevano sostanzialmente a scardinare, direttamente o indirettamente, il caposaldo austriaco dei Monticelli e della Conca del Presena che rappresentava il perno dello schieramento austroungarico nel settore della destra orografica del Passo Tonale e che dava accesso allo stesso passo (Martinelli, 1997; Viazzi e Cavaciocchi, 1996). Fu proprio la zona del Tonale ad ospitare la prima battaglia della Grande Guerra condotta su un ghiacciaio: il 9 giugno del 1915 gli Italiani decisero di scardinare la linea di difesa austriaca e attaccarono la cresta del Castellaccio e le postazioni sul Ghiacciaio del Presena imbattendosi in un'accanita resistenza da parte dello schieramento avversario che con l'appoggio delle artiglierie dei forti in Val Vermiglio, li costrinsero a ritirarsi. Da quel momento i combattimenti furono abbastanza marginali e circoscritti in direzione del Tonale fino all'attacco austriaco (15 luglio 1915) che attraverso il Ghiacciaio del Mandrone, li portò ad occupare le posizioni del Corno di Bedole e del Monte Mandrone e aprì una nuova ed imprevedibile fase di lotta sul ghiacciaio.

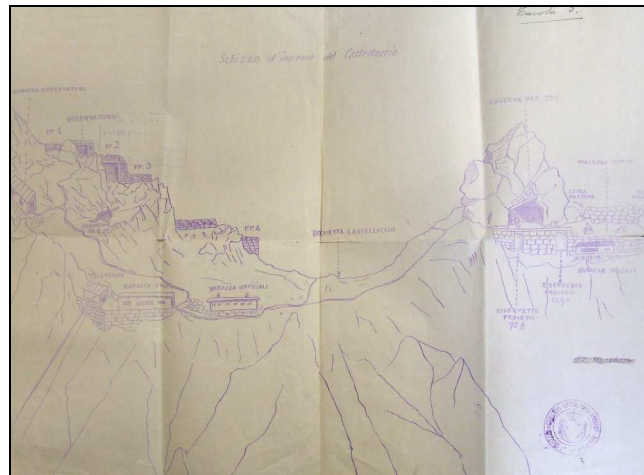
L'offensiva italiana del 25 Agosto 1915 portò alla conquista della cresta rocciosa Castellaccio - Lagoscuro - Payer - Pisgana e il Corno di Bedole sul ghiacciaio (Viazzi e Cavaciocchi, 1996). Sull'intera affilata ardua cresta si iniziarono i lavori per la costruzione di trincee, ricoveri, postazioni, baracche, cunicoli, riserve di munizioni, ponticelli, scalette, passerelle. Furono intagliate centinaia di metri di sentieri, ancora oggi testimoniati dal suggestivo "Sentiero dei Fiori" che percorre tutta la cresta rocciosa dal Passo di Castellaccio alla Cima Payer. (Viazzi e Cavaciocchi, 1996). Li sarebbero sorti (Fig.4.9) in breve alcuni tra i più spettacolari apprestamenti militari di tutti i tempi⁷(Martinelli, 1997; Viazzi e Cavaciocchi, 1996).

Se da un lato gli Italiani alla fine del 1915, avevano rafforzato la linea che dal Castellaccio passando per Passo Pisgana e Corno Bedole, portava a Cima Garibaldi, la cosiddetta "Linea dei Passi"; gli Austriaci si erano saldamente radicati sulla testata della Val di Genova, intorno al Rifugio Mandrone e con presidi avanzati sulla dorsale montuosa Lobbia Alta-Monte Fumo (che sovrastava il Ghiacciaio della Lobbia ad est e del Mandrone ad ovest).

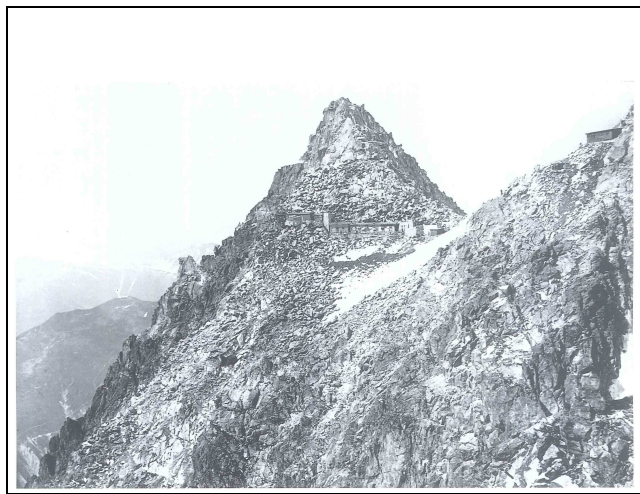
Con l'inizio della primavera del 1916 si aprì una nuova fase di combattimenti sul fronte dell'Adamello, concentrati nella zona del Ghiacciaio della Lobbia e del Mandrone. Gli Italiani con una prima azione (12 Aprile 1916) conquistano la dorsale rocciosa Monte Fumo - Dosson di Genova - Cresta Croce - Lobbia Alta (Fig. 4.10). A questa seguì una seconda avanzata contro la più orientale delle linee di difesa austriache, sul margine orientale del Ghiacciaio della Lobbia e sovrastante anche il Ghiacciaio di Lares, che portò tra il 29 e il 30 Aprile 1916 alla conquista della parte settentrionale della cresta del Cavento: dal Passo di Cavento fino alla Punta dell'Orco⁸ (Fig. 4.10).

⁷ Tutto il complesso era collegato con il fondovalle da teleferiche: strutturata su due rami, uno (3 tronchi) raggiungeva il P.sso del Castellaccio (2961 m) l'altro (4 tronchi) il passo di Lagoscuro (2968 m) (Martinelli, 1997).

⁸ All'azione di fuoco contribuì anche il cannone da 149 G/23, piazzato al Passo Venerocolo (3151 m), il più grosso pezzo d'artiglieria portato a quote così elevate, situato di fronte e al centro di quella che era stata la



-a-



-b-



-c-

Fig. 4.9 a) Schizzo d'insieme del Castellaccio (Museo del Risorgimento di Milano); b) Vista del Castellaccio da Martinelli (1997); c) il Castellaccio oggi.

prima linea degli Austriaci Lobbie-Cresta Croce-Monte Fumo, ed oggi Monumento Nazionale lasciato nella sua postazione di Cresta Croce (3276 m) dove fu in seguito trasportato (Martinelli, 1997).

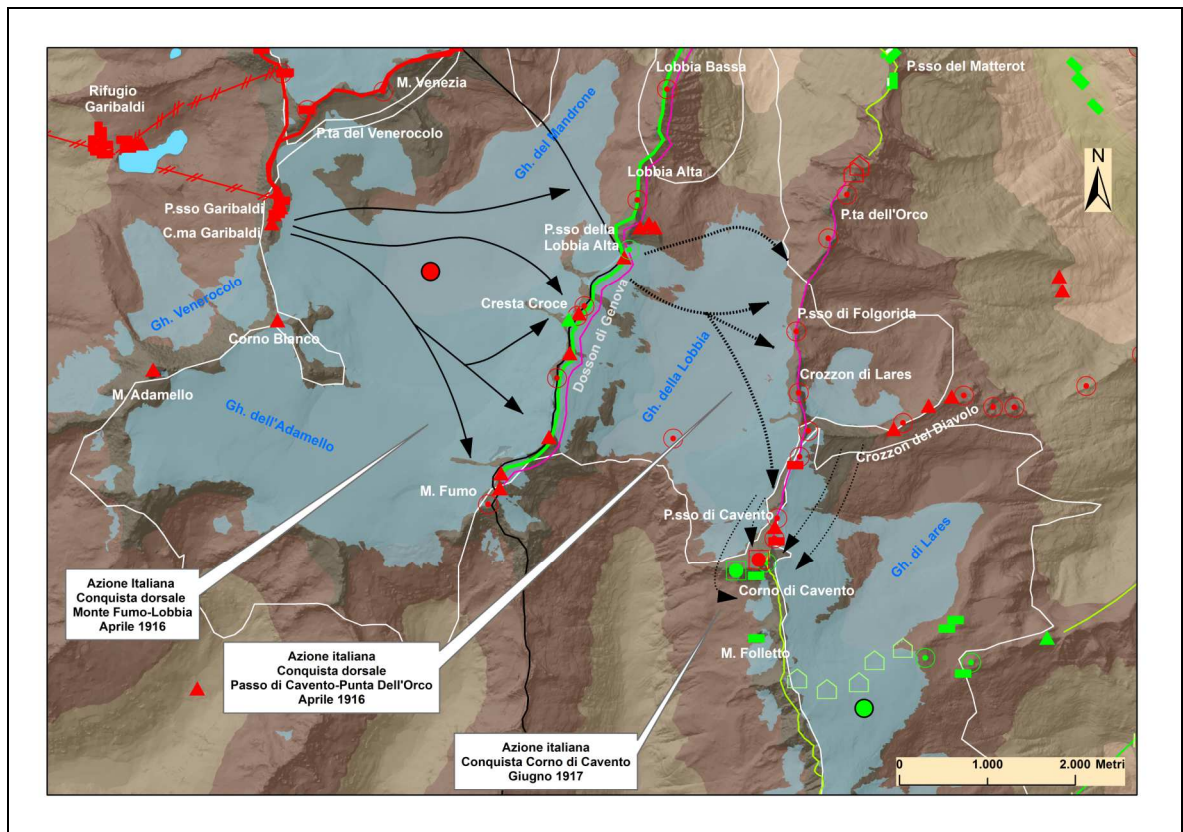


Fig. 4.10 Operazioni italiane sui ghiacciai dell'Adamello-Mandrone, Lobbia e Lares; ridisegnate da schizzo riportato in Cavaciocchi (pg. 15; Viazzi e Cavaciocchi, 1996).

Tra Corno Bedole, Monte Venezia e Venerocolo furono piazzate 8 bocche da fuoco (Ronchi, 1927). In fine (15-17 Maggio 1916) gli Italiani riuscirono a impossessarsi del Rifugio Mandrone. La battaglia vide dalla parte italiana lanciati in azione tra i ghiacciai 3500 uomini (Ronchi, 1927); per le azioni di aprile e maggio il munizionamento dell'artiglieria in quota nel settore ammontò a 76 tonnellate (Martinelli, 1997). In risposta all'avanzata italiana, lo schieramento austriaco occupò il Corno di Cavento (3405 m) e il Monte Folletto (3312 m), dominando la prima linea italiana e ostacolandone i movimenti delle truppe e dei rifornimenti sul Ghiacciaio di Fumo e della Lobbia.

Durante tutta l'estate del 1916 le truppe sostarono sulle posizioni conquistate. Il sistema difensivo italiano si sviluppava su tre linee: da Punta dell'Orco al Passo di Cavento con la posizione avanzata del Crozzon del Diavolo; dalla Lobbia a Monte Fumo; dal Monte Venerocolo al Monte Adamello. Nell'inverno sorsero ovunque capanne, abitazioni anche con zoccolo in muratura e il corpo principale in legno, magazzini appostamenti per artiglieri camminamenti, reticolati, la maggior parte sul ghiacciaio e sulle vedrette. Al Passo della Lobbia Alta sorse un vero villaggio con strade e camminamenti scavati nella neve (Ronchi, 1927), dove ora vi è il Rifugio ai Caduti dell'Adamello del CAI.

Dopo la spinta degli Italiani nella primavera del 1916, la linea di difesa austroungarica si sviluppava sul crinale ad est (Corno di Cavento - Monte Carè Alto) che delimita il Ghiacciaio di Lares. Il bacino del Ghiacciaio di Presena era in mano austriaca, tutte le posizioni di cresta erano presidiate come anche i contrafforti sul Ghiacciaio della Presanella e la cresta dei Monticelli. Sulle posizioni furono eseguite notevoli sistemazioni

difensive, accompagnati da continue esplosioni di mine tanto che si diffuse la notizia infondata che gli imperiali stessero scavando una galleria sotto il Castellaccio per farlo saltare (Martinelli, 1997). Al Rifugio Care' Alto, nel 1917 iniziò a funzionare il tronco di teleferica lungo 2,4 km che dal rifugio portava direttamente alla vetta del Carè Alto (3462 m). Fu l'opera militare più prestigiosa del genere a quei tempi (Martinelli, 1997).

Il Corno di Cavento divenne una vera e propria temibile fortezza, una vera galleria fortino nel ghiaccio che si rivelerà molto più efficace dei vecchi forti tradizionali in cemento e ferro, poiché i proiettili d'artiglieria colpendolo provocarono soltanto un leggero pulviscolo senza penetrare in profondità. La posizione fu dotata di 2 riflettori, di almeno 30 mitragliatrici, obici e lanciabombe, con tiri diretti a nord sulle linee italiane. Martinelli (1997) riporta che in risposta, le postazioni austriache del Cavento erano battute giornalmente con minimo 20 cannonate (fino ad anche a 80 in 1 ora, di cui circa la metà cadeva nella neve senza esplodere).

Nel Ghiacciaio di Lares fu scavata nella neve e nel ghiaccio una galleria lunga 6780 m, quasi completamente invisibile in superficie (altezza di circa 2 m). La ventilazione naturale era assicurata sia da camini di legno, sia a mezzo di aperture laterali. Inoltre, queste gallerie erano fornite di pavimento in legno, telefoni e latrine. Una diramazione proseguiva in direzione nord est, fino a sbarrare interamente il ghiacciaio. Due pezzi di artiglieria erano in postazione a quota 2900 m su questo ghiacciaio.

Anche gli Italiani costruirono una galleria per i trasporti nel Ghiacciaio del Mandrone, tra i Passi Garibaldi e della Lobbia. Entrò in funzione nel dicembre del 1917 e fu denominata la "Galleria Azzurra": lunga 5200 m, alta 2 m, larga 2,5 m, ventilazione assicurata da circa 80 pozzi in legno; 25 ponticelli superavano i crepacci, illuminata attraverso 2 gruppi elettrogeni con 120 lampadine e con profondità variabile tra i 5 e i 10 m a seconda della profondità della neve.

Il 1917 fu un anno di relativa calma sul fronte dell'Adamello. L'unica impresa degna di nota fu, da parte degli Italiani, la conquista dopo intenso bombardamento della vetta del Corno di Cavento (15 giugno 1917), l'importante caposaldo avanzato austriaco mentre questi si ritirarono sulle posizioni più arretrate del Monte Folletto e del Monte Caré Alto (Fig. 4.8). Per questa azione si erano preventivati l'impiego di 4 battaglioni e di 30 bocche da fuoco, circa 2000 uomini agirono nell'area e fu schierata una poderosa batteria da mortai da 149A. Cavaciocchi parla di 1952 shrapnel, 3654 granate sparati complessivamente nella giornata. Furono quindi costruite baracche e sentieri che trasformarono in breve il Corno in una vera roccaforte (le baracche italiane sul Cavento, nel 1918, sarebbero diventate ben 15; Martinelli, 1997). Dopo un anno (15 giugno 1918) le forze austriache riprendono possesso del Corno di Cavento mediante lo scavo di una galleria nel ghiacciaio e violenti assalti contro la compagnia alpina che lo presidiava. Gli Italiani riconquistarono le posizioni appena un mese dopo (19 luglio 1918).

Al contrario dell'anno precedente, il 1918 fu un anno di prove durissime e di combattimenti sanguinosi in questo settore. Tra il 25 e il 28 maggio 1918 si svolse la più impegnativa e complessa tra tutte le battaglie della Guerra Bianca: la battaglia bianca di Conca Presena e dei Monticelli. Definita da molti la più grande battaglia d'alta montagna di tutti i tempi, intesa come battaglia propriamente detta e non come semplice scontro (Martinelli, 1997). L'azione fu compiuta dagli alpini e portò all'occupazione di diverse

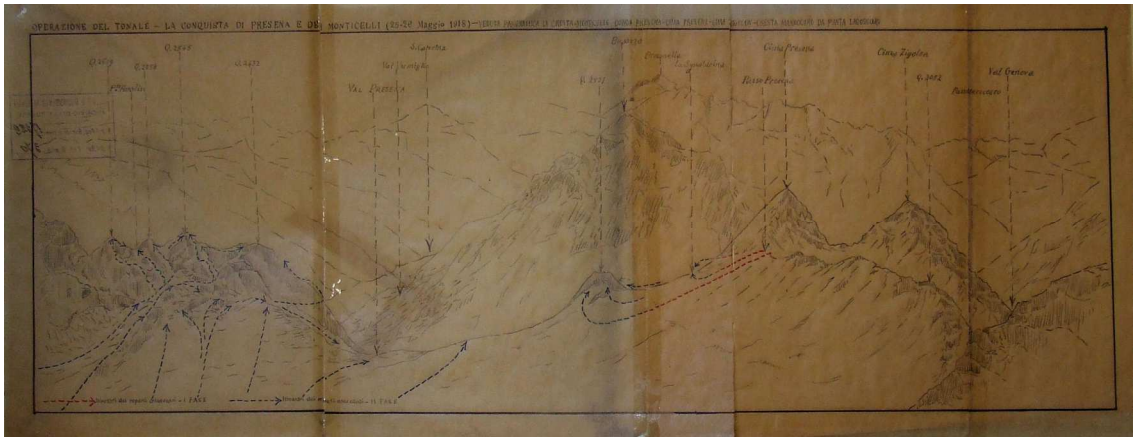
postazioni su Conca Presena e sulla cresta di Cima Presena, nonché di alcune delle elevazioni rocciose dei Monticelli. Una poderosa massa di artiglieri fu schierata per questa azione, soprattutto cannoni a lunga gittata: Cavaciocchi parla di 200 bocche da fuoco tra grosso e medio calibro. “Tiri a gas” (probabilmente fosgene) furono utilizzati allo sbocco di Val Presena, e pesanti furono i bombardamenti eseguiti sulle posizioni della Cresta dei Monticelli (Ronchi, 1927).

Nel giugno del 1918, gli Austriaci sferrarono sul Tonale la cosiddetta “*Lawine expedition*” (Offensiva Valanga), tentando di sfondare le linee italiane del passo e di penetrare in Valle Camonica. Attaccarono fortemente e a lungo tra il Castellaccio e la Conca di Presena. Dal diario del capitano medico Bertolini (Martinelli, 1927) apprendiamo che furono usati colpi di granate a gas asfissianti (fosgene) e lacrimogeni per tutta la durata dell’azione, e che gli Austriaci lanciavano bombe e mitragliavano utilizzando 18 aerei. Gli Italiani resistettero ai pressanti assalti, costringendo gli Austriaci a desistere.

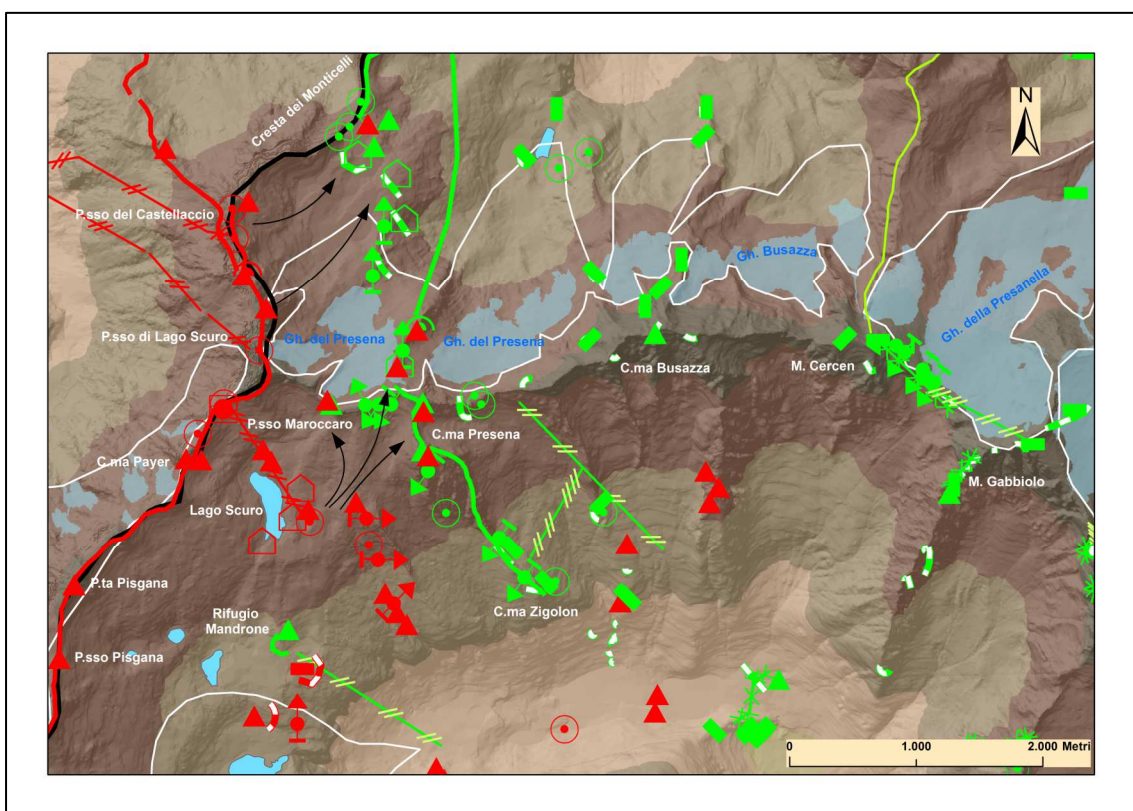
Il 13 agosto 1918, la sella del Tonale è il teatro di una nuova grande offensiva, intrapresa dagli alpini, per l’occupazione di altre posizione a monte della Conca Presena. Mentre sulla destra orografica della Val di Genova, essi furono respinti dall’esercito imperiale.

La guerra terminò nel novembre del 1918 con l’invasione e la conquista della Val di Sole da parte degli Italiani⁹.

⁹Nel 1917 per l’azione del Corno di Cavento si trasportarono attraverso il ghiacciaio 1500 quintali di munizioni e nel 1918 nelle azioni del Maggio e Luglio tale cifra venne di molto superata. Nel 1918 furono trasportate sul Passo di Lares bombarde allungate DA 240 del peso di 87 Kg l’una. Il corpo di occupazione italiano dell’Adamello non era mai inferiore ai 1500 fucili e 20 cannoni, nell’estate del 1918 sali a 4000 uomini e 60 bocche da fuoco (Ronchi, 1927).



a



b

Fig. 4.10 a) Schizzo dell'attacco in due fasi della Conca del Presena e della Cresta dei Monticelli (Museo del Risorgimento di Milano); b) Dettaglio in carta dell'azione sul Ghiacciaio del Presena.

4.2.3 – Gruppo montuoso Ortles-Cevedale

Il settore montano del fronte sull'Ortles-Cevedale ebbe fin dall'inizio un compito strettamente difensivo e le azioni ebbero un carattere piuttosto frammentario, anche se il massiccio fu occupato per l'intera durata del conflitto (Tazzoli, 1997). La regione dell'Ortles, considerata nel suo assieme, costituiva l'estrema ala sinistra del fronte che, poco ad occidente dello Stelvio, incontrava la frontiera della Svizzera eccentrica rispetto alla principale linea di operazione (Sandri, 1929). Era un fronte di circa 50 km che dalla Cima Garibaldi a nord, dove terminava la linea di confine politico col territorio elvetico e cominciava quella con l'Impero austro-ungarico, per il Passo dello Stelvio si congiungeva a sud col Passo Gavia. Il confine, visibile in Figura 4.11, che ricostruisce l'occupazione della zona durante il conflitto, seguiva la linea di cresta sull'arco montuoso Monte Scorluzzo, Monte Cristallo, Gran Zebrù, Monte Cevedale, Cima Vioz, Punta San Matteo e Punta della Sforzellina per scendere verso meridione al Passo del Tonale. Questa falce montuosa formava una muraglia insormontabile, contornata soprattutto per il settore meridionale a sud del Monte Cevedale, da grandi superfici ghiacciate. Inizialmente ad occidente di essa, a quote meno elevate, vi furono le basi logistiche e le zone di avvicinamento degli Italiani, che si stabilirono sul Passo dello Sforzellina, presidiando il ghiacciaio omonimo, presso il Rifugio Gavia e in fondo alla lingua del Ghiacciaio dei Forni. La linea delle postazioni austriache era invece ad alta quota sul lato orientale e a nord est, inizialmente al Passo dello Stelvio e Monte Scorluzzo e sull'arco Monte Cevedale, Punta San Matteo (von Lichem, 1994). Il compito difensivo del sottosectore Valtellina italiano era quello di sbarrare agli Austriaci le comunicazioni adducanti dalla Val Venosta alla Valtellina e quindi al cuore della Lombardia (Sandri, 1929). Per gli Austriaci invece lo scopo era di impedire l'avanzata in Val di Sole, Val Martello e di Ultimo. Le azioni in questo senso erano volte ad assicurare il possesso stabile di posizioni, punto di partenza per le successive imprese. In quest'ottica devono essere inquadrati le azioni che andremo a descrivere.

Tra il 1915 e il 1916, i due schieramenti s'impegnarono ad occupare, fortificare e militarizzare le posizioni più importanti su vette estremamente ardue. Per lo più occupazioni isolate e temporanee con poca valenza militare ma che rappresentarono i primi esempi d'imprese condotte sui ghiacciai (Sandri, 1929). Il pilastro della difesa austriaca nel settore dello Stelvio era rappresentato dalla Cima Garibaldi, dal Passo dello Stelvio e dal Monte Scorluzzo. Questi impareggiabili osservatori, furono muniti di cannoni e in seguito di caverne. A Cima Garibaldi vi era una trincea di 800 m, guarnita di cannoni da campagna e mitragliatrici, ove in seguito sorse un intero villaggio di almeno 100 baracche (von Lichem, 1994).

Il Monte Scorluzzo fu denominato "la montagna di sangue e di ferro" poiché continuamente tenuta sotto attacco di artiglieria italiana. Rimase fino alla fine della guerra in mano all'esercito imperiale, sebbene gli Italiani tentarono invano più volte di riconquistarlo (20 luglio e 20 settembre 1915) (Sandri, 1929).

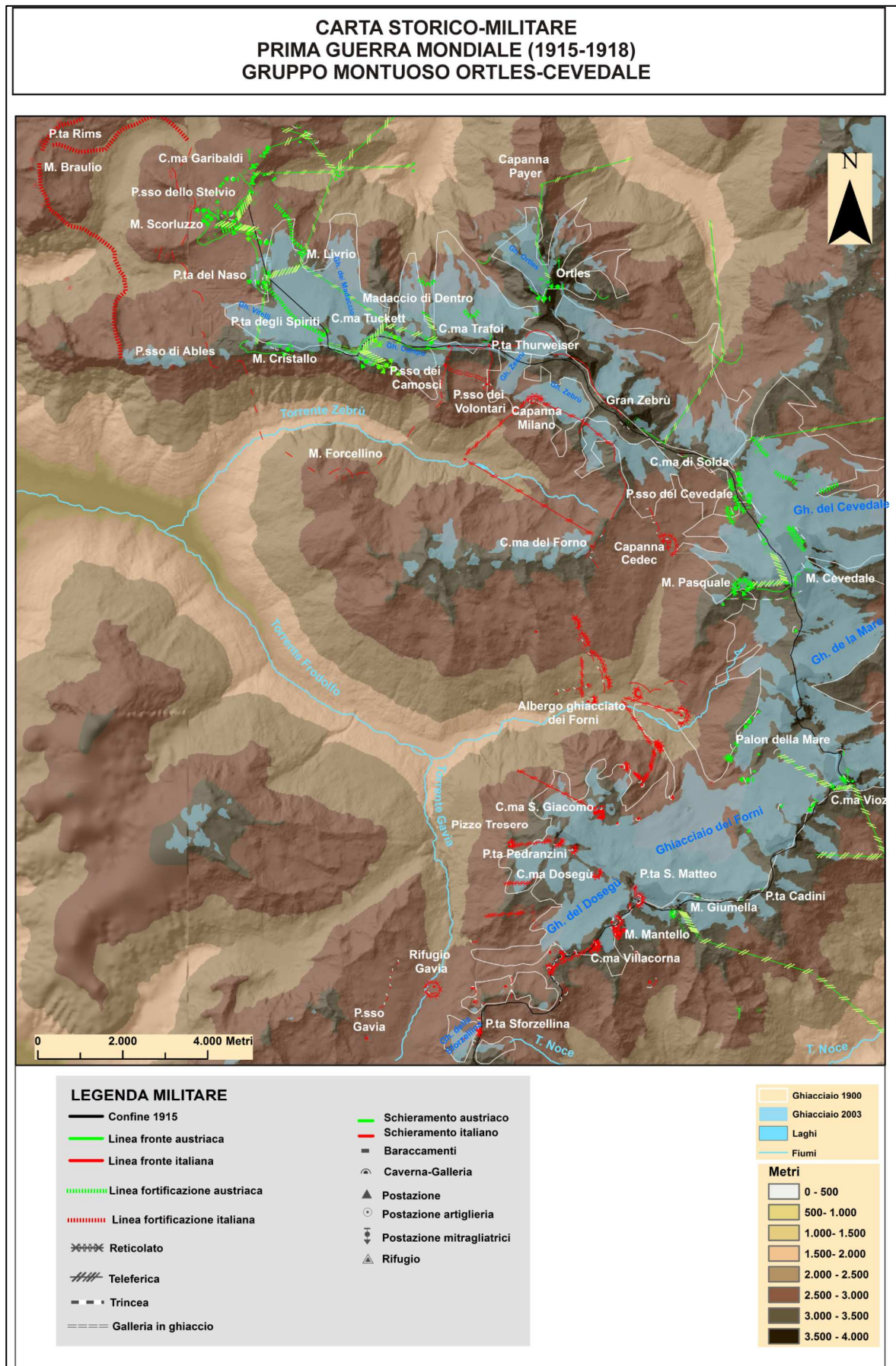


Fig. 4.11 Carta storico-militare del massiccio dell'Ortles-Cevedale; con l'occupazione dei ghiacciai da parte dei due eserciti belligeranti durante il primo conflitto mondiale.

Gli Austriaci occuparono inoltre nel primo anno di guerra in modo non permanente il gruppo del Madaccio. Il tratto di catena a sud del Cevedale, inizialmente occupato in modo discontinuo e saltuario, fu poi saldamente organizzato a punto di difesa. Gli Italiani tentarono la conquista di questa cima (30 ottobre 1915), ma fallirono nell'impresa.

Lo schieramento italiano nel 1915 occupava stabilmente l'estremo nord ovest del fronte Punta Rims (2947 m) e la cresta che da li raggiunge il Monte Braulio (Fig. 4.11). Con posti e pattuglie erano presenti sul Ghiacciaio dei Vitelli. Altro centro di resistenza era il Passo Ables, sul costone calcareo del Monte Cristallo. Sulla cresta che separa il Ghiacciaio dei Camosci da quello dello Zebrù, presidiavano il Passo dei Volontari e, al limite del ghiacciaio, la Capanna Milano (2878 m).

Le operazioni militari più notevoli nel settore dell'Ortles-Cevedale si svolsero per la conquista di postazioni quali: Monte Cristallo, il nodo del Madaccio, la Cima Tuckett, la Cima Trafoi nel settore settentrionale; il San Matteo e Monte Mantello, cime sovrastanti il Ghiacciaio dei Forni e il Dosegù, nel settore meridionale (Tazzoli, 1997).

Nella primavera ed estate del 1916 si ebbe una crescente avanzata da parte dei due schieramenti: tutta la cresta di confine si coronò di posti di combattimento. Gli Italiani in questa fase occuparono le alte cime della Valle Zebrù presero possesso di Cima Trafoi, Punta Thurwieser, Cima Tuckett e la punta ovest del Monte Cristallo, mentre tutto il resto della catena principale cadde in mano austriaca (von Lichem, 1994).

A questa azione gli Austriaci risposero occupando la Punta degli Spiriti nonché, con un presidio permanente (25 uomini sulla cima e 25 sull'anticima), la cima dell'Ortles e l'anticima (Sandri, 1929). La grande Capanna Pajer (3200 m) fu utilizzata come base e da qui partivano le teleferiche per la cima. Una galleria in ghiaccio collegava le diverse posizioni dell'Ortles che erano munite di 4 cannoni (Tazzoli, 1997), 2 lanciabombe e 3 mitragliatrici (Sandri, 1929).

A fine gennaio 1916 dopo parecchi mesi di lotte alla guerra di movimento era succeduta quella di posizione (von Lichem, 1994). Tra il 1916 e 1917 si riportano alcune significative azioni; concentreremo poi la descrizione su quelle per la conquista di Punta San Matteo.

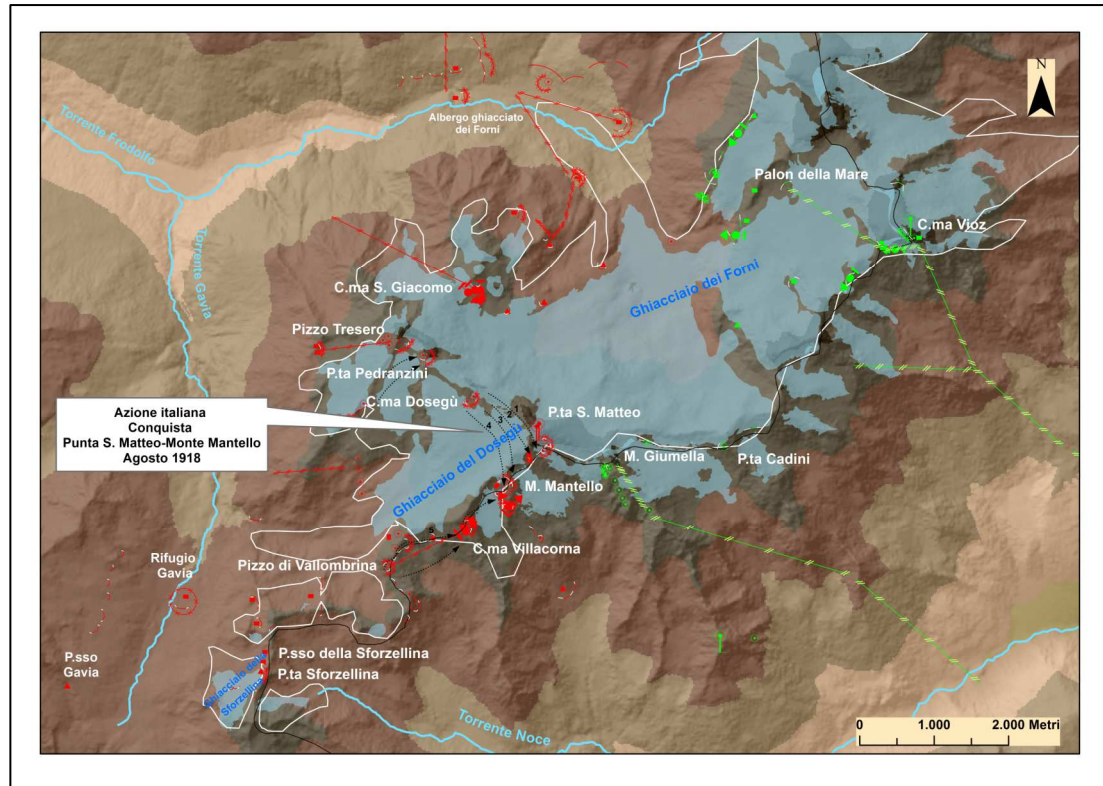
A maggio del 1917 gli Italiani si insediarono sotto la vetta del Gran Zebrù vetta che signoreggia il Passo del Cevedale in possesso degli Austriaci. Dopo l'Ortles, il Gran Zebrù era la cima più alta di tutti i fronti di guerra. Da questa posizione gli Austriaci battevano le posizioni italiane in Val Zebrù (Sandri, 1929). Gli Italiani decisero quindi di occupare la vetta e l'occupazione fu seguita da violenti attacchi di fuoco dell'esercito italiano dalle postazioni in Val Zebrù. Fu la più alta occupazione degli alpini di tutta la guerra e si combatté la più aerea battaglia (Tazzoli, 1997). Più volte tentarono di avanzare ma nell'agosto del 1918 gli Austriaci sommersero con un violento bombardamento dall'anticima dell'Ortles e dal Gran Zebrù, il piccolo posto italiano (Sandri, 1929).

Sulle cime del Cristallo, dominanti il Passo d'Ables, gli Italiani avevano il possesso della punta ovest (3392 m). Gli Austriaci intuendo l'importanza della posizione decisero di impadronirsene sistemandosi in un primo tempo stabilmente sulla punta est, la più alta del Cristallo (3431 m) non occupata. Nell'inverno del secondo anno di guerra, gli Austriaci assalirono la cima ovest attraverso lo scavo di una galleria in gran parte nel ghiacciaio (denominata "Grotta Meravigliosa "Wundergrotte"; Sandri, 1929), sotto la cresta nel versante nord, lunga circa 1 km, che sbucava vicinissima alle posizioni italiane. In galleria

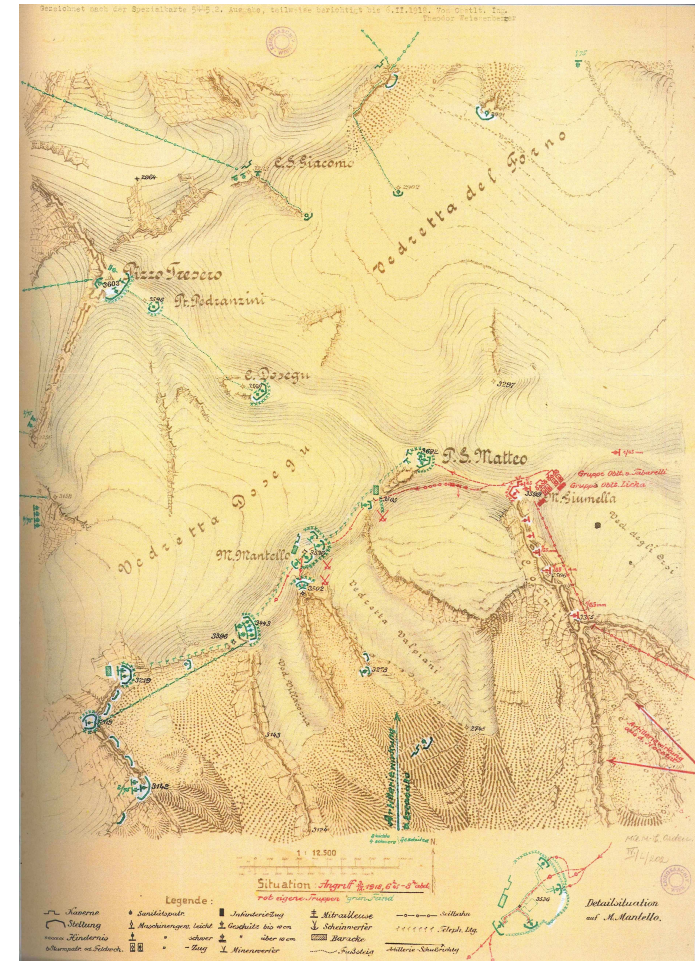
si scontrano con gli avversari, i quali per la conquista della stessa quota stavano costruendo una galleria in ghiaccio che incontrò quella austriaca. Gli Austriaci conquistarono la cima più alta del Cristallo ma non riuscirono ad avanzare verso il Passo di Ables, che rimase in mano italiana. In questo settore per tutta la durata della guerra, i due contendenti si fronteggiarono sulla cresta ghiacciata che corre tra le due quote 3392 e 3431 a 50 m uno dall'altra. Il cunicolo progettato e realizzato nel ventre del Ghiacciaio dei Vitelli, unicamente per un attacco fu nella storia della strategia militare una nuova mossa. Divenne famosa in tutto il mondo e numerosi scienziati e glaciologi la visitarono perché essendo quasi verticale era una delle più spettacolari (von Lichem, 1994).

La posizione di cresta sulla vetta ovest della Cima Trafoi costituiva un caposaldo della difesa di tutto il settore Valtellina ed una delle gran guardie italiane. Occupata nel 1916, fu fornita di galleria in ghiaccio, comunicante con sentiero al sottostante Passo dei Camosci, baluardo formidabile di alta montagna, a sua volta collegato con galleria scavata nel Ghiacciaio dei Camosci al Passo dei Volontari (von Lichem, 1994). Da qui in meno di 2km si arrivava alla Capanna Milano, centro importante di rifornimento e sede del Comando della Difesa di Val Zebrù. Gli Austriaci posti sul Madaccio di Dentro, sul cui fronte si trovava la Cima Trafoi, cercarono di conquistarla scavando una galleria in ghiaccio da nord che saliva sotto la cima. La galleria austriaca sotto il ghiaccio divenne un fortino di 30 m con sistemazioni di mitragliatrici e feritoie chiuse da aprirsi al momento opportuno. Nell'agosto del 1917, 60 Austriaci con mitragliatrici e bombe a mano saltarono fuori dal fortilizio in ghiaccio e occuparono la posizione solo per qualche giorno (Tazzoli, 1997). Circa 450 soldati Italiani riconquistarono la cima loro strappata, con un assalto violentissimo il 3 settembre 1917, preceduto da bombardamenti con almeno dodici bocche da fuoco in posizione (Tazzoli, 1997). La galleria nel ghiaccio da loro scavata fu fatta saltare in aria (von Lichem, 1994) e la Cima Trafoi riconquistata dagli Italiani non fu più perduta.

Dopo quasi tre anni di combattimenti, entrambi gli schieramenti constatarono di non aver ottenuto nessun acquisto di territorio strategicamente rilevante nella parte nord del settore (von Lichem, 1994), quindi sul finire del 1917 e in tutto il 1918 il teatro delle operazioni si spostò nel settore meridionale tra il Monte Cevedale e la Punta San Matteo, settore che fino alla fine del conflitto restò una zona molto calda. Nell'ultimo anno di guerra gli sforzi degli Italiani si concentrarono sulla possibilità di scendere in Val di Sole per avanzare in Trentino attraverso la conquista di Punta San Matteo. La conquista di questa cima fu la più importante operazione di guerra del settore per le forze impiegate e il combattimento più alto del mondo. Gli Austriaci occuparono il Monte Mantello che fa sistema con la Punta San Matteo, e con queste posizioni sovrastarono la difesa italiana dell'alta Val di Gavia. Avevano inoltre occupato stabilmente tutta la dorsale che delimita il Ghiacciaio dei Forni ad est (Monte Giumella, Punta Cadini, Cima Vioz, Palon della Mare) ed erano presenti con posti avanzati sulla parte superiore del ghiacciaio. Il Monte Giumella era la base dei rifornimenti e di tutto l'apparato difensivo ed era ben collegato con il San Matteo e Monte Mantello. Il Palon della Mare divenne un caposaldo ben assicurato con sistema di trincee e caverne per una guarnigione di almeno 20 uomini, con riserve di viveri e munizioni (Fig.4.12).



a



b

Fig. 4.12 a) Operazione per la conquista italiana della Punta del San Matteo attraverso il Ghiacciaio del Dosegù, ridisegnate da schizzo riportato in Fantelli *et al.* (2008; pg. 84); b) Carta austriaca 1:12.500 con la distribuzione delle forze per l'azione di riconquista del settembre 1918, in rosso gli Austriaci in verde gli Italiani; tratto da Fantelli *et al.* (2008, pg. 116; fonte Archivio di Stato di Vienna - sezione Archivio di guerra).

Gli alpini, oltre a essersi insediarsi presso l'Albergo Ghiacciato dei Forni (2176 m) e al Pizzo Tresero (3602 m), occuparono e sistemarono a difesa nel maggio del 1918 la cresta che limita il Ghiacciaio del Dosegù da quello dei Forni, con le postazioni di Cima S. Giacomo, Punta Pedranzini e Cima Dosegù (Sandri, 1929). Capisaldi della difesa italiana ,riforniti quasi esclusivamente dal Passo Gavia attraverso il Ghiacciaio del Dosegù.

Il 13 Agosto gli Italiani, attraverso un'azione di forza in più direzioni sul Ghiacciaio del Dosegù, con 5 colonne di attacco e coperti dal fuoco inteso dell'artiglieria, conquistarono il San Matteo e il M. Mantello (Fig. 4.12). Solo per questa azione Sandri (1929; citato anche da Viazzi, 1997) riporta che furono messi a disposizioni tra il Passo di Gavia, il Passo dello Sforzellina e il Passo Dosegù circa 17 bocche da fuoco; altre batterie furono dislocate tra Cima S. Giacomo e Pizzo Tresero¹⁰. I soldati italiani dislocati per l'azione furono circa 300. Conquistato il San Matteo e il Monte Mantello, le posizioni furono sistemate a difesa e dotate di sezioni mitragliatrici, di lancia bombe. Il Monte Giumella rimase in mano austriaca e da qui partì il 3 settembre del 1918, venti giorni dopo, il violentissimo fuoco di artiglieria e di gas asfissianti (Tazzoli, 1997) col quale un reparto di assalto di 400-500 uomini dell'esercito imperiale riconquistò le due posizioni e distrusse completamente le difese italiane ; dopo due mesi la guerra finì e queste posizioni ritornarono italiane.

I passi e le creste più importanti furono spesso muniti di gallerie in ghiaccio e in questo settore, in particolare fino all'ottobre del 1918, si raggiunsero in totale circa 11 km (Sandri, 1929). Alcune come quella nel settore italiano tra il Passo dei Camosci e il Passo dei Volontari all'interno del Ghiacciaio dei Camosci e quella austriaca del Monte Cristallo nel Ghiacciaio di Campo, sono riportate in carta (Fig. 4.11). L'elenco delle gallerie di ghiaccio dell'Ortles Cevedale è riportato in Fig. 4. 13 ed è tratto dalla monografia di Viazzi (1997) a cui rimandiamo per ulteriori consultazioni insieme allo studio di Guido Bertarelli "Le gallerie di guerra nei Ghiacciai dell'Ortles" del Touring Club Italiano 1916.

	Altitudine	Lunghezza
1. Grande galleria di Capanna Milano	2940 - 3000 m.	m. 612
2. Galleria del Passo dell'Ortler	3100 - 3300 »	» 800
3. Galleria degli Eiskögele	3530 - 3570 »	» 1500
4. Galleria del Ghiacciaio dei Camosci	3000 - 3050 »	» 1000
*5. Galleria della Schneeglocke - Trafoier		
Eiswand (austriaca)	3330 - 3588 »	» 1400
6. Galleria Ghiacciaio dello Zebrù (q. 3229)		
Colle della Miniera - Colle Pale Rosse	3200 - 3388 »	» 2000
7. Galleria Passo di Sulden - Mitscherkopfl	3434 - 3444 »	» 950
8. Galleria della Trafoier Eiswand	3500 - 3500 »	» 950
9. Galleria del Baeckmanngrat	3450 - 3450 »	» 400
*10. Galleria del M. Cristallo (austriaca)	3336 - 3410 »	» 1100
**11. Galleria Passo di Campo - Cima di Campo		
(austriaca)	3344 - 3480 »	» 200
12. Galleria della parete ovest della		
Königsspitze (austriaca)	3400 - 3415 »	» 15
13. Galleria vetta dell'Ortler (austriaca)	3904 »	» ?
**14. Galleria della vetta della Königsspitze (austriaca)	3350 »	» ?
15. Galleria dell'Hochjoch	3530 »	» 150
**16. Galleria del Trafoier nella Vedretta di Campo »	» ?
Diversi altri piccoli tratti »	» 300
Compressivamente m. 11.377		

Fig. 4.13 Elenco delle gallerie di guerra in ghiaccio sul massiccio dell'Ortles-Cevedale estratto da Viazzi, 1997.

¹⁰ Il munizionamento calcolato sulla base di 6 giornate di fuoco per pezzo prevede: 139 casse di cartucce per fucili (223.000 colpi); 8 per pistole mitragliatrici (28.000 colpi), 14 per fucile (26.000 colpi), 1150 bombe (petardi, Sipe, Excelsior, Spezzoni).

Parte 2

***INDAGINI CHIMICHE E ISOTOPICHE E
CARATTERIZZAZIONE
DELLA PRESSIONE BELLICA NELL'AREA***

5. - MATERIALI E METODI ANALITICI

5.1 - CAMPIONAMENTO

Lo studio geochimico si è basato sull'analisi di diverse tipologie di matrici ambientali (sedimenti, suoli e acque), raccolte durante due campagne di campionamento. I campioni sono stati prelevati nei mesi estivi (giugno-settembre) degli anni 2010 – 2011, ovvero quando risulta maggiore la fase stagionale di ritiro del corpo glaciale (fase di ablazione del ghiacciaio).

5.1.1 - Siti di campionamento

Per ogni gruppo montuoso sono stati individuati diversi siti di campionamento di seguito descritti.

Sul gruppo montuoso della **Marmolada** il campionamento ha interessato l'omonimo Ghiacciaio della Marmolada (n. cat. 041) che si estende a nord del crinale principale del massiccio montuoso (Fig. 5.1).

Sette siti di campionamento sono stati indagati sul gruppo montuoso dell'**Adamello-Presanella** (Fig. 5.2a). Nel settore nord-orientale è stato campionato il Ghiacciaio del Presena Occidentale (n. cat. 684) e l'ex insediamento militare del Passo del Castellaccio, situato sul crinale ad ovest che delimita il ghiacciaio. Sempre in questo settore è stato interessato da campionamento il Ghiacciaio della Presanella (n. cat. 678). Nella porzione Centrale del massiccio i prelievi sono stati effettuati sul Ghiacciaio del Mandrone (n. cat. 639) e nei pressi degli ex insediamenti militari limitrofi al Lagoscuro, zona a nord del Ghiacciaio del Mandrone (Alta Val di Genova). Inoltre è stato campionato il Ghiacciaio del Venerocolo (n. cat. 581). Infine sul versante meridionale i campionamenti sono stati effettuati sul Ghiacciaio dell'Adamello (n. cat. 608) e in Valle Adamè (Fig. 5.2b).

Sul massiccio dell'**Ortles-Cevedale** (Fig. 5.3) sono stati individuati 3 siti di campionamento che interessano il settore meridionale, a sud del Monte Cevedale. In particolare il Ghiacciaio della Sforzellina (n. cat. 516) è il più meridionale dei tre, mentre il Ghiacciaio del Dosegù (n. cat. 512) e quello dei Forni (n. cat. 507) si collocano al centro del settore.

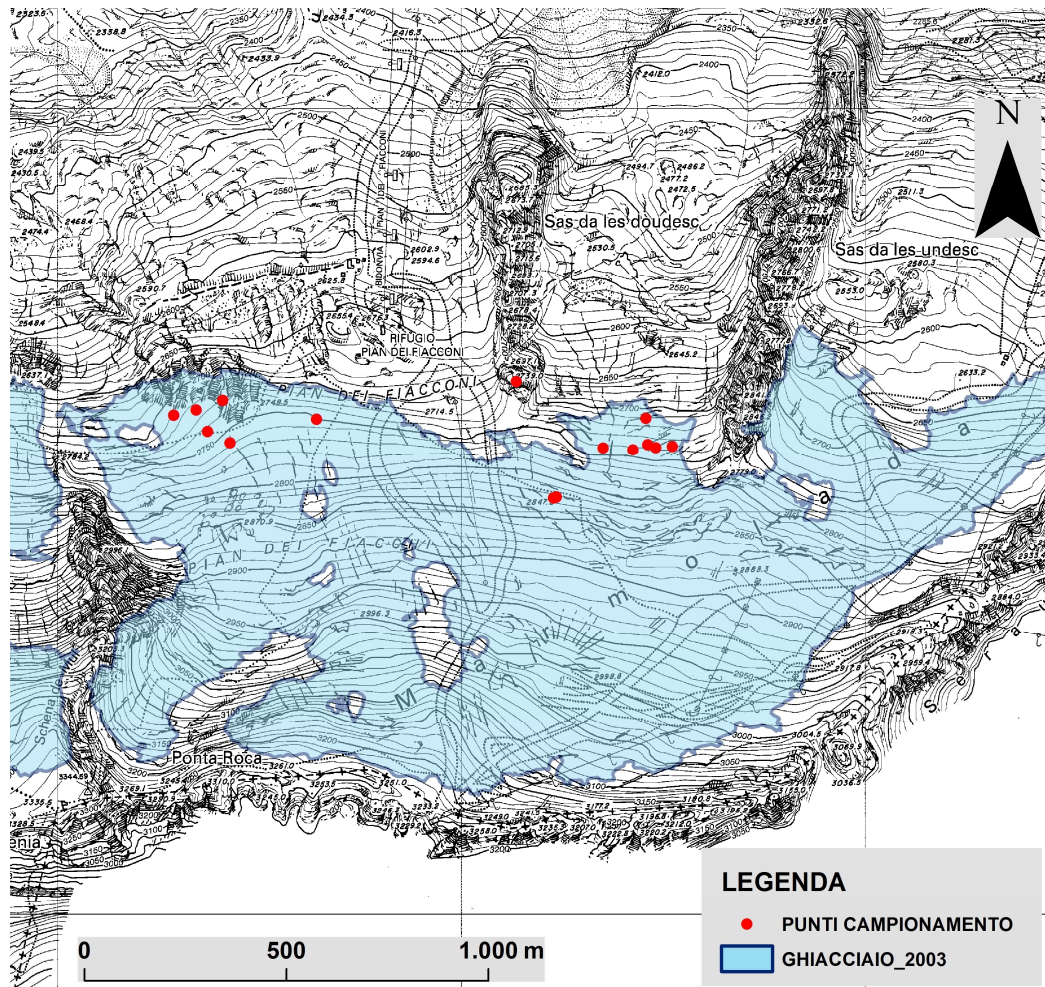
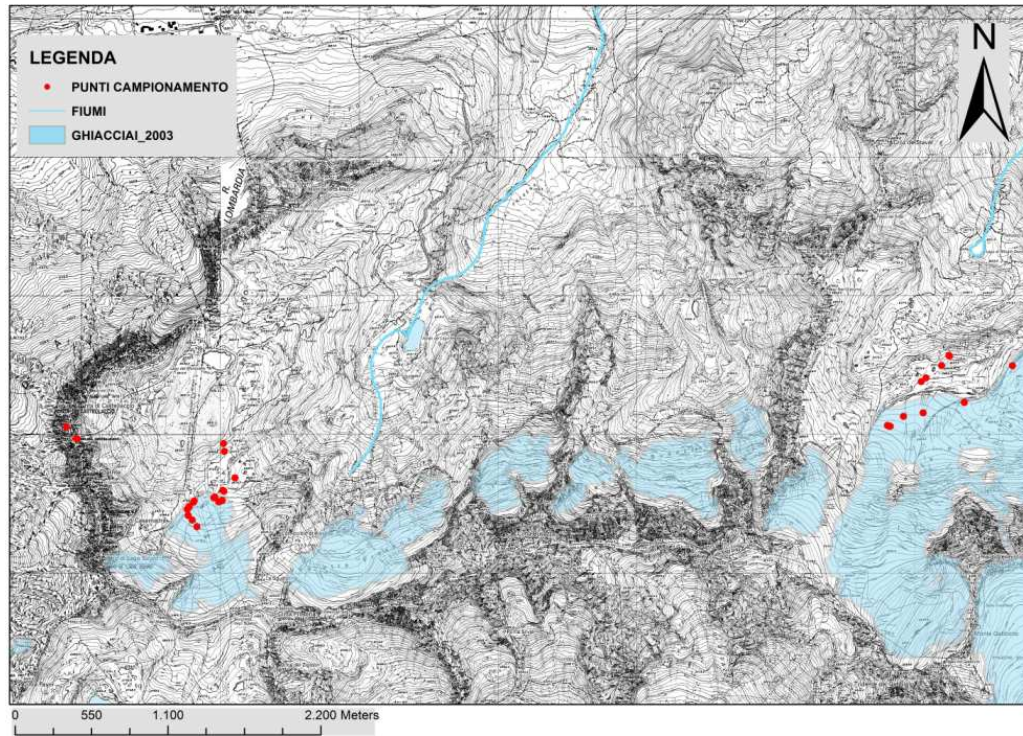
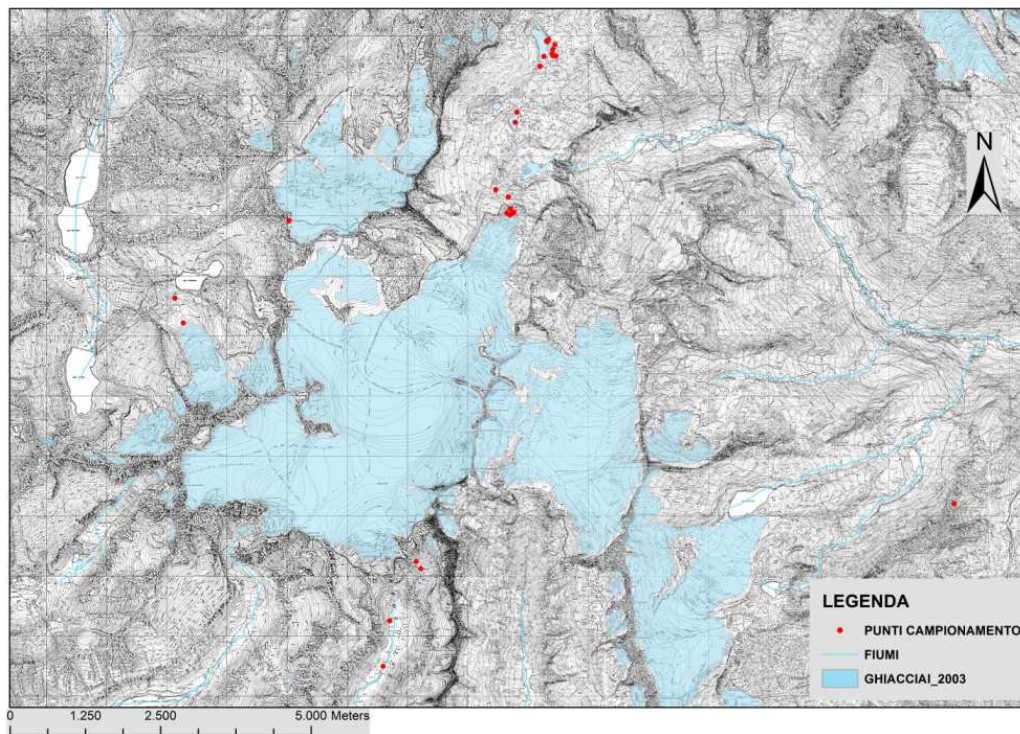


Fig. 5.1 Punti di campionamento sul ghiacciaio della Marmolada.

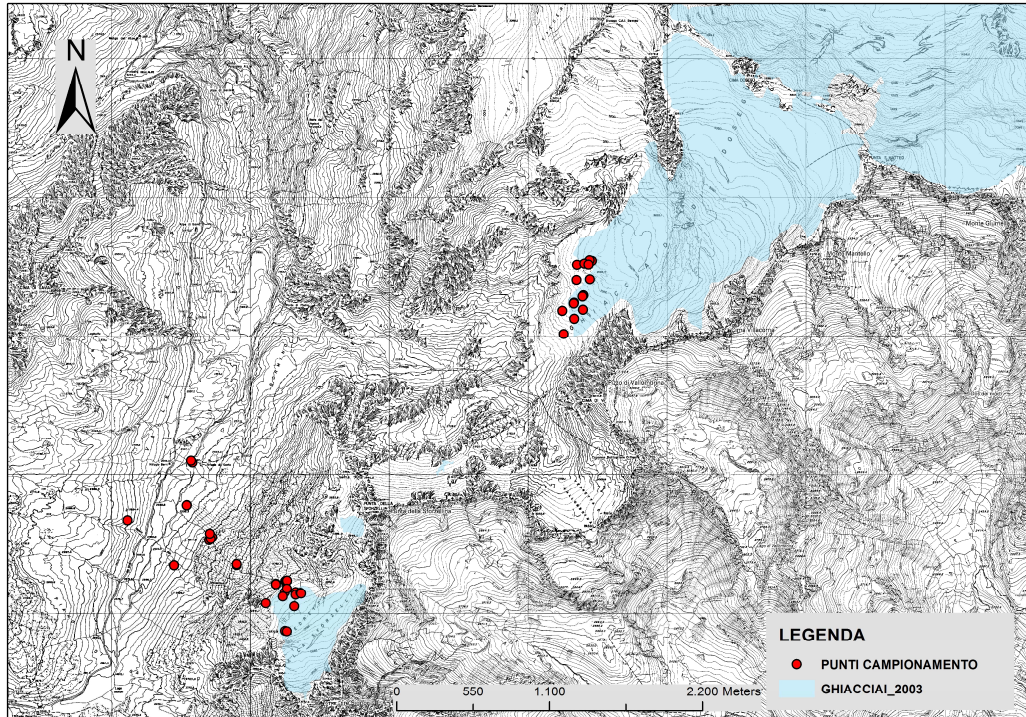


-a-

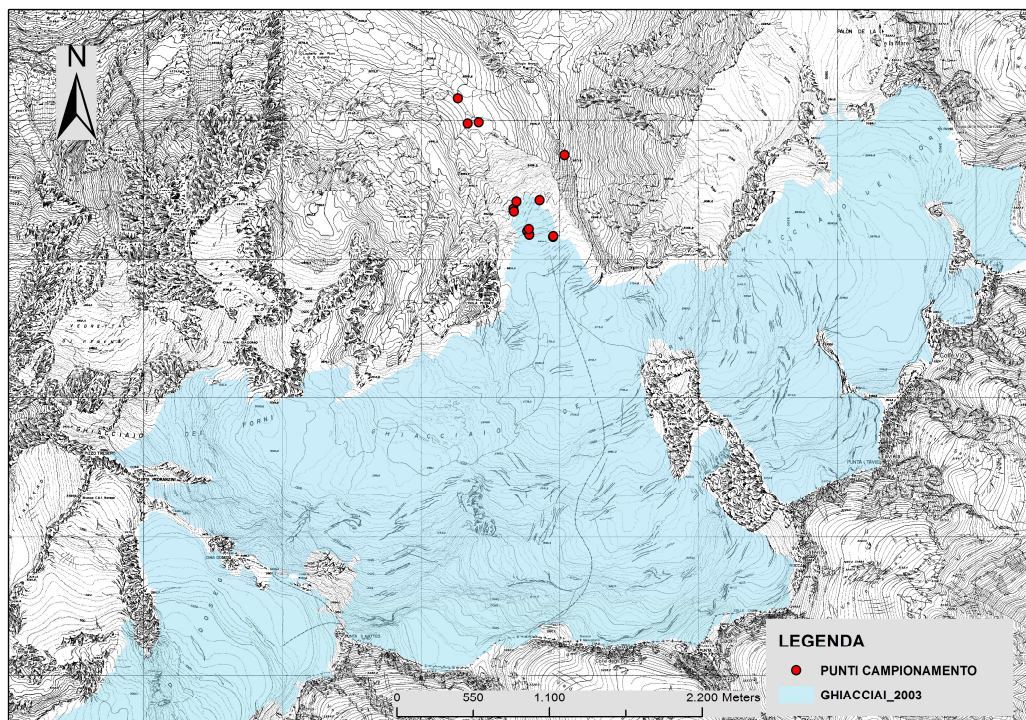


-b-

Fig. 5.2 Punti di campionamento sul massiccio dell'Adamello-Presanella: a) settore nord-orientale; b) settore centro meridionale.



-a-



-b-

Fig. 5.3 Punti di campionamento sul settore meridionale del massiccio dell'Ortles-Cevedale: a) Ghiacciaio della Sforzellina e del Dosegù; b) Ghiacciaio dei Forni.

5.1.2 - Matrici campionate e tecniche di campionamento

Per le nostre indagini sono state prelevate diverse tipologie di campioni; per i dettagli descrittivi dei quali si rimanda all'Appendice A (Tabella I-II-III). Durante il campionamento, per ogni recupero è stata redatta una scheda con i dati inerenti la tipologia di campione, le informazioni relative al sito e la localizzazione, mediante coordinate geografiche del punto di prelievo, definite attraverso strumenti di posizionamento satellitare (GPS, *Global Positioning System*, coordinate espresse in WGS84). Tutti i dati relativi al campionamento sono stati inseriti in ambiente GIS per la creazione di un database geochimico, con la descrizione del tipo di campione, la località e la concentrazione degli elementi chimici analizzati. L'identificativo della banca dati (*primary key*) è rappresentato dalla sigla del campione. Di seguito vengono elencate le tipologie di campioni indagati.

- *Acque*

Il prelievo ha riguardato campioni di acqua di fusione glaciale per un totale di 76 campioni (App. A-Tabella I), campionati alla bocca o alle bocche dei ghiacciai, se in numero maggiore di uno (Fig. 5.4 a). Sono stati prelevati anche campioni di acqua fluvioglaciale lungo i torrenti glaciali e neve. Il campionamento è stato effettuato utilizzando contenitori in LDPE (*Low Density Polyethylene*) da 50 ml, precedentemente lavati in bagni di acidi (acidi nitrico e cloridrico) per garantire l'assenza di contaminazione. Quindi sono stati congelati per evitare variazioni degli equilibri chimici e trasportati e conservati in questo stato fino alla fase di preparazione e analisi.

- *Sedimenti glaciali, suoli e rocce*

I campioni solidi prelevati nell'ambiente glaciale in totale sono 93 (App. A, Tabella II) e sono di diversa tipologia.

I sedimenti sono rappresentati sia da sedimenti glaciali non depositi trasportati nella porzione basale del ghiacciaio (*till*¹ subglaciale-basale), all'interno del ghiacciaio (*till* endoglaciale) sopra o lungo il margine del ghiacciaio (*till* sopraglaciali), che da sedimenti glaciali depositi su morene (*till* di ablazione e *till* di alloggiamento). Inoltre sono stati campionati sedimenti fluvio-glaciali e glacio-lacustri prelevati rispettivamente all'interno dei torrenti e nei laghetti pro glaciali o nei *sandur*². In totale sono stati prelevati 53 campioni di questa tipologia (Fig. 5.4 b; c).

Dove presenti frammenti di materiale bellico (schegge, *shrapnel*, frammenti di bombe) il prelievo del campione è avvenuto nei pressi degli stessi (Fig. 5.4 e). In questi casi, quando possibile, sono stati raccolti più *layer* a diverse profondità (per la descrizione della tecnica di campionamento si rimanda a quanto verrà dettagliato per i suoli).

Circa 500 g di materiale prelevato è stato conservato in sacchetti di nylon sigillati e siglati, fino ad analisi.

¹ Con il termine *till* viene universalmente utilizzato per definire detriti indifferenziati depositati direttamente da un ghiacciaio. Con il termine *morena* si identifica la forma di accumulo mentre il *till* distingue il materiale depositato (Castiglioni, 1986).

² Pianure di alluvionamento proglaciale, formate dai torrenti che escono dalla fronte del ghiacciaio (Castiglioni, 1986).



-a-



-b-



-c-



-d-



-e-

Fig. 5.4 Immagini esemplificative di alcuni dei siti di campionamento sul Ghiacciaio del Dosegù (foto Laterza, 2010).

- *Suoli*

Nell'ambiente glaciale sono stati prelevati anche campioni di suolo, formati sulle morene deposte durante la PEG (Piccola Età Glaciale, detta anche LIA, *Little Ice Age*) o posteriori a questa avanzata (App. A, Tabella I). Si tratta di suoli poco sviluppati³, campionati in particolare sui ghiacciai del Presena e della Presanella (ricordiamo che questi due ghiacciai durante la Prima Guerra Mondiale furono ampiamente utilizzati come sede di insediamenti militari, vedi § 4.2.2). Campioni di suolo antropizzato, risultato delle attività belliche, sono stati prelevati nei pressi dei resti degli insediamenti militari del Passo del Castellaccio e della zona del Lagoscuro (sono i campioni con la sigla CAST e LSCU rispettivamente, in App. A - Tabella I) I campioni di suolo sono in totale 31.

In questi siti è stato recuperato un campione di suolo superficiale, (*top soil*), previa eliminazione della copertura vegetale. In alcuni punti il prelievo è stato effettuato a diversa profondità, lungo la verticale, preferendo suoli non rimaneggiati, in modo da ottenere campioni rappresentativi di suolo residuale sviluppatosi direttamente sulla roccia madre, ed ha interessato gli orizzonti inferiori (*sub soil*), talvolta fino all'orizzonte C (*bottom soil*). In campo è stata effettuata una setacciatura approssimativa a mano, allo scopo di ridurre la componente grossolana caratterizzata per lo più da ciottoli, radici e trattenere la frazione più fine utile per le analisi. Il materiale così recuperato (circa 500 g) anche in questo caso è stato conservato in sacchetti di nylon sigillati e siglati, fino ad analisi (Fig. 5.5).

Il campionamento di più orizzonti è stato effettuato allo scopo di poter analizzare, in modo più dettagliato, le differenze in concentrazione dei metalli pesanti alle varie profondità. Conoscere le concentrazioni elementari nella parte superficiale ed in quella di alterazione della roccia madre, nonché nella roccia madre stessa (definendo il tenore di fondo o *background* naturale), è una metodica utilizzata per comprendere se le fonti responsabili della contaminazione sono di natura antropogenica (nel nostro caso bellica) e/o geogenica.

Per le ragioni appena esposte, le informazioni sul tenore di fondo naturale degli elementi nelle aree indagate, sono state ottenute dal campionamento delle diverse litologie affioranti nei tre gruppi montuosi indagati. Queste sono rappresentate da campioni di tonalite (Capitolo 2, § 2.2), per quanto riguarda il massiccio dell'Adamello-Presanella; campioni di filladi e micascisti (§ 2.3) per quello dell'Ortles-Cevedale e campioni di roccia calcarea, prevalente per il gruppo della Marmolada (§ 2.1). In totale sono stati recuperati 8 campioni di roccia affiorante (App. A-Tabella II).

³ Tipi pedologici appartenenti prevalentemente agli ordini degli Inceptisuoli, § 4.2.2.



Fig. 5.5 Campionamento di suolo antropizzato presso l'ex insediamento militare del Passo del Castellaccio, sullo sfondo il Ghiacciaio Occidentale di Presena.

- *Reperti bellici*

Infine sono stati recuperati diversi reperti bellici, per un numero totale di 56, provenienti dal fronte di guerra montano italiano e austro-ungarico, allo scopo di ottenere indicazioni sugli elementi contenuti nel materiale bellico e dati di confronto per quanto concerne i rapporti isotopici del Pb.



Fig. 5.6 a) Esempio di proiettile *shrapnel* usato durante la Prima Guerra Mondiale sul fronte montano (da Marcuzzo, 2003) con immagini di diverse tipologie di alcuni pallini *shrapnel* campionati (numero 12, 23, 53, 62, 69); b) pallini *shrapnel* ritrovati in campionamento; c) differenti parti delle cartucce contenente alcuni dei proiettili analizzati.

In questo modo è stato possibile in maniera più efficace discriminare la possibile sorgente bellica di metalli pesanti nelle aree indagate.

Gli oggetti analizzati sono 41 pallini *shrapnel* (ampiamente dispersi nei siti analizzati poiché utilizzati nei proiettili *shrapnel*) e 15 proiettili per armi leggere (sia a canna lunga che corta) di origine differente.

La gran parte dei reperti sono stati concessi dal Museo Storico della Guerra di Rovereto, mentre una piccola parte è stata ritrovata durante il campionamento. Infatti, il materiale bellico abbandonato nei luoghi di battaglia glaciali, racchiuso e conservato nel tempo dal ghiacciaio, viene influenzato dalle dinamiche glaciali comportandosi come detrito glaciale propriamente detto. Ad esempio, molti sono i resti di pallini *shrapnel* che vengono trasportati dal ghiacciaio e che è possibile ritrovare anche nei siti da noi indagati (Fig. 5.6). La Tabella III in Appendice A, classifica in dettaglio tali campioni. Questa parte del lavoro è stata ampiamente sviluppata all'interno di una tesi di laurea specialistica in Scienze Chimiche per la Conservazione ed il Restauro dell'Università Ca' Foscari di Venezia (tesi Veronica Ross, 2011) a cui si rimanda per ulteriori dettagli.

5.2 - TRATTAMENTO CAMPIONI PER ANALISI

Per determinare la composizione multi-elementare e isotopica del Pb, i campioni sono stati sottoposti ad opportuni pretrattamenti fisici e trattamenti chimici.

L'intera attività di laboratorio e analisi è stata svolta presso il Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica dell'Università Ca' Foscari di Venezia, IDPA-CNR (Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali- Consiglio Nazionale delle Ricerche) e il Dipartimento di Scienze della Terra di Pisa.

Per ridurre ogni possibile contaminazione, la preparazione dei campioni è stata effettuata nella *Clean Room* (stanza dotata di un sistema per la filtrazione dell'aria con cappa a flusso laminare, classe 100) dei laboratori di Venezia.

5.2.1 Campioni di acqua

I campioni di acqua sono stati scongelati in *Clean Room*. E' stata prelevata un'aliquota di 10 ml posta in *vial* di LDPE, precedentemente lavati in bagno acido. Quindi sottoposta a filtrazione, utilizzando filtri a membrana con pori da \varnothing 0,45 mm, per eliminare il particolato fine, e stabilizzata con HNO₃ ultra-puro al 2%⁴; quindi conservata in congelatore fino all'analisi.

Per verificare eventuali contaminazioni dei reagenti e la validità dell'operatore, diversi bianchi sono stati preparati con la stessa quantità di acido HNO₃ ultra-puro al 2% e acqua ultra pura (18.3 M Ω)⁵.

⁴ Qualità degli acidi utilizzati Merck KGaA, Darmstadt, Germany.

⁵ Resistività elettrica, 18.3 M Ω -cm ottenuta mediante accoppiamento del sistema Purelab-Opzione con Purelab-Ultra da ELGA-Vivendi Water Systems, Bucks, UK.

5.2.2 Campioni di sedimenti, suoli e rocce

I campioni tal quali di sedimenti e suoli sono stati asciugati in stufa ventilata ad una temperatura costante di 40° C per circa 24 ore. Su circa 100 g di campione secco e' stata eseguita una separazione granulometrica ad umido con acqua deionizzata per il recupero della frazione <0,063 mm scelta per le analisi (setacci in acciaio inox ASTM da 230 *mesh*). La frazione <0,063 mm, è stata quindi essiccata a 40°C per 24 ore e conservata in sacchi di *nylon* sigillati fino ad analisi.

Per ottenere dei preparati idonei per le successive analisi è stata utilizzata una digestione chiusa a caldo su piastra riscaldante sotto cappa. Due grammi di campione, polverizzato in mortaio di ceramica, sono stati mineralizzati in 12 ml di *acqua regia* (9 ml di HCl al 30% e 3 ml di HNO₃ al 65%), per circa 1 ora a 95±5°C fino a completa digestione del campione. Le soluzioni risultanti, dopo raffreddamento, sono state recuperate dai *beaker*, utilizzati per la digestione, con HNO₃ (65%) diluito 1:2 (v/v) e posti in provette di polipropilene (da 50 ml in peso). Infine il recupero della fase liquida (soluzione estraente) dalla fase solida (residuo digerito) è stato eseguito mediante centrifugazione a 3000 rpm per 10 min. La soluzione estraente è stata quindi diluita con acqua ultra pura (18.3 MΩ) in provette di polipropilene da 50 ml e conservati in congelatore (-20°C) fino ad analisi. La procedura seguita fanno riferimento alle metodiche ufficiali standardizzate EPA 3050B e ISO Standard 11466 ⁶.

Per il controllo del metodo sono state effettuate repliche di alcuni campioni (vedi § 5.3.5) e digestioni dei soli reagenti utilizzati, diluiti con acqua ultrapura.

I campioni di roccia sono stati pressati meccanicamente e polverizzati in mortaio di ceramica e sono stati sottoposti alla fase di mineralizzazione come descritto per i campioni di suolo e di sedimento.

5.2.3 Campioni bellici

I campioni dei reperti bellici sono stati sottoposti ad una procedura di rimozione meccanica (utilizzando pennelli, spatole e bisturi) per eliminare le patine superficiali di materiale ossidato, incrostazioni superficiali da componenti esterne (terreno, materiale organiche e prodotti di corrosione) in modo da prelevare solo il materiale originale.

Sono stati prelevati da ciascun reperto, da 3 a 5 sottocampioni rappresentativi (circa 100mg ciascuno), poi omogeneizzati, utilizzando un trapano a batteria, con punte di acciaio inox (1-2 mm di spessore, precedentemente decontaminate in bagno ad ultrasuoni) (Fig. 5.7 a). Il prelievo è avvenuto in profondità al fine di raggiungere il metallo puro. In questo modo è stata ottenuta una miscela di trucioli e polvere fine, che è stata conservata in provette di plastica.

⁶ US EPA 3050B (1996), Acid digestion of sediments, sludges, and soils.
ISO Standard 11466 (1995), Soil quality - Extraction of trace elements soluble in *aqua regia*.

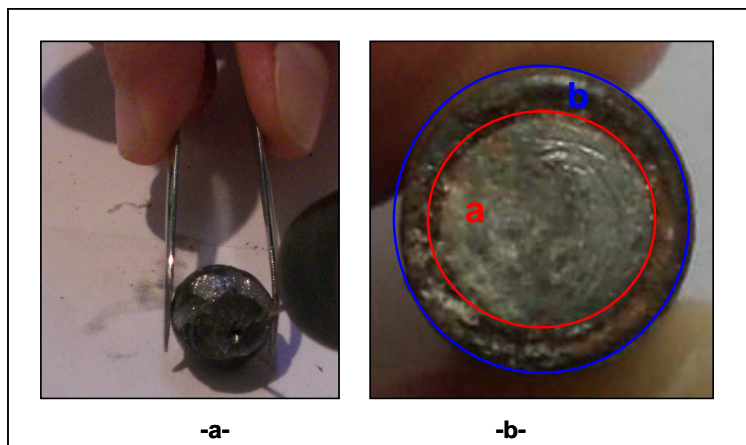


Fig. 5.7 a) Prelievo del campione mediante trapano; b) proiettile con differente composizione del nucleo interno dalla camicia esterna.

Un doppio prelievo è stato effettuato per i proiettili che presentavano differenze macroscopiche, chiaramente visibili, tra il nucleo interno e l'involucro esterno, di probabile differente composizione. I due sub campioni distinti dalla lettera *a* e *b*, rispettivamente sono stati quindi trattati separatamente (Fig. 5.7 b).

Anche per questi campioni è stata effettuata una digestione chiusa a caldo. Circa 100-200 mg di campione polverizzato è stato mineralizzato con 15 ml di HNO₃ supra puro (65%) e acqua ultra pura, sotto cappa per circa 2 ore a 95±5°C fino a completa mineralizzazione del campione. Per la fase di recupero della soluzione estraente si è proceduto come descritto nel § 5.2.2. Anche in questo caso sono state eseguite repliche di alcuni campioni e bianchi delle soluzioni utilizzate per l'estrazione. Per i dettagli relativi alla preparazioni e all'analisi di questi campioni si rimanda inoltre lavoro di Ross, 2011.

5.3 - TECNICHE ANALITICHE

Le concentrazioni di 34 elementi maggiori, minori e in traccia⁷ (Na, Mg, K, Al, Ca, Fe, Ag, Ba, Cd, Co, Cr_{tot}, Mn, Mo, Ni, Pb, Cu, Sn, Tl, Ti, V, Zn, Sr, Li, As, Rb, Sb, U, Cs, Sn, Ga) nei campioni di acqua, sedimenti, suoli, litologia e materiale bellico, è stata determinata mediante spettrometria di massa accoppiata al plasma induttivo ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*). La stessa tecnica è stata inoltre utilizzata per l'analisi dei rapporti isotopici del Pb nei campioni di sedimenti, suoli, rocce e materiale bellico.

5.3.1 - Strumentazione: ICP-MS

L'ICP-MS è una tecnica molto potente per l'analisi di elementi in traccia e ultratraccia ed ampiamente utilizzata. La tecnica si basa sulla ionizzazione del campione in un plasma di Argon ad alta temperatura e quindi sulla separazione delle specie ioniche dell'elemento in base al loro rapporto massa/carica (m/z). In breve e molto schematicamente vengono

⁷ Elementi maggiori ha concentrazione tra 1% e 100%; elementi minori vanno da 0.01% a 1%. Gli elementi in traccia sono espressi in parti per milione (ppm) o parti per miliardo (ppb) e sono presenti in concentrazione inferiore allo 0.01%.

descritti i principi di funzionamento della tecnica ICP-MS e le componenti strumentali fondamentali.

Un moderno strumento ICP-MS comprende sette parti principali: un sistema di introduzione del campione; una fonte di plasma; una regione di interfaccia; un sistema di vuoto; un sistema di messa a fuoco di ioni; un analizzatore di massa e un rivelatore (Fig. 5.8). Per maggiori dettagli si rimanda a Taylor (2001).

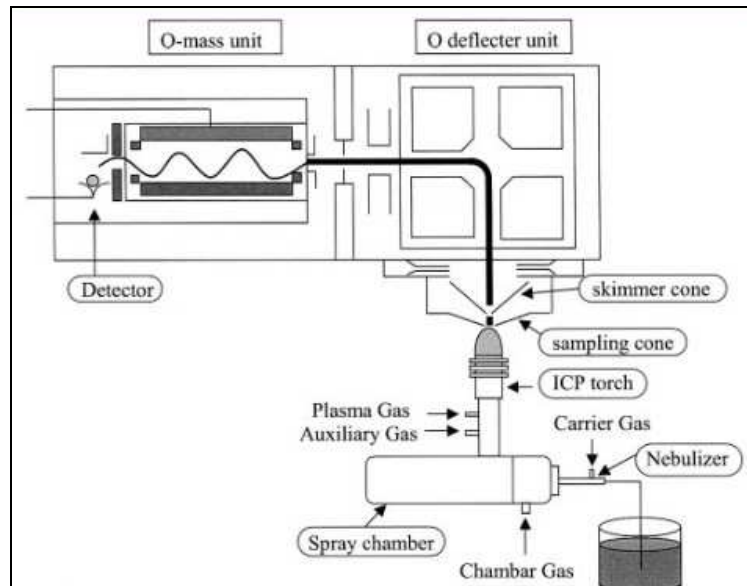


Fig. 5.8 Schema delle componenti essenziali di uno strumento ICP-MS (da Mohammad B. Shabani, 2003).

Il campione in fase liquida, mediante pompa peristaltica, viene pompato nel sistema di introduzione del campione composto da: un **nebulizzatore** che crea un fine aerosol; una **camera spray** che separa le gocce a seconda della loro dimensione. Per permettere di ottenere la massima efficienza nel grado di ionizzazione, poiché il plasma dissolve male le gocce di $\text{Ø} > 10 \mu\text{m}$, queste vengono scartate per gravità ed eliminate.

L'aerosol viene quindi convogliato nella **sorgente di ionizzazione**, la torcia dove viene generato il plasma, un gas ad alta ionizzazione che lavora a circa T di 6000 – 10000 °K (**torcia al plasma**). All'interno di questa il campione vaporizzato, subisce una serie di modifiche fisiche, fino a diventare uno ione carico positivamente. La torcia consiste in 3 tubi concentrici, in genere di quarzo, circondati da una bobina di induzione, in rame, collegato ad un generatore di radiofrequenza (RF) ed è costruita in modo che il campione venga iniettato direttamente nel centro del plasma. Quest'ultimo è ottenuto dall'accoppiamento del potere di radio frequenze e di flusso di Argon in fase gassosa. L'Argon è tipicamente usato perché è un gas inerte e ha un elevato potenziale di prima ionizzazione (15,8 eV), capace di ionizzare tutti gli elementi con un'energia di prima ionizzazione inferiore, cioè la maggior parte degli elementi della tavola periodica.

Poiché l'ICP e l'analizzatore di massa dello strumento operano a pressioni differenti, pressione atmosferica per il primo (760 Torr) e vuoto per il secondo (circa 10^{-6} – 10^{-5} Torr), è necessaria una **zona di interfaccia** tra queste due parti, che trasferisce gli ioni dal plasma allo spettrometro di massa attraverso una graduale riduzione della pressione. Essa

è composta da due coni coassiali metallici con fori centrali molto piccoli (*sampler cone* e *skimmer cone*). Il primo cono (forma smussata, con orifizio centrale di \varnothing 1 mm) isola il plasma di argon, rimosso da una pompa a vuoto, e permette il passaggio solo dei gas ricchi di ioni del campione. Gli ioni passano attraverso il secondo cono (più nettamente angolato rispetto al primo, con un foro centrale di \varnothing 0,4 mm) che ha la funzione di limitare il flusso di gas. Per ridurre gli effetti dell'alta temperatura del plasma sui coni, la zona di interfaccia è raffreddata ad acqua ed è realizzata in materiale che dissipa facilmente il calore (nichel o platino).

Il fascio di ioni dall'interfaccia viene quindi indirizzato all'interno dell'analizzatore di massa da un **sistema di focalizzazione**, costituito da una o più lenti elettrostatiche. Questo sistema restringe l'intervallo di energia del fascio di ioni e concentra e trasferisce, in modo efficiente, il numero massimo di ioni carichi positivamente dell'analita allo spettrometro di massa. In questo modo vengono bloccati neutroni e fotoni, eventualmente prodotti dal plasma, che potrebbero generare instabilità del segnale.

Nell'**analizzatore di massa** gli ioni vengono suddivisi in base al rapporto m/z , caratteristico dell'elemento da analizzare, ottenendo quindi la concentrazione dell'elementi e dei suoi isotopi. Sono disponibili diversi tipi di analizzatore: a quadrupolo, a settore magnetico, a doppia focalizzazione e a tempo di volo. Il primo è il più diffuso per il buon compromesso tra versatilità (analisi isotopiche, speciazione, facilità di accoppiamento con altre tecniche analitiche, etc.) e costi. Il **quadrupolo** è un filtro di massa sequenziale, che separa gli ioni in base al rapporto m/z e consiste di quattro elettrodi a barre di sezione iperbolica. Questi elettrodi, posizionati agli angoli di un quadrato, sono collegati agli alimentatori in modo tale che le coppie opposte di barre siano accoppiate assieme con potenziali a radiofrequenza (ac-rf) e a corrente continua (dc) applicati fra di esse. Si crea un campo magnetico a dinamica iperbolica. Gli ioni entrano in questo campo in modo perpendicolare; oscillano nelle direzioni x e y e l'ampiezza di tali oscillazioni dipende dalla frequenza del potenziale (v) applicato e dalle masse degli ioni. Se l'oscillazione di uno ione è stabile (cioè ampiezza costante) in entrambe le direzioni x e y , lo ione passa il campo e giunge al rivelatore. Gli altri ioni, nelle condizioni di transito di quello ione, vengono sottoposti ad oscillazioni instabili e vanno a scaricarsi sugli elettrodi. Solo una massa ben determinata può attraversare il campo per determinati valori di dc, ac-rf e v ; modulando v si ottiene uno spettro di massa, che riporta l'intensità di ciascun ione in funzione del rapporto m/z .

Quindi gli ioni passanti arrivano al **rilevatore**. Quello più utilizzato nei moderni ICP-MS è un moltiplicatore di elettroni secondari, detto elettromoltiplicatore. Gli ioni selezionati dall'analizzatore nel rivelatore vengono deviati su una serie di dinodi piatti ai quali è applicato un potenziale maggiore in successione. L'impatto dello ione sul primo dinodo genera uno spostamento di cariche elettriche che si trasmette a cascata sugli altri dinodi.

Le cariche elettriche prodotte alla fine del dispositivo sono indirizzate ad un elettrodo collettore e l'impulso elettrico risultante viene direttamente registrato dal computer (*data system*), associato allo strumento, sottoforma di colpi al secondo. Il numero di colpi al secondo registrati per i singoli elementi è proporzionale alla quantità di ioni di elemento nel campione. Per le nostre analisi è stato utilizzato lo strumento Agilent 7500cx (Agilent

Technologies, Yokogawa Analytical Systems, Tokyo, Japan), equipaggiato con quadrupolo e munito di cella di collisione antecedente il quadrupolo (ORS-ICP-QMS) di cui è dotato il Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università Ca' Foscari di Venezia (Fig. 5.9).

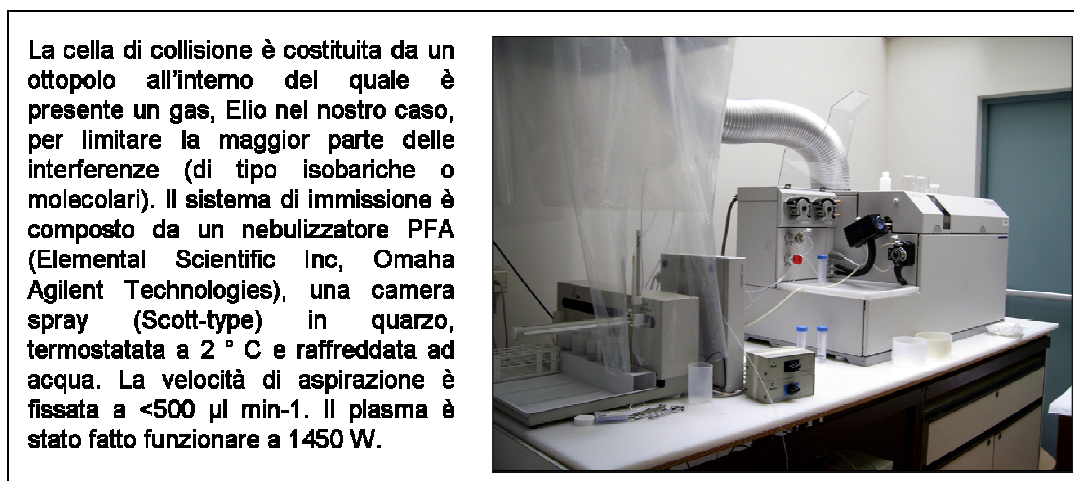


Fig. 5.9 Immagine dello strumento Agilent 7500cx del Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università Ca' Foscari di Venezia (dal www.idpa.cnr.it/venezia.htm).

5.3.2 - Analisi chimica multi-elementare

Tutte le tipologie di campioni sono stati quindi sottoposti ad analisi multielementare. Per quanto riguarda i campioni solidi ambientali attraverso l'estrazione in *acqua regia* e analisi in ICP-MS si ottiene un valore di concentrazione del metallo analizzato definita "pseudototale"⁸ (Alloway, 1990).

Prima di procedere con un'analisi quantitativa multielementare, dovendo analizzare diverse tipologie di campioni è stata effettuata un'analisi semiquantitativa su 23 elementi (tra 7 (Li) e 238 (U) una) e 10 campioni, sia bellici che ambientali. Questo ci ha permesso di valutare rapidamente gli elementi presenti nei diversi campioni e l'ordine di grandezza approssimativo delle rispettive concentrazioni. In funzione di queste informazioni sono state programmate le successive fasi dell'analisi: diluizione da effettuare sulle soluzioni principali estratte dai diversi campioni; messa a punto dei parametri strumentali e la scelta degli standard per la calibrazione.

Per l'analisi quantitativa, la quantificazione degli elementi è stata effettuata attraverso una calibrazione esterna, utilizzando soluzioni preparate con metodo gravimetrico a partire da soluzioni standard certificate più concentrate, contenente gli analiti di interesse. Nello

⁸ Si definisce concentrazione "pseudototale" dell'elemento quella ottenuta mediante digestione acida del campione in *acqua regia*, in quanto normalmente si ottiene un contenuto di circa il 70-80% rispetto al contenuto totale. Le concentrazioni totali sono invece ottenute mediante mineralizzazione acida forte con HF o utilizzando altre tecniche analitiche con la Spettrometria di Fluorescenza a raggi X (XRF). L'*acqua regia* scioglie solo una parte dei minerali silicatici, mineralizza i minerali carbonatici, i minerali argillosi e la materia organica; ciò che rimane insolubile sono i minerali più refrattari a questo tipo di digestione (zircono, corindone spinelli magnesiaci e ferriferi). E' quindi una digestione non totale, ma che permette comunque di estrarre efficacemente la maggior parte degli elementi, in particolare dei metalli pesanti, che potrebbero esser disponibili all'ambiente. (APAT-IRSA-CNR, 2005; Goupta, 1996; Alloway, 1990).

standard multi elementare preparato sono presenti tutti gli elementi da noi scelti in base all'analisi semiquantitativa.

Per i campioni di acqua sono stati utilizzati gli standard multi elementare ICUS 1616 (Ultra Scientific, USA - *Inorganic custom standard*, contenente 27 analiti a concentrazioni variabili 0,5 µg/mL - 10 µg/mL -50 µg/mL, in acqua con HNO₃ diluito al 5%) e IMS-102 (Ultra Scientific, USA - *Calibration Standard*, con 29 analiti tutti alla concentrazione di 10 µg/mL). L'intervallo di concentrazione delle soluzioni preparate in acqua ultra pura con HNO₃ al 2% va da 0,05 µg/L a 50 µg/L per IMS-102 e da 5 µg/L a 2000 µg/L per ICUS 1616. Una seconda serie di standard è stata preparata per lo Sn, partendo da una soluzione standard più concentrata (10 µg/mL). La serie di soluzioni utilizzate per lo standard dello Stagno va da 0,05 µg/L a 50 µg/L.

Per i campioni di suolo, sedimenti e roccia sono stati utilizzati gli stessi standard IMS-102 e ICUS 1616, utilizzati per le acque. Le soluzioni standard multi elementare preparate per l'analisi di questi campioni, contengono gli analiti in un *range* di concentrazione che va da 1µg/L a 2000 µg/L in HNO₃ al 2%. Le soluzioni standard di Stagno preparate per l'analisi hanno concentrazione da 1 µg/L a 1000 µg/L in HNO₃ al 2%, partendo dallo standard mono elementare. Le aliquote delle soluzioni principali di questi campioni sono stati diluiti 1:50 e 1:100, per i campioni più concentrati, in base ai risultati preliminari dell'analisi semiquantitativa, al fine di quantificare tutti gli elementi più importanti in una sola analisi, sfruttando a pieno la linearità della tecnica ICP-MS. Le diluizioni sono state effettuate in contenitori di polipropilene, portate al volume di 50 ml con acqua ultrapura ed HNO₃ al 2%.

Per la quantificazione dei campioni dei reperti bellici sono state preparate soluzioni standard contenente gli analiti di interesse dalla concentrazione di 1 µg/L a 1000 µg/L, dallo standard multi elementare ICUS 2012 (contenente 30 analiti alla concentrazione di 10 µg/mL, in acqua con HNO₃ diluito (5%)). Per Sn, Ti e Cs, non presenti nello standard ICUS-2012, sono state preparate un'ulteriore serie di standard (con variazione di concentrazione da 1 µg/L a 1000 µg/L) partendo da quelli mono elementari (a concentrazione di 1000 µg/mL). Sulla base dell'analisi semiquantitativa, le aliquote delle soluzioni principali dei campioni bellici sono state diluite 1:10.000 in contenitori di polipropilene e portate a volume con acqua ultrapura ed HNO₃ al 2%.

Come standard interno per il controllo della sensibilità e stabilità strumentale durante l'analisi è stato utilizzato lo Xenon (129 uma). Questo elemento, in quanto gas, è presente come impurezza nell'Argon che forma il plasma dello strumento, ma non nei campioni analizzati⁹. I dati raccolti dalle singole analisi sono stati poi corretti per il valore del bianco di digestione e per il fattore di diluizione specifico.

Per quanto concerne le matrici solide analizzate, le concentrazioni finali degli elementi nei campioni ([C] espressa in mg/kg o ppm in peso secco, p. s.) si ottiene dalla formula:

$$[C] = V \cdot [c] / M$$

⁹ Prima di ogni sessione di analisi sono ottimizzati i parametri strumentali (di gas, posizioni della torcia e delle lenti di focalizzazione) controllando l'intensità di Li (m/z=7), Y (m/z=89), Tl (m/z=205) e Ce (m/z=140) in una soluzione standard (tuning solution) in concentrazione pari a 1 µg/l, al fine di ottenere una buona sensibilità e stabilità del segnale.

dove V è il volume soluzione digerita; $[c]$ è la concentrazione strumentale; M è la massa di campione pesata per la digestione (g in p.s.).

L'accuratezza è all'interno di $\pm 20\%$. La media della deviazione standard relativa (RSD%) è risultata essere $<15\%$ per gli elementi analizzati nei campioni bellici, eccetto per Li, Mg, Ni, Se, Mo, Sn, Sb dove il RSD è tra 15-20 %. L'RSD% medio associato alle misure dei campioni di sedimento, suolo e litologia è tra 3-4% per Mg, Al, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Mo; per Ag è di 21%, $<3\%$ per tutti gli altri elementi. Per le acque l'RSD% medio associato alle misure è tra 5-10% per Mg, Al, Ti, V, Cr, Fe, Co, Cs, Sb, Pb, U $<5\%$ per tutti gli altri elementi ne di 25% per il Cd.

5.3.3 - Applicazione degli isotopi di Pb per gli studi di caratterizzazione

Uno tra i più efficaci approcci, sviluppatosi negli ultimi tempi, per lo studio dell'inquinamento ambientale è costituito dalle indagini isotopiche, in particolare molto utilizzata, per diverse ragioni, è la sistematica degli isotopi del Pb.

Il Pb è un metallo non essenziale e tossico, i cui cicli bio-geochimici sono stati ampiamente stravolti dall'esteso uso che l'uomo ne ha fatto nei diversi processi industriali (Adriano, 2001).

L'impronta digitale isotopica del Pb si basa sulle importanti variazioni naturali nelle proporzioni dei suoi isotopi (Dickin, 2005). Il Pb è presente in natura sotto forma di quattro isotopi principali: ^{208}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb and ^{204}Pb , aventi rispettivamente un'abbondanza isotopica relativa pari a 52%, 24%, 23%, 1%. Mentre i primi tre sono radiogenici, in quanto prodotti del decadimento radioattivo di ^{238}U , ^{235}U e ^{232}Th , rispettivamente, il ^{204}Pb è l'unico isotopo primordiale (inteso come il Pb presente nel sistema al momento della formazione) ed è quindi stabile con abbondanza sulla Terra costante nel tempo (Long, 1999).

L'abbondanza relativa degli isotopi del Pb co-varia fortemente e dipende strettamente dalle concentrazioni di Pb primordiale, dalle proporzioni relativa di U-Th-Pb nel sistema, dal decadimento radioattivo di U e Th e dalle lunghezze dei processi di decadimento, dal mixing di Pb derivante da diverse fonti e dal tempo di formazione del minerale (Dickin, 2005). Come risultato, ogni sorgente di Pb ha una propria specifica composizione isotopica. Il Pb è quindi uno dei pochi elementi di rilevanza ambientale ad esporre variazioni isotopiche a seconda del luogo di origine. L'abbondanza dei suoi isotopi e la loro distribuzione è varia in natura ma tale variazione non è significativamente influenzata dai processi di frazionamento (industriali e ambientali). Inoltre il Pb presenta una relativa immobilità geochimica: la composizione isotopica di Pb in un materiale rimane immutata nel tempo e riflette le caratteristiche e le differenze geochimiche della sorgente di Pb già esistenti in natura (Ault *et al.*, 1970).

Pertanto, la determinazione della composizione isotopica del Pb, insieme ai dati relativi alla concentrazione degli elementi nei campioni, in particolar modo dei metalli in traccia, permette di individuare la fonte potenziale di Pb in un sito contaminato e di discriminare, attraverso il confronto dei relativi rapporti, tra Pb di derivazione antropica e naturale (Bollhöfer e Rosman, 2001; Veysseyre *et al.*, 2001).

La composizione isotopica del Pb può essere espressa in vari modi. In genere negli studi relativi all'ambito delle Scienze della Terra e soprattutto ambientali, la composizione isotopica del Pb è comunemente espressa come rapporto $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ con $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$, quest'ultimo è quello preferito in quanto può essere determinato con alta precisione analitica e le abbondanze di questi isotopi sono relativamente importanti. Tuttavia, la normalizzazione a ^{204}Pb ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) produce la più grande variabilità tra i serbatoi (Komárek *et al.*, 2008). L'abbondanza di ^{207}Pb è cambiata poco nel tempo rispetto a ^{206}Pb , poiché la maggior parte del ^{235}U è decaduta, mentre ^{238}U ha ancora un'abbondanza relativamente alta sulla Terra (Erel *et al.*, 2001). Minerali di Pb di antica formazione sono generalmente caratterizzati da un basso rapporto $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ (1,06 -1,10). Quelli più recenti contengono Pb più radiogenico e presentano un valore del rapporto $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ maggiore (> 1.18) (Farmer *et al.*, 2000; Bacon, 2002).

Le applicazioni di questo metodo di indagine, in combinazioni con le più classiche analisi multielementare, sono utilizzate in diversi settori e su molteplici tipologie di campioni. In studi geologici e ambientali sono usate per evidenziare la presenza di inquinamenti o per ricostruzioni paleo ambientali (Komárek *et al.*, 2008; Bacon *et al.*, 2005; Tommasini *et al.*, 2000; Rosmann *et al.*, 2000; Monna *et al.*, 1999; Hopper *et al.*, 1991 per citarne solo alcuni); in archeometria per individuare l'origine di materiali archeologici e la loro provenienza geografica (Balcaen *et al.*, 2010; Baron *et al.*, 2009; Kuleff *et al.*, 2006); in scienze forense per ottenere informazioni sui crimini e sulle armi utilizzate (Stupian, 1975; Stupian *et al.*, 2001; Ulrich *et al.*, 2004; Aggarwal *et al.*, 2008; Andrasko *et al.*, 1993; Zeichner *et al.*, 2006).

5.3.4 - Determinazione dei rapporti isotopici del Pb

L'analisi dei rapporti isotopici del Pb ($\text{Pb}^{204/206}$, $\text{Pb}^{204/207}$, $\text{Pb}^{204/208}$, $\text{Pb}^{208/207}$, $\text{Pb}^{208/206}$, $\text{Pb}^{206/207}$, $\text{Pb}^{206/204}$, $\text{Pb}^{207/206}$, $\text{Pb}^{207/204}$, $\text{Pb}^{208/204}$) è stata applicata sui campioni di sedimenti, suoli, roccia e sui campioni bellici, mediante ICP-MS, con cella di collisione, antecedente il quadrupolo.

Per queste analisi è stato necessario diluire le soluzioni principali dei campioni ottenute dalle digestioni, partendo dalle concentrazioni di Pb note dall'analisi quantitativa, in modo da ottenere una soluzione da analizzare con un contenuto di Pb $< 10\mu\text{g/L}$ per garantire una risposta lineare dello strumento.

Le calibrazioni isotopiche per la correzione degli errori strumentali (mass bias) e per valutare l'accuratezza delle misure sono state effettuate con riferimento allo standard certificato SMR 981 Common Lead Isotopic Standard (NIST, Gaithersburg, MD, USA), per il quale sono noti i rapporti degli isotopi di Pb¹⁰.

Un campione di SMR 981 è stato disciolto a freddo 1:1 (v / v) in HNO₃ diluito (65%) fino ad una concentrazione di 50 mg/L. Una seconda diluizione è stata effettuata fino ad

¹⁰ NIST SMR 981 rapporti noti: $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0.05904 \pm 0.00004$; $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0.91464 \pm 0.00033$; $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2.16810 \pm 0.00080$.

ottenere una soluzione standard di Pb a 10 mg/L. La misura dello standard è stata ripetuta durante l'analisi ogni 4 campioni.

La misura finale dei rapporti isotopici di Pb nel campione è la risultante della media di 6 misure replicate, con associato un valore di precisione espresso come RSD%, che per le nostre analisi è <0,5%.

5.4 - TRATTAMENTO DATI

Nel presente lavoro il trattamento statistico dei dati analitici ha riguardato principalmente gli aspetti di pertinenza della statistica descrittiva univariata, determinando i principali indici statistici di posizione e dispersione. Il trattamento statistico dei dati analitici è stato condotto mediante l'utilizzo del software Statistica 6.0. Sono state utilizzate le potenzialità dei grafici *boxplot* che descrivono in modo schematico e sintetico gli indici statistici relativi alla tendenza centrale e dispersione di un set di dati. La "scatola" (*box*) corrisponde alla parte centrale della distribuzione dei dati comprendente il 50% dei casi, delimitata dai valori del *lower* (25° percentile) ed *upper quartile* 75° percentile (differenza interquartile).

Per i campioni di suolo dell'Adamello-Presanella è stata effettuata la stima della correlazione lineare esistente tra le variabili considerate, tramite il coefficiente di correlazione di Pearson (r), il cui valore può oscillare tra -1 e $+1$, segnalando una perfetta correlazione negativa e positiva. Il livello di significatività della relazione lineare esistente fra i parametri fa riferimento ai valori critici dei coefficienti di correlazione in funzione dei gradi di libertà $n-2$, dove n è il numero di misure effettuate per coppia di variabili considerate. Se il coefficiente calcolato è più grande di quello definito come valore critico (tabulato), allora esiste una significativa relazione lineare tra i parametri considerati, ovvero vi è meno del 5% di probabilità che i punti abbiano una distribuzione casuale.

Inoltre sono state eseguite elaborazioni multivariate utilizzando il metodo statistico dell'Analisi dei gruppi o ***cluster analysis***, una tecnica che partendo da una matrice di dati ne riduce il numero, unendo vari dati in un solo gruppo (*cluster*) in base a una qualche "somiglianza" o "vicinanza". Le tecniche della *cluster analysis* consentono quindi di individuare dei raggruppamenti statisticamente significativi all'interno di un gruppo di variabili, con lo scopo di identificare un minor numero di gruppi, tali che gli elementi appartenenti ad un gruppo siano – in qualche senso – più simili tra loro che non agli elementi appartenenti ad altri gruppi.

La costruzione dei *cluster* si può effettuare in molti modi, sia in funzione della scelta del criterio di "misura della somiglianza" tra i dati, sia delle diverse strategie di raggruppamento (gerarchiche o non-gerarchiche; divisive o agglomerative). Ogni scelta tra questi criteri porta, in genere, a classificazioni differenti.

Per le variabili analizzate nei campioni di suolo dell'Adamello-Presanella è stato utilizzato il "metodo di classificazione gerarchica aggregativa". Come misura adottata per valutare la "somiglianza" tra gli oggetti, definita misura della "distanza", è stato usato il coefficiente di Pearson. La regola scelta (algoritmo aggregativo), in base alla quale si calcola la distanza tra i *cluster* è il così detto *Complete linkage* (metodo del diametro o della massima distanza).

Per i rapporti isotopici del Pb ($Pb^{208/207}$ e $Pb^{206/207}$) indagati nei campioni di suolo, sedimento, roccia delle tre aree studiate è stato invece utilizzato il metodo di Ward come algoritmo aggregativo e come misura della similarità la distanza Euclidea (Sangster, 2000). Allo scopo di esaminare l'importanza relativa della componente naturale verso quella antropogenica della concentrazione dei metalli pesanti nei campioni di sedimento e suolo del'Adamello-Presanella, è stato effettuato il calcolo del Fattore di Arricchimento (*Enrichment Factor*, EF), normalizzando la concentrazione del metallo verso un altro elemento, detto conservativo, in quanto si assume questo abbia avuto un flusso uniforme dal momento in cui la particella di sedimento si è staccata, perché erosa, dalla sorgente crosta-roccia, al momento in cui si deposita (Horowitz, 1991). L'alluminio è l'elemento conservativo più usato per la normalizzazione in quanto è il maggiore costituente della frazione granulometrica fine alluminosilicatica con cui gran parte degli elementi in traccia si associano (Loring e Rantala, 1991).

EF è un indice empirico comunemente usato in letteratura per supportare l'ipotesi che una particolare serie di elementi derivi potenzialmente da sorgenti antropiche; un modo per identificare e quantificare le interferenze umane sul ciclo globale degli elementi (Reimann *et al.*, 2005) ed evidenziare eventuali anomalie nascoste.

La formula utilizzata per calcolarlo è :

$$EF = \frac{(X_{\text{metallo}} / X_{\text{elem.norm}})_{\text{campione}}}{(X_{\text{metallo}} / X_{\text{elem.norm}})_{\text{riferimento}}}$$

dove X_{metallo} = concentrazione totale del metallo analizzato rispettivamente nel campione e nel riferimento; $X_{\text{elem.norm}}$ = concentrazione totale dell'elemento normalizzante analizzato rispettivamente nel campione e nel riferimento. Quando EF è diverso da 1 è possibile che ciò sia legato a variazioni nella provenienza del sedimento, a selezione durante la deposizione, a modificazioni post-deposizionali, oppure a contributi di origine antropica. Per ottenere, quindi, indicazioni sull'inquinamento potenziale da metalli pesanti, in particolare di origine bellica, si confrontano i dati ottenuti rispetto ai valori del tenore di fondo naturale (*background*) delle aree indagate, rappresentate dai campioni di roccia analizzati.

6. – **RISULTATI ANALITICI**

Di seguito sono riportati i risultati delle analisi chimiche e isotopiche distinti per tipologia di campione analizzato e, per quanto riguarda i campioni ambientali, per gruppo montuoso indagato.

6.1 - ANALISI MULTIELEMENTARE

6.1.1 - *Reperti bellici*

In Tabella IV, Appendice B sono riportate le concentrazioni degli elementi indagati nei campioni di reperti bellici. Le concentrazioni degli elementi maggiori sono espresse in %, per gli altri elementi (minori e in traccia) si riportano i valori in termini di mg/g.

Per i nostri scopi questi campioni sono stati utilizzati come materiale di confronto, al fine di ottenere informazioni più specifiche sulla composizione del materiale, in particolare sui metalli pesanti di interesse ambientale, e sulla loro composizione isotopica in riferimento agli isotopi del Pb. Per questo motivo non discuteremo le differenze tra campioni in relazione alla diversa origine e tipologia, per le quali si rimanda alla consultazione della tesi di Ross (2011), in cui viene effettuata una specifica caratterizzazione chimica e isotopica di questi materiali.

Palline di shrapnel

In Tabella 6.1 sono riportati i principali indici di statistica descrittiva degli elementi analizzati nei 41 campioni di palline di *shrapnel*.

Il Pb in questi campioni ha una concentrazione media di $91 \pm 14\%$ e variabile tra 7% e 97%. L'Sb è presente contenuto variabile da un minimo di 0,03% a un massimo di 12,6% e media di $3,5 \pm 3,1\%$ a seconda dell'origine e della tipologia di proiettile *shrapnel* a cui appartengono. Il Fe presenta un *range* di concentrazione ristretto tra 90% a 97% e una media di $94 \pm 3\%$ nei campioni 24-27.

Lo Zn ha il valore medio di $0,34 \pm 0,17\%$, con un intervallo di variazione tra 0,07% e 1,10%. Concentrazioni medie di $0,17 \pm 0,29\%$ presenta il Ni che è variabile da 0,03% come valore minimo a 1,83% come valore massimo. Infine il Cu varia tra 0,08% e 0,54% e i campioni presentano un contenuto medio di $0,16 \pm 0,09\%$. Tra gli elementi indagati minori e in traccia Al ha media di $9,95 \pm 4,86$ mg/g, mentre i contenuti medi di Ba sono di $5,66 \pm 3,47$ mg/g. Mg, con valore medio di $3,85 \pm 1,79$ mg/g, e As (media di $2,37 \pm 1,96$ mg/g) sono quelli che presentano le concentrazioni medie più alte.

Ti e Sn hanno contenuti medi compresi tra 1-2 mg/g ($1,35 \pm 0,32$ mg/g; $1,11 \pm 2,35$ mg/g); mentre per quanto concerne gli altri elementi in traccia analizzati i valori medi sono < 1 mg/g (Li, V, Cr, Mn, Ga, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, Cs, Tl, U).

Tabella 6.1 Indici statistici degli elementi analizzati nei reperti bellici rappresentati da palline di *shrapnel*.

	Conteggi	Minimo	Massimo	Media	Mediana	Std.Dev.
<i>palline</i>						
<i>shrapnel</i>						
Pb %	38	7	97	91	94	14
Fe %	4	90	97	94	95	3
Sb %	41	0,03	12,6	3,5	2,9	3,1
Zn %	41	0,07	1,10	0,34	0,37	0,20
Ni %	41	0,03	1,83	0,17	0,07	0,29
Cu %	41	0,08	0,54	0,16	0,14	0,09
Li mg/g	41	0,01	0,84	0,28	0,12	0,27
Mg mg/g	41	1,63	11,68	3,85	3,96	1,79
Al mg/g	34	0,45	18,39	9,65	10,91	4,64
Ti mg/g	41	0,70	2,21	1,35	1,41	0,32
V mg/g	36	0,005	1,50	0,37	0,37	0,41
Cr mg/g	22	0,03	2,12	0,89	0,83	0,56
Mn mg/g	28	0,45	0,98	0,60	0,58	0,12
Ga mg/g	41	0,01	2,11	0,65	0,26	0,70
As mg/g	41	1,11	12,49	2,37	1,76	1,96
Rb mg/g	41	0,47	0,83	0,59	0,56	0,09
Sr mg/g	41	0,01	0,93	0,33	0,16	0,31
Mo mg/g	40	0,01	2,17	0,99	1,36	0,71
Ag mg/g	41	0,01	0,95	0,36	0,45	0,27
Cd mg/g	39	0,07	0,91	0,36	0,19	0,26
Sn mg/g	38	0,01	11,64	1,19	0,11	2,35
Cs mg/g	40	0,14	0,34	0,19	0,18	0,05
Ba mg/g	41	0,07	12,69	5,66	5,67	3,47
Tl mg/g	25	0,21	0,32	0,25	0,24	0,03
U mg/g	40	0,09	0,24	0,12	0,11	0,03

Proiettili

Ricordiamo che per questi reperti sono stati recuperati e quindi distinti due campioni (come descritto nel § 5.2.1) analizzati separatamente: l'interno e l'esterno, indicati con lettera *a* e *b* rispettivamente in Tabella IV.

Gli indici statistico-descrittivi per questi campioni sono sintetizzati in Tabella 6.2.

Interno dei proiettili

I contenuti medi di Pb nei nuclei interni dei proiettili analizzati, per arma a canna lunga, fucili (campioni 29a, 31a – 36a, 38-40a, 42a), sono di $96 \pm 1\%$ e presentano un *range* ristretto tra 95% e 98%. I campioni austriaci (29a, 31a, 42a, 50a) hanno contenuti di Sb $>1,50\%$; la media di questo elemento è $0,43 \pm 0,70\%$.

Zn, Cu e Ni presentano valori medi dell'ordine di 0,31% per i primi due e di $0,12 \pm 0,11\%$ per il Ni. Il Fe per l'interno dei proiettili per la maggior parte dei campioni non è stato determinato (Tabella 6.2). Elementi quali Al, Ba e Mn sono presenti rispettivamente in questi campioni con contenuti medi di $12,24 \pm 2,05$ mg/g; $6,24 \pm 3,34$ mg/g; $3,39 \pm 0,92$ mg/g. As e Ti hanno valori medi poco superiori a 1mg/g mentre tutti le altre tracce hanno concentrazione medie <1 mg/g (Li, V, Cr, Mn, Ga, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, Sn, Cs, Tl, Bi, U).

I campioni di interno proiettili per pistole (47a, 48a, 49a e 50a), presentano Mn con media di 0,70 mg/g e As con media di 2,50 mg/g (Tabella IV).

Esterno dei proiettili

Il Fe presenta un range di 56% - 108 % e valore medio di $84 \pm 24\%$ nei campioni 29b, 31b, 42b e 50b. Il campione 39b è composto per il 97% da Pb; che è presente anche nei due campioni 29b e 31b (25% e 40% rispettivamente). Sb ha concentrazioni dell'ordine di 1,50% nei 29b e 31b (Tabella IV, Appendice B).

Cu e Ni (32b-36b) sono presenti con valori medi di circa 91% e 16%; Cu e Zn (38b-40b; 47b-49b) contenuti medi dell'ordine di 70% e 33%. Al e Ba hanno concentrazione media di 13mg/g e di 6mg/g. As e Mo hanno contenuti medi compresi tra 1-2mg/g. Tutti gli altri elementi analizzati presentano valori <1mg/g (Li, Ti, V, Cr, Ga, Rb, Sr, Ag, Cd, Sn, Cs, Bi, U).

Tabella 6.2 Indici statistici degli elementi analizzati nei proiettile, distinti tra i campioni dell'interno (a) e dell'esterno (b).

	Conteggi	Min	Max	Media	Mediana	Std.Dev.	Conteggi	Min	Max	Media	Mediana	Std.Dev.
	<i>proiettile interno (a)</i>						<i>proiettile esterno (b)</i>					
Pb %	15	95	98	96	96	1	4	1	97	41	32	41
Fe %	--	n.d*	n.d	n.d	n.d	n.d	4	56	108	84	85	24
Sb %	15	0,00	1,61	0,43	0,03	0,70	15	0,02	0,079	0,13	0,03	0,23
Zn %	15	0,02	0,34	0,12	0,05	0,11	15	0,03	18	5,27	0,10	7,6
Ni %	15	0,09	1,03	0,30	0,15	0,31	15	0,16	102	54	70	40
Cu %	15	0,09	0,48	0,32	0,37	0,14	15	0,24	36	11	0,39	16
Li mg/g	15	0,15	0,67	0,44	0,49	0,18	15	0,02	0,08	0,04	0,03	0,02
Mg mg/g	15	1,57	4,85	3,39	3,48	0,92		n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Al mg/g	11	9,75	16,11	12,24	11,31	2,05	15	8,55	19,2	13,0	12,8	2,9
Ti mg/g	15	0,76	2,41	1,19	1,03	0,48	15	0,00	0,11	0,05	0,05	0,03
V mg/g	14	0,01	0,45	0,28	0,33	0,15	15	0,11	0,16	0,14	0,14	0,02
Cr mg/g	11	0,51	0,75	0,61	0,57	0,08	15	0,68	1,00	0,82	0,84	0,11
Mn mg/g	4	0,59	0,90	0,70	0,66	0,14		n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Ga mg/g	15	0,04	1,69	1,01	1,33	0,62	15	0,44	0,68	0,58	0,59	0,08
As mg/g	15	0,80	3,23	1,39	1,08	0,74	15	0,87	1,70	1,16	1,05	0,27
Rb mg/g	15	0,46	0,91	0,58	0,58	0,12	15	0,53	0,76	0,63	0,62	0,07
Sr mg/g	15	0,03	0,73	0,46	0,55	0,26	15	0,08	0,11	0,10	0,10	0,01
Mo mg/g...	15	0,53	2,42	0,53	0,04	0,87	15	1,33	1,91	1,60	1,55	0,20
Ag mg/g	15	0,01	0,75	0,16	0,01	0,27	15	0,40	0,59	0,47	0,48	0,06
Cd mg/g	15	0,20	0,72	0,50	0,53	0,17	15	0,11	0,88	0,25	0,16	0,20
Sn mg/g	15	0,02	0,18	0,05	0,04	0,04	15	0,02	0,35	0,08	0,04	0,08
Cs mg/g	15	0,14	0,30	0,19	0,18	0,04	15	0,17	0,39	0,23	0,21	0,06
Ba mg/g	14	0,02	9,72	6,24	7,90	3,34	15	4,07	8,03	5,98	6,01	1,25
Tl mg/g	4	0,24	0,30	0,27	0,26	0,02		n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
U mg/g	15	0,09	0,18	0,12	0,12	0,02	15	0,09	0,13	0,11	0,11	0,01

*n.d; non determinato

6.1.2 – Sedimenti, suoli e roccia

La descrizione dei campioni e le concentrazioni degli elementi analizzati sono presentati in Tabella I e Tabella II rispettivamente, in Appendice A. Le concentrazioni degli elementi maggiori sono riportate in %, mentre i metalli pesanti e tutti gli altri elementi in traccia sono espressi in ppm (mg/kg). Di seguito presentiamo i risultati distinguendo per gruppo montuoso indagato.

Le analisi degli elementi maggiori e di alcuni elementi in traccia sono state effettuate per poter interpretare meglio le distribuzioni dei metalli pesanti quali Pb, Sb, Cu, Zn, Ni, Cr e Sn in particolare (ma anche Mg, As, Mn e Mo e elementi più abbondanti nella crosta continentale superiore quali Al, Fe, Ti, Ba) e per discriminare il carattere antropogenico (bellico) o naturale dei loro eventuali arricchimenti rispetto al *background* naturale.

Campioni Marmolada

Gli indici statistici essenziali delle concentrazioni degli elementi analizzati nei 4 campioni prelevati nell'ambiente glaciale della Marmolada sono sintetizzati in Tabella 6.3.

Tabella 6.3 Indici statistici per i campioni della Marmolada; confronto con campione di roccia carbonatica MARM9.

	Numero di conteggi	Minimo	Massimo	Media	Mediana	Std. Dev	MARM 9
Na %	4	0,008	0,035	0,017	0,013	0,012	0,0069
Al %	4	0,33	3,99	1,80	1,44	1,56	0,0062
Mg %	4	0,91	2,87	2,12	2,34	0,91	0,27
K %	4	0,07	0,89	0,38	0,28	0,36	0,0019
Ca %	4	6,8	33	24	27	12	27
Fe %	4	0,99	5,66	2,89	2,46	1,98	0,36
Ba ppm	4	13	220	85	53	93	12
Ti ppm	4	42	203	91	59	75	4,1
V ppm	4	12	95	46	38	35	1,5
Cr ppm	4	7	86	36	26	36	1,1
Mn ppm	4	992	1442	1234	1252	216	132
Ni ppm	4	12	73	35	27	28	3,2
Cu ppm	4	15	135	57	38	54	1,2
Zn ppm	4	61	514	301	315	186	n.d*
Sn ppm	4	1	26	9	6	12	n.d
Sb ppm	4	0,44	4,91	1,94	1,22	2,11	1,0
Pb ppm	4	131	1633	740	598	642	2,0
Cd ppm	4	0,6	2,2	1,7	2,0	0,8	n.d
Co ppm	4	4	24	12	11	8	0,79
As ppm	4	7	14	9	8	3	6,9
Mo ppm	4	0,3	3,3	1,4	0,9	1,4	0,64
Ag ppm	4	0,1	1,6	0,6	0,3	0,7	n.d
Li ppm	4	3	43	19	14	17	0,13
Ga ppm	4	1,0	11	4,5	3,0	4,5	0,34
Rb ppm	4	4	58	26	20	23	n.d
Sr ppm	4	104	257	201	220	67	216
Cs ppm	4	0,5	5,7	2,7	2,2	2,2	0,36
Tl ppm	4	0,2	1,2	0,7	0,6	0,4	n.d
U ppm	4	0,6	3,3	1,5	1,0	1,3	0,19

*n.d; non determinato

Il Ca è presente con contenuti medi di $24 \pm 11,78\%$ e un *range* tra 6,8% (MARM 26) e 33% (MARM 5). Mg varia da 2,87% (MARM 5) a 0,91% (MARM 32) e media di $2,12 \pm 0,91\%$. Al ($1,80 \pm 1,56\%$) variabile da 0,33% (MARM 5) a 3,99% (MARM 26). K e Na presentano concentrazioni medie di $0,38 \pm 0,36\%$ (0,07-0,89%); Na di $0,017 \pm 0,012\%$ (0,008-0,035%).

I contenuti minimi di questi elementi si evidenziano nel campione MARM 5 per il K e sia in questo campione che in MARM 32 per il Na; i massimi in MARM 26 per entrambi.

Fe varia tra 0,99% e 5,66% (MARM 5-26) e assume valore medio di $2,89 \pm 1,98\%$. Ti e Ba hanno contenuti medi < 100 ppm e i valori massimi sono evidenti nel campione MARM26 (203ppm e 220ppm rispettivamente), mentre i minimi nel campione MARM5. Si osservano contenuti medi di 201 ± 67 ppm per Sr (intervallo di variazione tra 257 e 104ppm, rispettivamente in MARM5 e MARM26).

Tra i metalli pesanti di nostro interesse il Pb ha media di 740 ± 642 ppm, minimo di 131ppm (MARM 5) e massimo di 1633ppm (MARM 26). Sb varia tra 0,42 ppm (MARM 32) a 4,91ppm (MARM 26), con valori medi di $1,94 \pm 2,11$ ppm. Mn presenta concentrazioni medie di 1231 ± 216 ppm con massimo di 1442ppm e minimo di 922ppm (rispettivamente nei campioni MARM 5 e MARM 26). Cu presenta un range di 15-135ppm, nei campioni MARM 5- MARM 26, ha media di 57 ± 54 ppm. Nel MARM 26 osserviamo il massimo dello Zn (514ppm) che nel set di dati presenta minimo di 61 ppm (MARM 5) e media di 301 ± 186 ppm. Ni varia da 12 (MARM 5) a 73ppm (MARM 26) e media di 35 ± 28 ppm, concentrazioni simili sono riportate anche per il Cr con valori massimi (7ppm) e minimi (86ppm) negli stessi campioni (media 36 ± 36 ppm). Contenuti medi di 9 ± 12 ppm mostra Sn con massimo e minimo variabile tra 1-10ppm (MARM 5- MARM 26). As presenta un contenuto medio di 9 ± 3 ppm.

Tutti i campioni analizzati compreso quello rappresentativo di roccia carbonatica (MARM 9) hanno valori tra 7-9 ppm di As, mentre MARM26 ha contenuti di 14ppm. Altri metalli pesanti di interesse ambientale quale Co presenta valori medi di 12 ± 8 ppm; Mo e Cd hanno contenuti medi di 1,4ppm e 1,7ppm mentre Ag è < 1 ppm.

Il campione MARM 9 (roccia carbonatica) è composto da Ca per il 27%, Fe e Mg per il 0,36% e 0,27%. Tra gli elementi in traccia si osservano valori di 216ppm per lo Sr. Ad eccezione di As (7ppm) e Ba (12ppm) tutti gli altri elementi hanno valori tra 1 - 4ppm o < 1 ppm

Campioni Adamello-Presanella

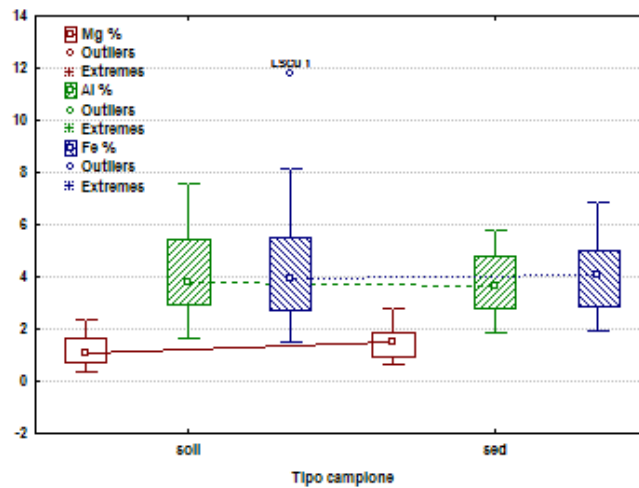
In Tabella 6.4 sono presentati i valori degli indici statistici per gli elementi maggiori dei campioni del massiccio dell'Adamello-Presanella; nella stessa tabella vengono riportati i valori medi per i campioni di tonalite (5 campioni, Tabella V in Appendice B), considerati come rappresentativi delle normali concentrazioni degli elementi presenti nell'area.

Le variazioni degli elementi maggiori presentate dalle diverse tipologie di campioni indagate in questa area, i sedimenti (16 campioni) e i suoli (29 campioni), sono confrontate attraverso *box plot*, in Fig. 6.1.

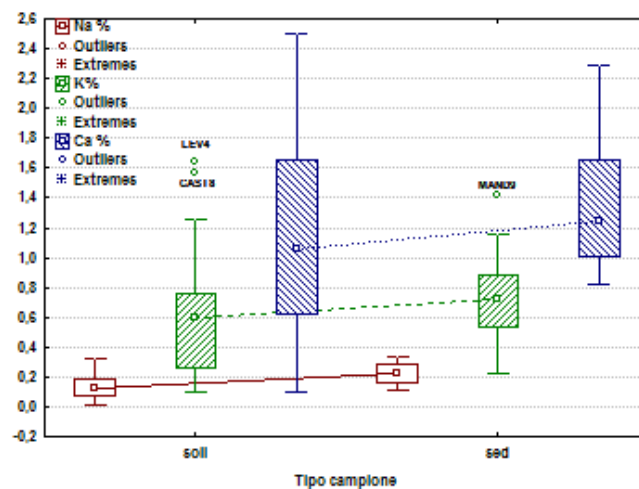
Tabella 6.4 Indici statistici degli elementi maggiori per i campioni Adamello-Presanella; confronto contenuti medi della tonalite.

ELEMENTI	Numero di conteggi	Media	Mediana	Minimo	Massimo	25%	75%	Std.Dev.	TONALITE
Na %	45	0,17	0,16	0,01	0,33	0,17	0,28	0,09	0,28
Al %	45	3,99	3,71	1,68	7,6	2,76	4,77	1,53	1,16
Mg %	45	1,30	1,28	0,34	2,8	0,96	1,87	0,61	3,01
K %	45	0,65	0,66	0,10	1,6	0,53	0,88	0,37	1,31
Ca %	45	1,20	1,19	0,10	2,5	1,01	1,66	0,61	0,88
Fe %	45	4,23	4,01	1,52	11,8	2,83	5,02	1,94	3,38

I campioni dell'Adamello-Presanella sono costituiti da contenuti medi di Fe di $4,23 \pm 3,38\%$ (con minimo di 1,52% nel campione MAND 10 e massimo di 11,8% nel campione LSCU 1, considerato *outlier* della distribuzione come riportato in Fig. 6.1a) e Al di $3,99 \pm 1,16\%$ (minimo di 1,68% nel PRESA 2 e massimo di 7,6% nel CAST 3).



-a-



-b-

Fig. 6.1 *Box plot* delle concentrazioni degli elementi maggiori a) Mg, Al, Fe; b) Na, K, Ca nei campioni di sedimento e di suolo del gruppo montuoso Adamello-Presanella.

I valori di Mg medi sono di $1,30 \pm 0,61\%$ e Ca $1,20 \pm 0,61\%$. Mentre il primo elemento presenta il massimo nel campione LCSCU 14 (2,8%) e minimo di 0,34% nel campione PRE 18, il Ca varia da un minimo di 0,10% in LCSCU 16 a un massimo di 2,5% in CAST 3.

La media di K è di $0,65 \pm 0,37\%$ (variabile tra 0,10% e 1,6% rispettivamente nei campioni LCSCU 14 e PRE 18). Infine Na ha media di $0,17 \pm 0,09\%$ e minimo di 0,01% nel campione LCSCU 15, mentre il massimo di 0,33% sono evidenziati in PRESA 5 (Fig 6.1).

In Fig. 6.1 sono riportati i *box plot* delle concentrazioni degli elementi maggiori distinti per campioni di sedimento e di suolo del gruppo montuoso Adamello-Presanella. Nei 16 campioni di sedimento, il Na ha media di 0,22% e mediana di 0,23%; Al di 3,78% e 3,67% rispettivamente; Mg media di 1,53% e mediana di 1,49%; K di 0,73% e 0,72; Ca 1,35% e 1,24% e in fine il Fe ha media di 4,16% e 4,11%.

I campioni di suolo presentano contenuti medi e mediani degli elementi maggiori di: Na 0,13% per entrambi gli indici; Mg 1,18%-1,05%; Al di 4,11%-3,81%; K 0,61% per entrambi gli indici; Ca 1,12% per media e mediana di 1,06%; Fe di 4,13%-3,71%.

Per quanto riguarda i metalli pesanti e gli altri elementi in traccia, gli indici statistici sono riportati in Tabella 6.5 distinguendo per tipologia di campione tra sedimenti e suoli e confrontando i contenuti con i valori medi presenti nei campioni di tonalite.

Sedimenti glaciali

Tra gli elementi in traccia nei sedimenti il Ti presenta valori medi di 2791 ± 954 ppm (varia tra un minimo di 1114ppm e un massimo di 4530ppm, nei campioni PRE 23 e PRESA 5); Ba ha media di 211 ± 65 ppm (con intervallo tra minimo e massimo di 86-308ppm, nei campioni PRE 23 e PRESA 5), Fig 6.2a.

Lo Zn, tra i metalli pesanti, varia tra un minimo di 47ppm (PRE 23) e un massimo di 181ppm (PRE 11) e ha contenuti medi di 99 ± 38 ppm e la mediana assume valore di 95ppm (Fig 6.2b). Il Pb (Fig 6.2c) ha valori medi di 18 ± 11 ppm con intervallo di variazione tra 8,1-44ppm, valore considerato *outlier* della distribuzione (PRESA 26-PRE 11). Il 50% dei dati ricade tra i valori 11-21ppm. Contenuti medi di $14 \pm 5,3$ ppm presenta il Co (5,7-23ppm; MAND3-PRE18). mentre nei campioni PRE 23 e PRE 18 si osservano il minimo (445ppm) e il massimo (1572ppm) di Mn che ha contenuti medi nei sedimenti dell'Adamello-Presanella di 906 ± 317 ppm e la metà dei campioni rientra tra valori di 642-1120ppm.

In questi campioni inoltre Ni, Cr (Fig 6.2e) e Cu (Fig 6.2b) presentano valori medi <20ppm mentre Sn e As hanno concentrazioni medie poco superiori ai 2ppm. Media <1ppm hanno gli elementi quali Sb, Ag, Mo, Cd.

Suoli

I suoli (Tabella 6.5) campionati sia sulle morene dei ghiacciai del gruppo montuoso Adamello-Presanella (ghiacciaio del Mandrone, del Presena e della Presanella) che nei pressi dei resti degli insediamenti militari (P.sso del Castellaccio e Lagoscuro) sono caratterizzati da contenuti medi di Ti di 1964 ± 1233 ppm, mediana di 1774ppm (Fig 6.2a), con un minimo di 74ppm e un massimo di 4300ppm (campioni LSCU 14-LEV4 rispettivamente). Il Ba (Fig 6.2a) ha media di 568 ± 981 ppm, minimo di 72 ppm (LSCU 16)

e massimo di 5366 ppm (CAST 8, valore estremo); il 50% dei dati di concentrazione ricade per questo elemento in un *range* tra 220-532ppm.

Tra i metalli pesanti di maggiore interesse evidenziamo le concentrazioni medie di Cu di 104 ± 194 ppm, valore minimo di 2,5ppm (MAND 11) e massimo di 997ppm (CAST 8 valore estremo, insieme a LSCU 1); nel campione CAST 8 si osserva il valore massimo (estremo anche in questo caso) per i valori di Zn (1827ppm) che ha invece valore minimo nel MAND 10 (43ppm) e media di 244 ± 338 ppm (Fig 6.2b). Il 50% dei dati per il Cu ricade tra 13 e 97ppm, per lo Zn tra 103-231ppm.

In questi campioni le concentrazioni medie di Pb sono di 489 ± 679 ppm (Fig 6.2c). Il minimo di concentrazione (6,6ppm) di questo elemento si ritrova nel campione MAND 11 e il massimo (2494 ppm) in LSCU 1, valore estremo riportato, mentre il 50% dei dati è racchiuso tra 35 e 470ppm.

Sb varia da 0,03ppm a 32ppm (con media $4,3 \pm 6,7$ ppm). Il valore massimo si ritrova nel campione PRESA 1. Sn presenta contenuti medi di 52 ± 167 ppm, minimo di 1,1ppm e massimo di 903ppm, rispettivamente nel campione LSCU 16 e LSCU 1.

Il CAST 8 presenta inoltre i contenuti massimi di Co (Fig 6.2d), elemento con concentrazione media di $12 \pm 5,4$ ppm e minimo di 4ppm (MAND 10). Il massimo di As (14ppm) si osserva nel campione LSCU 2, valore *outlier*, mentre il valore minimo è di 1,1ppm in CAST 7, il valore medio riportato per questo elemento è di $5,1 \pm 3,7$ ppm. In fine Cd, Mo, Ag hanno concentrazioni medie inferiori a 1ppm.

Ni e Cr (Fig 6.2e) hanno valori medi di 16 ± 15 ppm e 27 ± 17 ppm, minimo di 3,1ppm e 8ppm in MAND 10, mentre nel campione LSCU 1 il massimo di 80 ppm e 85 ppm rispettivamente, considerato un valore che non rientra nella normale distribuzione dei dati ma estremo. Per questi due elementi le scatole dei plot racchiudono valori compresi tra 8-17ppm per il Ni e 17-34ppm per Cr.

Considerando la media dei valori ritrovati nei 5 campioni di tonalite per gli elementi maggiori (Tabella 6.4), si riportano i contenuti di Fe di 3,38% e Mg di 3,01%. Concentrazioni inferiori al 2% presentano K (1,31%) e Al (1,16%) mentre Ca e Na sono <1%. Tra gli elementi in traccia (Tabella 6.5) Ba e Ti hanno valori medi di 395ppm e 2948ppm rispettivamente. In questi campioni si osservano come metalli pesanti Mn (835ppm) e Zn (69ppm). Pb presenta concentrazioni medie di 6ppm; Sb e Sn hanno medie di 2,8ppm; Cu, Ni, Cr e Co sono contenuti con medie <15ppm; Cd, Mo, Ag hanno valori medi <1ppm.

Tabella 6.5 Indici statistici campioni Adamello-Presanella distinti tra sedimenti e suoli; confronto contenuti medi della tonalite.

	Numero di conteggi	Media	Mediana	Minimo	Massimo	25%	75%	Std.Dev.	Numero di conteggi	Media	Mediana	Minimo	Massimo	25%	75%	Std.Dev.	ROCCIA
	<i>SEDIMENTI</i>								<i>SUOLI</i>								
Ba ppm	16	211	218	86	308	170	256	65	29	568	355	72	5366	220	532	981	395
Ti ppm	16	2791	2758	1114	4530	2174	3455	954	29	1964	1774	74	4300	1117	2979	1233	2948
V ppm	16	106	107	51	207	67	129	42	29	83	72	32	169	50	106	39	85
Cr ppm	16	18	18	7,38	27	14	21	6,2	29	27	22	8	85	17	34	17	13
Mn ppm	16	906	854	445	1572	642	1120	317	29	853	740	161	1665	1246	1504	476	835
Ni ppm	16	6,7	6,7	2,5	14	5	7	2,7	29	16	13	3,1	80	8	17	15	5,3
Cu ppm	16	11	9,3	4,1	26	7	14	5,4	29	104	41	2,5	997	13	97	194	6,2
Zn ppm	16	99	95	47	181	69	122	38	29	244	151	43	1827	103	231	338	69
Sn ppm	16	2,6	2,3	0,80	6,9	1	3	1,6	29	52	14	1,1	903	2,7	24	167	2,8
Sb ppm	15	0,46	0,14	0,03	1,7	0,1	1,0	0,57	29	4,3	1,8	0,03	32	0,6	5,6	6,7	2,8
Pb ppm	16	18	13	8,1	44	11	21	11	29	489	223	6,6	2494	35	470	679	6
Cd ppm	10	0,08	0,08	0,03	0,16	0,04	0,11	0,05	28	0,33	0,17	0,01	2,0	0,1	0,4	0,43	0,04
Co ppm	16	14	14	5,7	23	9	17	5,3	29	12	12	4	23	8,3	16	5,4	10
As ppm	16	2,7	2,4	0,71	5,9	2	3	1,4	29	5,1	3,6	1,1	14	2,0	6,4	3,7	3,5
Mo ppm	16	0,26	0,17	0,06	1,07	0,15	0,25	0,26	29	0,58	0,41	0,09	1,7	0,2	0,9	0,47	0,17
Ag ppm	10	0,06	0,05	0,03	0,16	0,03	0,09	0,04	26	0,23	0,14	0,03	1,1	0,1	0,2	0,27	0,02
Li ppm	16	54	54	25	82	43	65	16	29	48	44	13	88	28	68	22	57
Ga ppm	16	18	19	8,3	27	14	23	5,5	29	29	19	7,8	236	14	28	42	22
Rb ppm	16	53	52	16	90	39	62	20	29	54	42	13	154	29	71	34	85
Sr ppm	16	81	72	43	125	62	103	27	29	117	92	15	291	46	148	88	59
Cs ppm	16	4,7	4,5	2,2	7,8	4	6	1,6	29	6,7	5,8	1,76	14	4,3	8,9	3,6	5
Tl ppm	16	0,26	0,26	0,08	0,47	0,2	0,3	0,11	29	0,42	0,38	0,12	0,8	0,3	0,5	0,21	0,9
U ppm	16	4,4	4,7	1,5	7,7	2	6	2,1	29	4,9	3,1	1,1	19	2,4	5,0	4,7	2,7

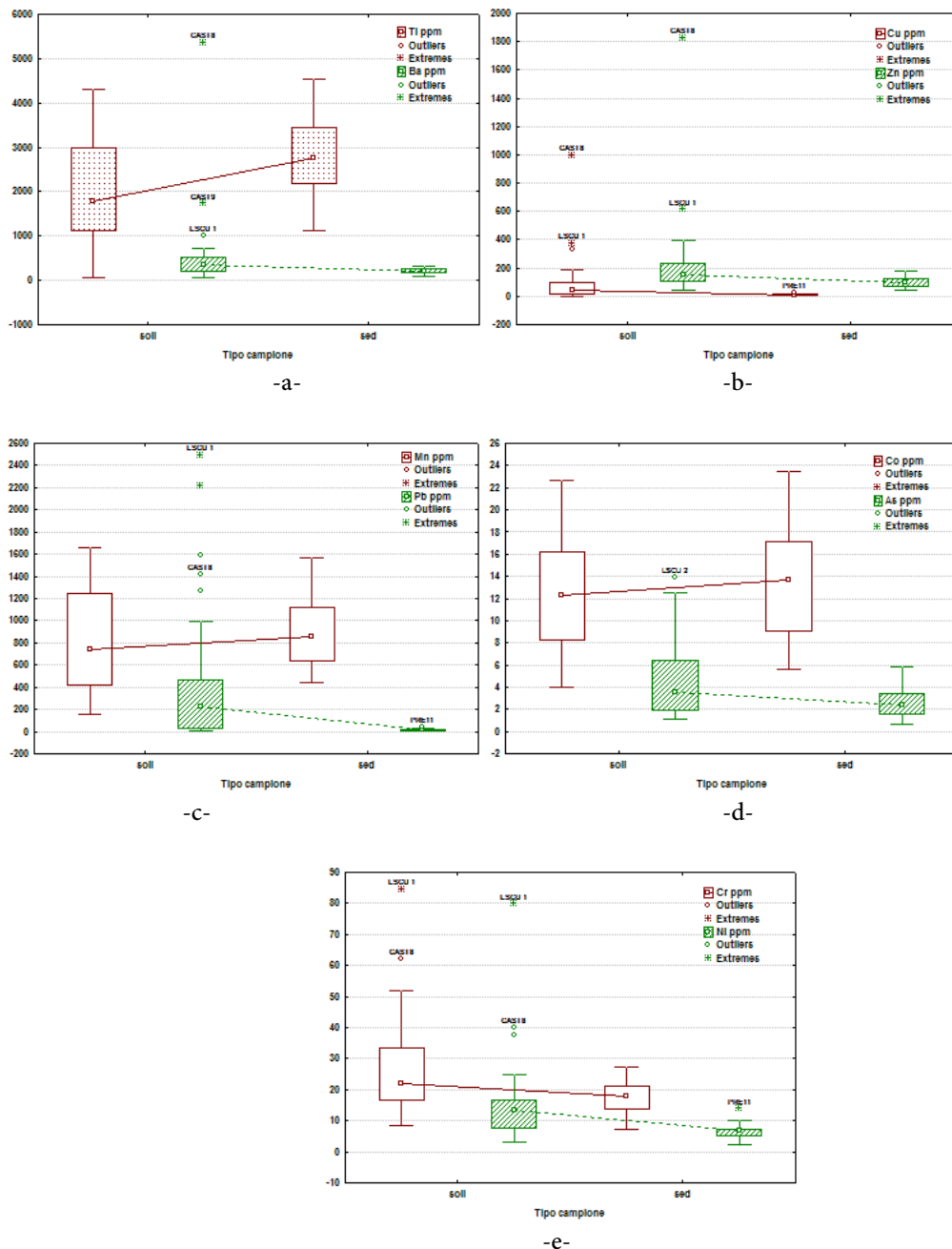


Fig. 6.2 Box plot delle concentrazioni degli elementi: a) Ti, Ba; b) Cu, Zn; c) Mn, Pb; d) Co, As; e) Cr, Ni, nei campioni di sedimento e di suolo del gruppo montuoso Adamello-Presanella.

In Fig. 6.3 vengono riportate le variazioni in concentrazione dei metalli pesanti quali Pb, Zn, Cu e Ba; Sn, Sb, Cr e Ni nei campioni prelevati a diverse profondità (i *layer* sono distinti con le lettere romane progressive in Tabella V, Appendice A.

Nel grafico in Fig. 6.3a e Fig. 6.3b sono riportati le variazioni lungo la verticale per i campioni del P.sso del Castellaccio (CAST1, CAST2, CAST3). Il Pb (Fig. 6. 3a) presenta valori di 1808ppm nel campione più superficiale (CAST 1) e tende a diminuire di concentrazione negli strati inferiori pure presentando valori superiori a 1000ppm. Gli altri elementi quali Zn, Cu hanno variazioni poco significative con la profondità e presentano nei tre *layer* osservabili valori >200ppm per Zn e 80ppm per Cu. Anche il Ba presenta

variazioni poco rilevanti con la profondità pur osservando valori leggermente più bassi in corrispondenza della profondità di 1cm (473ppm) e valori più alti alla profondità di 12,5 cm (539 ppm). Per lo Sn (Fig. 6. 3b) si registrano concentrazioni variabili tra 27ppm nel CAST 2 e 24 ppm nel CAST 3, anche se i contenuti rimangono sostanzialmente simili. Comportamento simile è mostrato da Ni (circa 15ppm), Cr (circa 30ppm) e Sb, che si mantengono su valori di concentrazione di 10ppm.

Nei campioni CAST 4-5-6-7 (Fig. 6. 3c), il Pb ha, in generale, concentrazioni superiori a 150ppm e mostra un netto *trend* di variazione lineare negativa con la profondità passando da valori di 400ppm, nel campione CAST 4, a valori di 151ppm nel campione CAST 7 a 25cm di profondità. Il Cu presenta una variabilità poco pronunciata, anche se si riscontrano concentrazioni relativamente più alte (>50ppm) intorno ai 15cm di profondità. Nel campione CAST 5 (a circa 6cm di profondità) i valori di Cu sono quelli più bassi (50ppm) mentre sono più alti i valori di Zn (397ppm). In particolare, si osserva una tendenza alla diminuzione con la profondità (89ppm) delle concentrazioni di questo elemento, dopo i 6cm di profondità. Un comportamento diverso è mostrato dal Ba che presenta concentrazioni maggiori nei primi centimetri (551ppm), che diminuiscono con la profondità fino a 6cm (386ppm) per poi aumentare nuovamente alla profondità di 15cm (472ppm), così come evidenziato per il Cu. Un comportamento simile, anche se per concentrazioni nettamente più basse (Fig. 6. 3d), è mostrato anche da Ni, Cr e Sn (valori >15ppm nei primi 15cm), mentre per Sb non si rileva un particolare incremento in concentrazione con la profondità (valori <2ppm).

I metalli quali Pb, Zn e Cu nei campioni CAST 8-9-10 (Fig. 6.3e) presentano alti valori di concentrazione nei primi centimetri (1416, 1827, 997ppm rispettivamente), ma evidente è il *trend* di diminuzione con la profondità (7, 96, 9ppm rispettivamente per Pb, Zn, Cu). Lo stesso comportamento (Fig. 6. 3f) si osserva per il Ni (40-9ppm), Cr (62-23ppm), Sb (10-2ppm) e Sn. In particolare quest'ultimo elemento assume concentrazioni molto diverse nel campione più superficiale e nel campione CAST 10, rispettivamente di circa 150ppm e 4 ppm.

In Fig 6.3g si riportano le variazioni di concentrazione lungo il profilo LSCU 14-15-16.

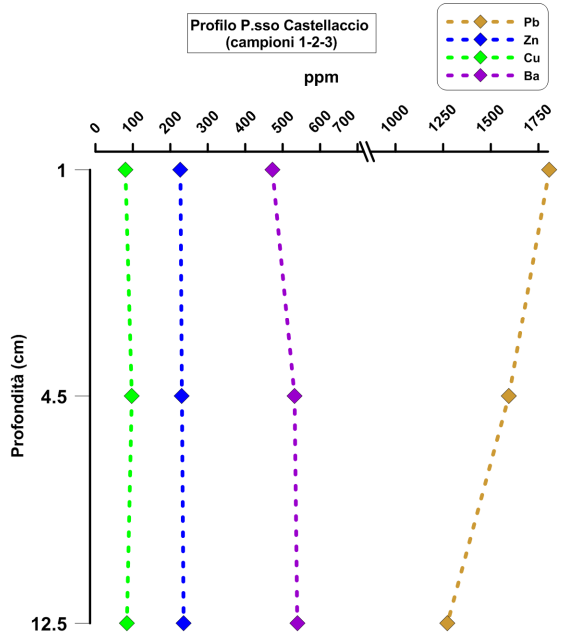
Il Pb passa da alti valori di concentrazione (376ppm) nel campione LSCU14 (2cm) a valori di 55ppm nel campione LSCU15 (6,5cm), per raggiungere valori <20ppm nel campione LSCU 16 (14cm). Sia Ba che Zn e Cu presentano un comportamento simile passando da valori di 220, 151 e 149 ppm a 72, 50, 18ppm rispettivamente.

Concentrazioni di Sn pari a 76ppm si riscontrano per il campione più superficiale LSCU14 (2cm) che presenta valori di 5ppm in Sb (Fig 6.3h). Entrambi questi elementi, come anche Cr e Ni, presentano un *trend* di diminuzione con la profondità.

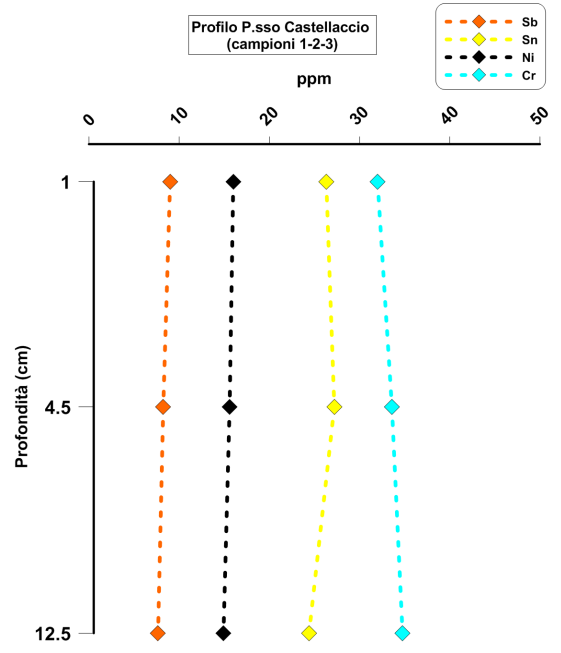
Nel Profilo PRESA 1-2-3-4 in Fig 6.3i, il Pb presenta valori di concentrazione più alti (56ppm) nei primi centimetri che tendono a diminuire con la profondità fino a valori <10ppm (PRESA4). Il Cu ha valori di circa 10ppm nei diversi *layer* e non si evidenziano variazioni apprezzabili. I valori di concentrazione variano notevolmente per lo Zn tra PRESA 1, il campione più superficiale, e PRESA 2, strato tra 3,5-7,5cm di profondità passando da 123ppm a 78ppm, per poi aumentare leggermente negli strati sottostanti. Un andamento simile, anche se più marcato, presenta il Ba che mostra valori più alti di concentrazione (<150ppm) negli strati più profondi (>7,5cm).

All'aumentare della profondità Sn e Sb diminuiscono nettamente in concentrazione passando da valori di 14ppm e 32ppm rispettivamente, a valori <3ppm nei campioni a profondità >3,5cm (Fig 6.3j). Concentrazioni inferiori a 20ppm e poco variabili con la profondità sono evidenziate per Ni e Cr.

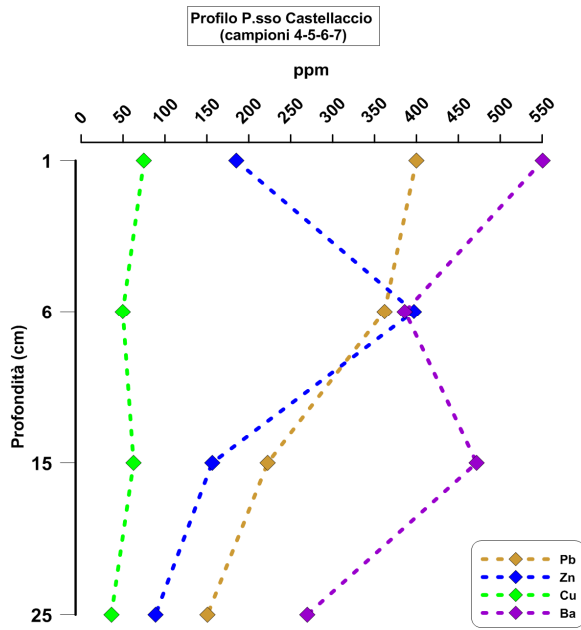
Infine il campione più superficiale nel profilo LEV 2-3-4 (Fig 6.3k) , presenta concentrazioni di Cu e Zn rispettivamente di 26 ppm e 176ppm, valori che diminuiscono nel campione a profondità maggiore (LEV 4), ovvero rispettivamente 11ppm e 113ppm. Una forte tendenza alla diminuzione con l'aumento della profondità è mostrata soprattutto dal Pb che assume valori da 346ppm a 160ppm. Il Ba presenta un andamento diverso e concentrazioni che aumentano dagli strati più superficiali (431ppm in LEV2) a quelli sottostanti (711ppm in LEV4). Sn, Sb (< 6ppm) e Ni, Cr pur presentando valori di concentrazioni bassi tendono in generale a diminuire con la profondità (Fig 6.3l).



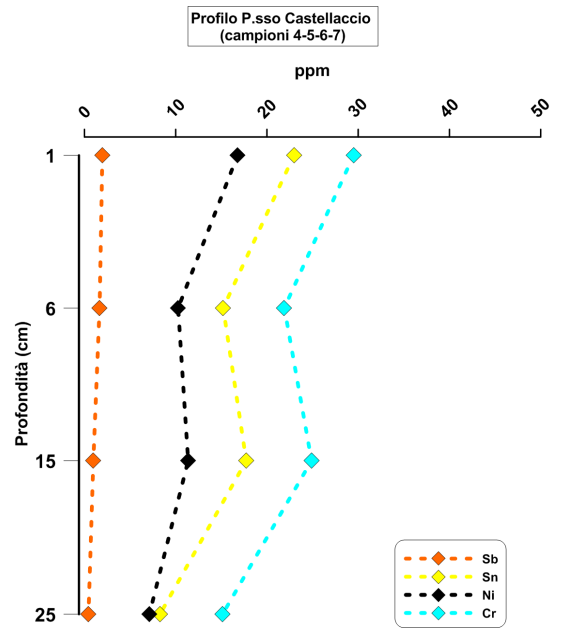
-a-



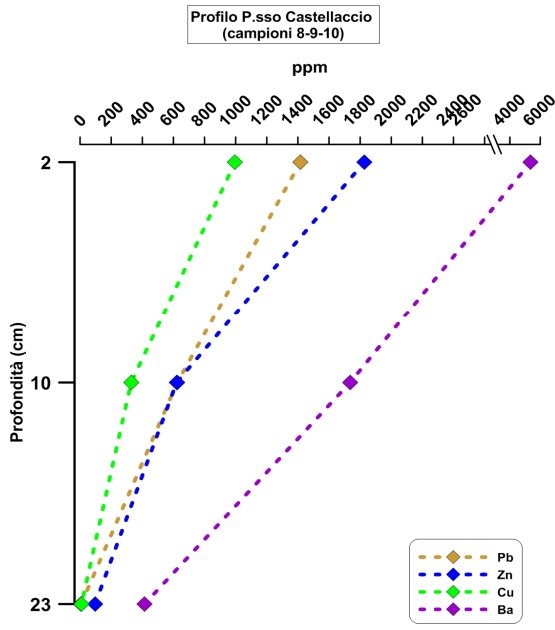
-b-



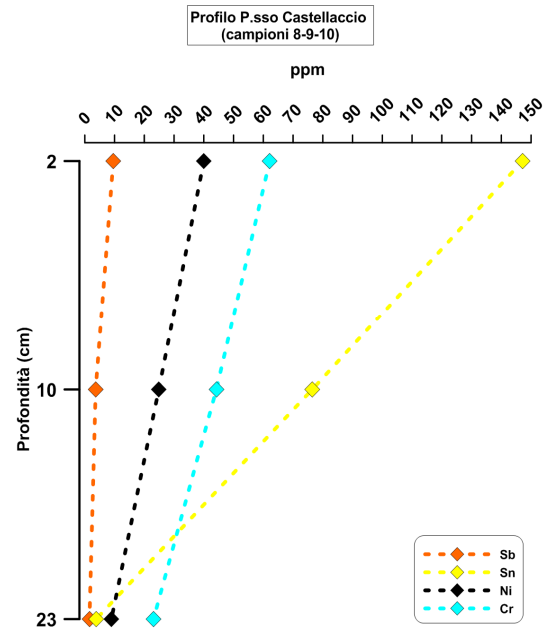
-c-



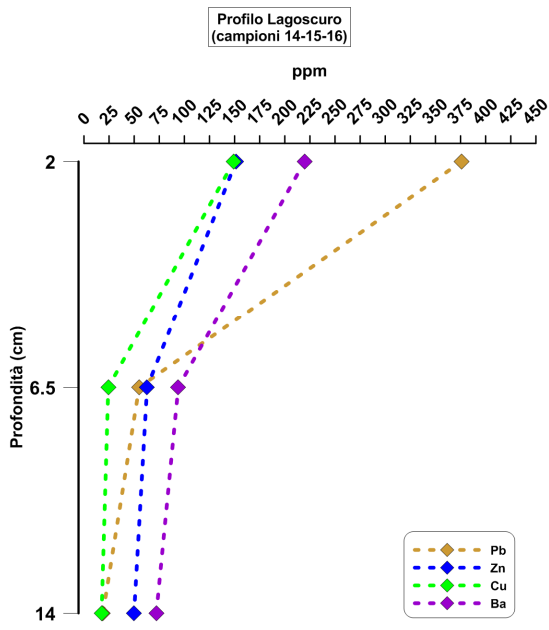
-d-



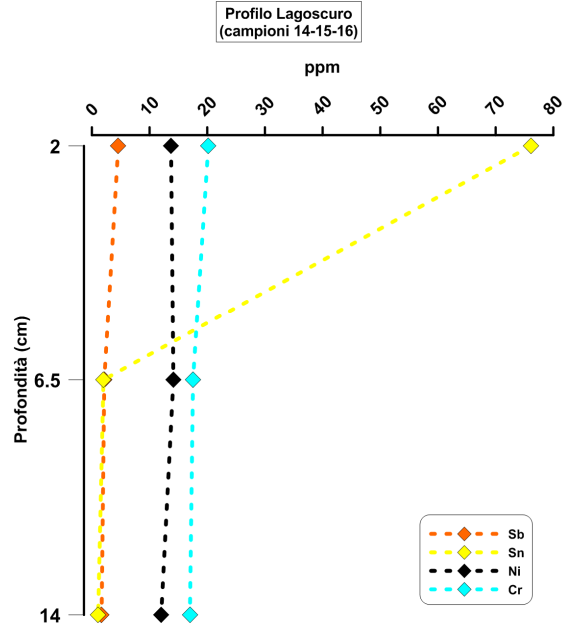
-e-



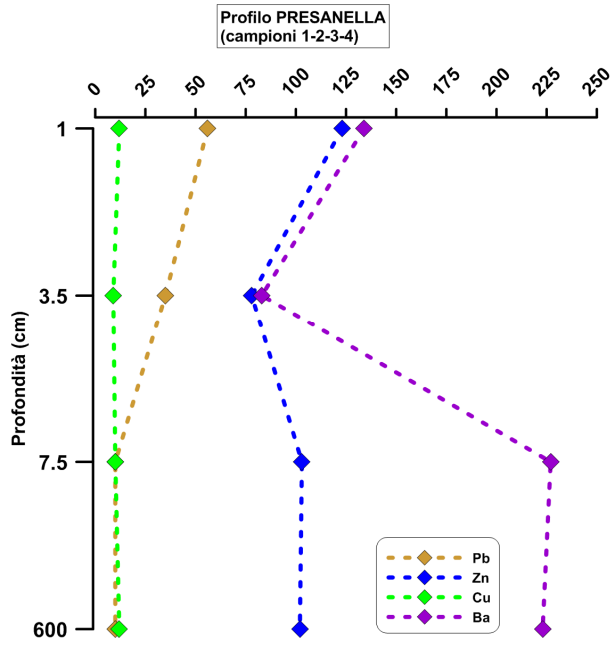
-f-



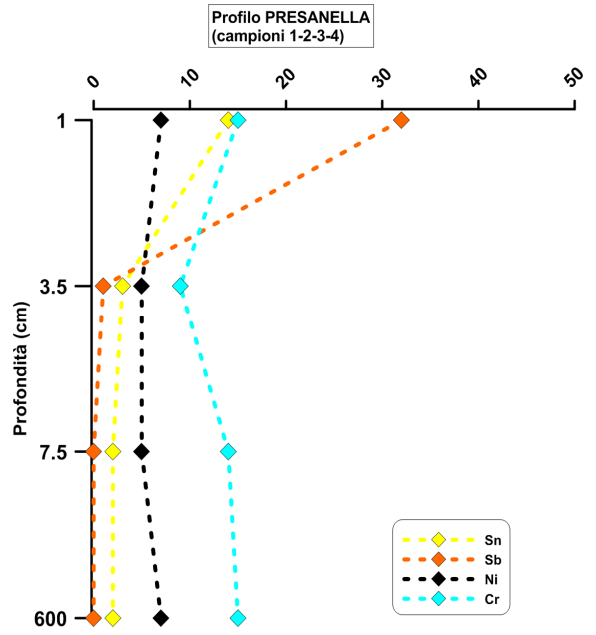
-g-



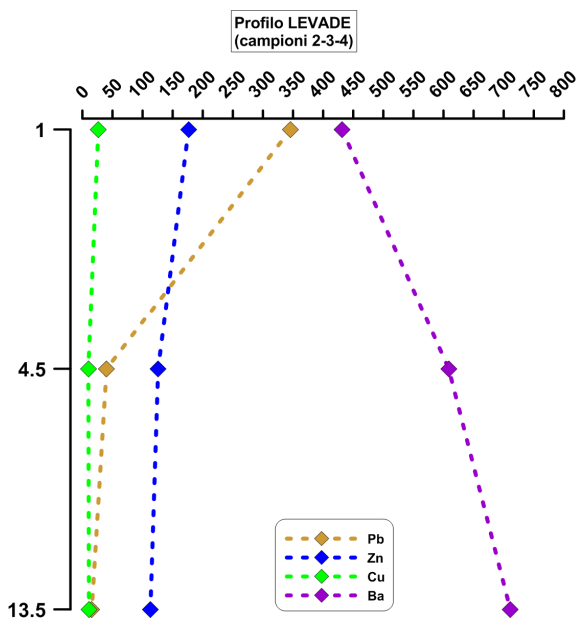
-h-



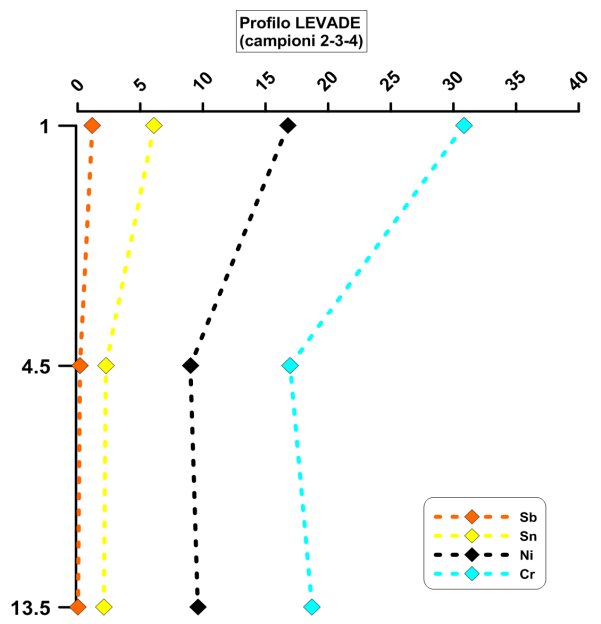
-i-



-j-



-k-



-l-

Fig. 6.3 Variazioni lungo la verticale degli elementi Pb, Zn, Cu e Ba-Sn, Sb, Cr e Ni, nei campioni di suolo prelevati a diverse profondità sul massiccio dell'Adamello-Presanella.

Campioni Ortles-Cevedale

Gli indici statistici per i 34 campioni dell'Ortles-Cevedale sono sintetizzati in Tabella 6.6, insieme ai valori medi delle concentrazione degli elementi nei 2 campioni di roccia indicativi dei contenuti normali degli elementi considerati (Tabella V, Appendice B).

Tabella 6.6 Indici statistici per i campioni dell'Ortles-Cevedale; confronto con contenuti medi campione di roccia FOR7 e SFORZ 7.

ELEMENTI	Numero di conteggi	Media	Mediana	Minimo	Massimo	Std.Dev.	ROCCIA
Na %	34	0,02	0,01	0,01	0,0	0,01	0,03
Al %	34	2,8	2,81	1,28	4,9	0,86	1,66
Mg %	34	1,69	1,70	0,64	2,8	0,57	1,12
K %	34	0,48	0,40	0,16	1,0	0,24	0,8
Ca %	34	0,38	0,36	0,12	0,8	0,15	0,2
Fe %	34	6,82	6,58	3,18	12,4	2,05	2,6
Ba ppm	34	186	197	50	355	78	115
Ti ppm	34	1437	1380	551	2561	494	625
V ppm	34	58	57	25	103	19	39
Cr ppm	34	62	61	22	118	23	38
Mn ppm	34	588	530	302	1225	221	234
Ni ppm	34	67	64	19	117	22	35
Cu ppm	34	73	71	38	120	51	40
Zn ppm	34	175	172	69	266	0,67	79
Sn ppm	33	1,00	0,84	0,00	2,6	0,67	0,5
Sb ppm	34	0,68	0,56	0,26	2,8	0,48	0,4
Pb ppm	34	48	46	12	153	29	6
Cd ppm	34	0,24	0,21	0,11	0,6	0,09	0,008
Co ppm	34	26	25	8	43	9	15
As ppm	34	18	16	4,58	35	7	6,5
Mo ppm	34	2,16	2,05	0,85	4,0	0,84	0,5
Ag ppm	33	0,17	0,18	0,01	0,3	0,06	n.d
Li ppm	34	62	62	22	104	21	37
Ga ppm	34	8,5	5,7	2,8	25	5,9	8,5
Rb ppm	34	51	46	19	126	24	53
Sr ppm	34	45	43	25	89	14	16
Cs ppm	34	8,5	5,7	2,8	25,1	5,9	5
Tl ppm	34	0,38	0,34	0,15	0,9	0,19	0,4
U ppm	34	6,30	5,72	2,57	17,2	2,73	0,7

*n.d; non determinato

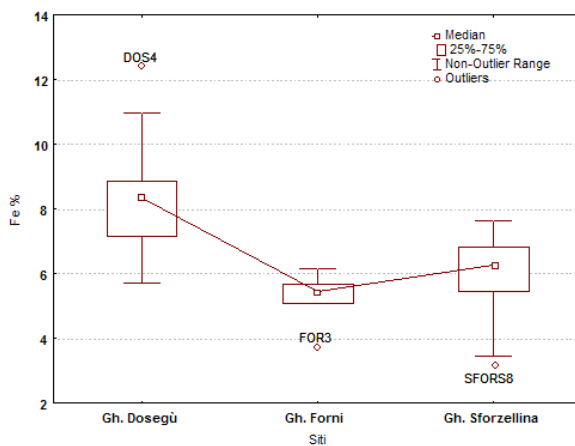
Il Fe è l'elemento presente in percentuale media maggiore $6,82 \pm 2,05\%$, con minimo di $3,18\%$ (SFORZ 8) e massimo di $12,4\%$ (DOS4). Al ha un contenuto medio di $2,81 \pm 0,86\%$ variabile tra $1,28\%$ (SFORZ 8) e $4,92\%$ (DOS4). Mg presenta valori variabili tra $2,84\%$ e $0,64\%$ e media di $1,69 \pm 0,57\%$. Contenuti medi inferiori a $0,50\%$ hanno il Ca e il K, mentre per il Na è di $0,02 \pm 0,01\%$.

Per quanto riguarda elementi in traccia quali Ti e Ba, i contenuti medi sono di 1437 ± 494 ppm per il Ti, che presenta il suo valore minimo di 551 ppm nel SFORZ 15 e massimo di 2561 ppm nel campione DOS 1, mentre i valori di Ba sono di $186 \pm$ ppm e variabili tra un minimo di 50 ppm (SFORZ 25) e un massimo di 355 ppm (DOS1).

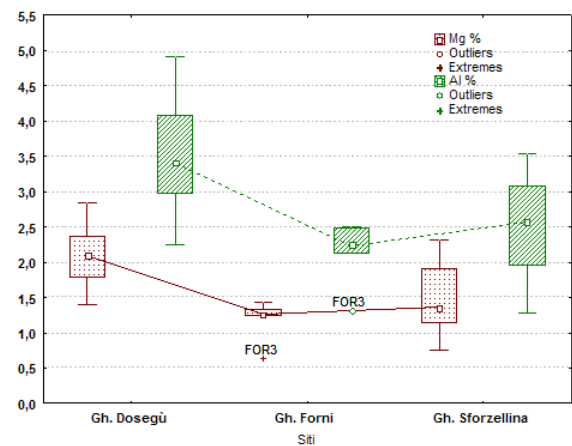
In Fig. 6.4 vengono riportate le differenze di distribuzione degli elementi nei tre siti indagati.

I campioni del ghiacciaio del Dosegù hanno percentuale media di Fe di 8,48% e mediana di 8,35%; quelli dello Sforzellina e dei Forni presentano rispettivamente media di 5,86% - 5,28% e mediana di 6,29% - 5,44%, come è visibile nei box plot in Fig 6.4a. I valori medi dell'Al sono rispettivamente 3,40% - 2,87% - 2,24%; per Mg di 2,09% - 1,36% - 1,26% (Fig.6.4b). Il K ha valore mediano di 0,38% nei campioni del Dosegù; 0,72% in quelli dello Sforzellina e 0,23% nei Forni. Il Ca varia da valori medi di 0,32% nel Dosegù, 0,48% nello Sforzellina e 0,28% nei Forni (Fig.6.4c).

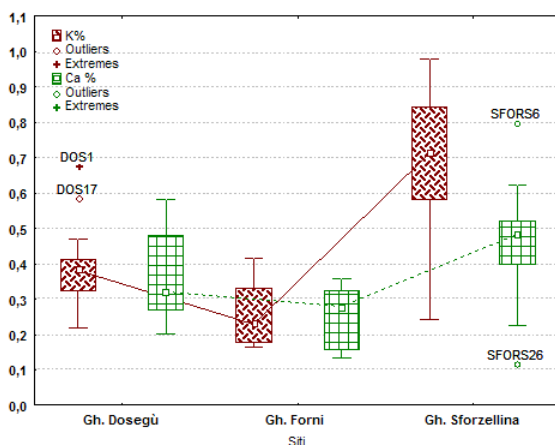
Ba (Fig.6.4d) ha valori simili nei campioni di Dosegù e Sforzellina (mediana di 210ppm; 200ppm) e valore di 103ppm nei Forni. Diversi sono i campioni *outlier* della distribuzione delle concentrazioni di Ba nei campioni del ghiacciaio del Dosegù (DOS 1, DOS 17, DOS 23, quest'ultimo valore più basso). In fine il valore mediano di Ti è di 1471ppm per Dosegù, 1642ppm per Sforzellina e di 1104ppm per il ghiacciaio del Forni.



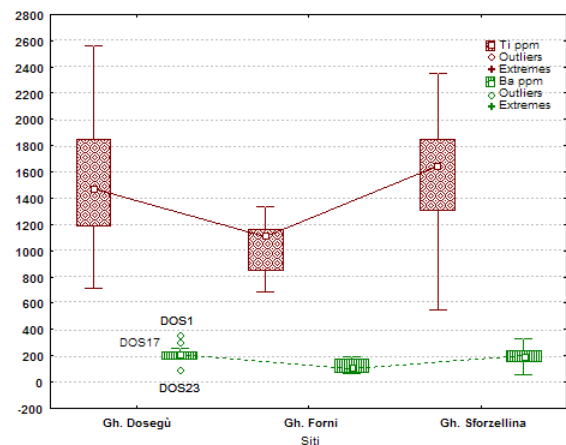
-a-



-b-



-c-



-d-

Fig.6.4 Box plot delle concentrazioni di a) Fe, b) Mg e Al; c) K e Ca; d) Ti e Ba, nei campioni dell'Ortles-Cevedale, distinti per sito di campionamento tra ghiacciaio del Dosegù, dei Forni e dello Sforzellina.

Focalizzando l'attenzione sui metalli pesanti di interesse ambientale (Tabella 6.6), il Pb presenta un contenuto medio nei tre siti indagati di 48 ± 29 ppm ed è compreso in un intervallo tra un minimo di 12 ppm (SFORZ 25) e un massimo di 153 ppm nel campione SFORZ 16, in cui risultano più alti anche i valori di Sb (1,88 ppm).

Concentrazioni variabili tra 302 ppm (SFORZ 25) e 1225 ppm (SFORZ 16) sono riportate per Mn che presenta media di 588 ± 221 ppm. Sb insieme a Ag, Cd, Sn mostra contenuti medi ≤ 1 ppm; mentre Mo presenta media < 1 ppm.

Concentrazioni medie più alte sono registrate per altri metalli quali Ni (67 ± 22 ppm; nel campione FOR 3 il valore minimo di 19 ppm e nel campione DOS 6 il massimo di 117 ppm), e Cr (62 ± 23 ppm; valore minimo di 22 ppm e massimo 118 nei campioni FOR 3 e DOS 4 rispettivamente). Zn ha media di 175 ± 51 ppm (con intervallo tra 69-266 ppm, FOR 3-DOS 1), Cu 73 ± 22 ppm (massimo e minimo di 38 e 120 ppm, nei campioni SFORZ 21 e DOS 4). As (18 ± 7 ppm; min di 5 e massimo di 35 ppm SFORZ 25-FOR 3) e Co (media di 26 ± 9 ppm, minimo di 8 ppm e massimo di 43 ppm, nei campioni FOR 3-DOS 6).

In Fig. 6.5 sono riportati mediante i box plot, la distribuzione delle concentrazioni dei metalli quali Pb, Mn, Cu, Zn, Cr, Ni, Co e As e distinti per i tre ghiacciai considerati per valutare possibili differenze.

Nei sedimenti campionati sul ghiacciaio del Dosegù i valori mediani dei metalli considerati nei *box plot* sono: Pb 45 ppm; Mn 521 ppm; Cu 93 ppm; Zn 220 ppm; Cr 67 ppm; Ni 72 ppm; Co 26 ppm e As 14 ppm.

Per il ghiacciaio dei Forni riportiamo contenuti mediani dei metalli di: Pb 23 ppm; Mn 397 ppm; Cu 64 ppm; Zn 143 ppm; Cr 41 ppm; Ni 46 ppm; Co 19 ppm e As 18 ppm. Infine per lo Sforzellina i valori mediani sono: Pb 53 ppm; Mn 789 ppm; Cu 57 ppm; Zn 160 ppm; Cr 68 ppm; Ni 65 ppm; Co 29 ppm e As 18 ppm.

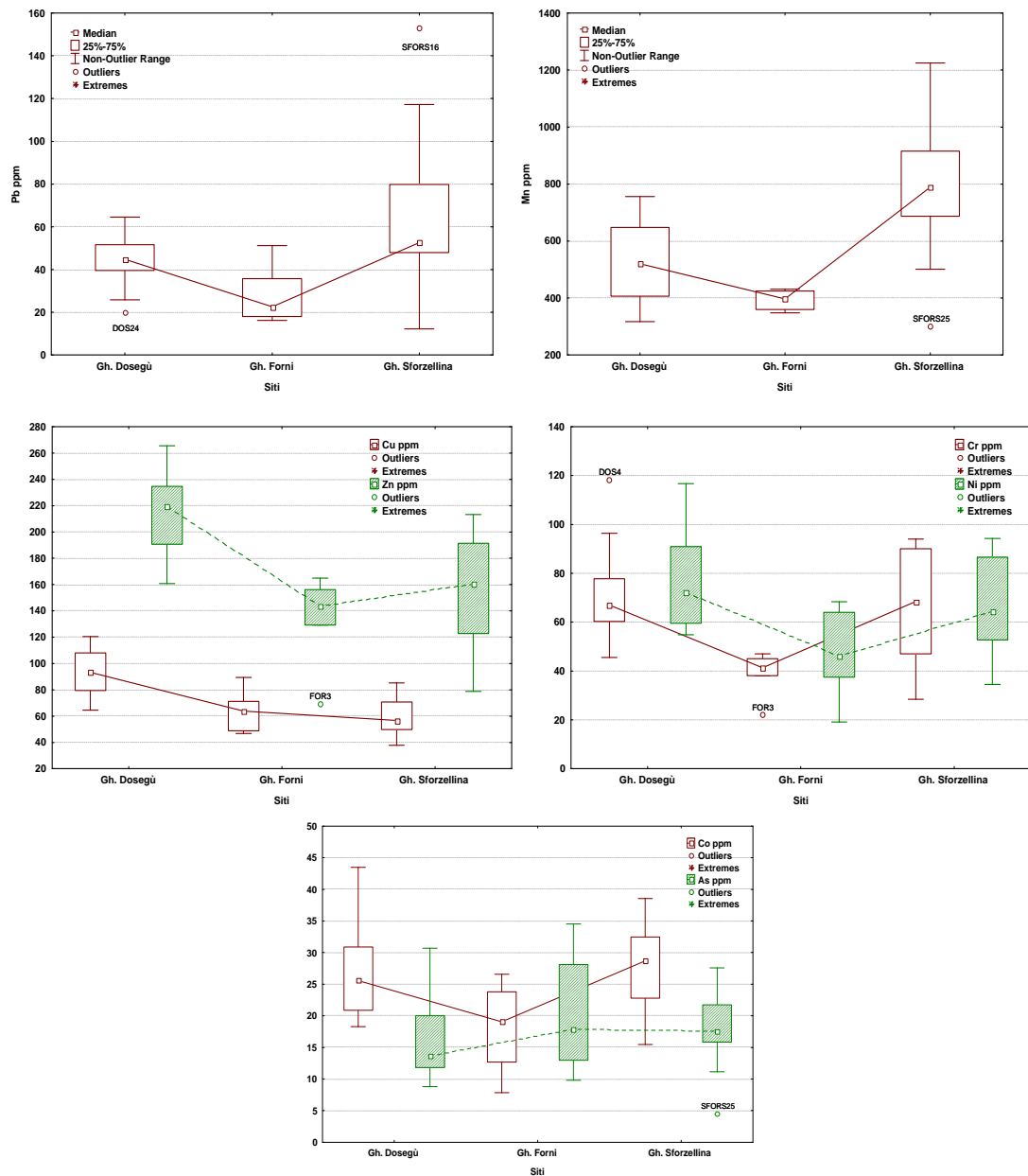


Fig.6.5 Box plot delle concentrazioni di Pb; Mn; Cu; Zn; Cr; Ni; Co e As ppm nei campioni dell'Ortles-Cevedale, distinti per sito di campionamento tra ghiacciaio del Dosegù, dei Forni e dello Sforzellina.

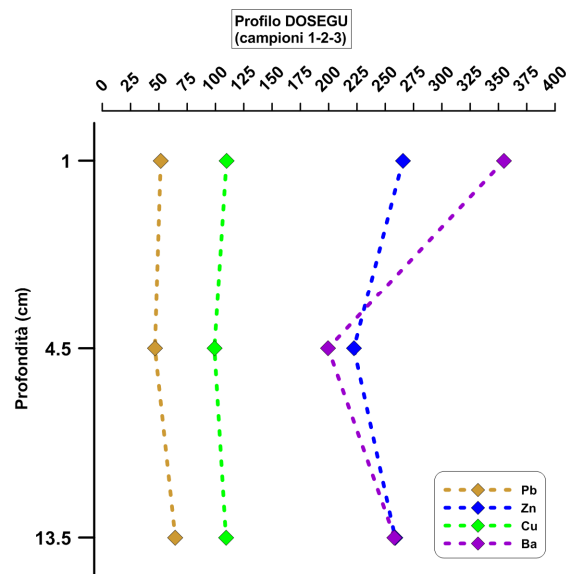
In Tabella 6.5 sono riportate inoltre le concentrazioni medie dei due campioni di roccia (FOR7 e SFORZ 7) indagati rappresentati da un litotipo filladico e un micascisto.

Elementi quali Fe (media 2,6%), Al (media 1,66%) e Mg (media 1,12%) caratterizzano questa tipologia di rocce. Il K è presente con contenuto medio di 0,8%, più basso il Ca (0,2%). Tra gli elementi in traccia quelli più abbondanti sono Ba e Ti (625ppm-115ppm). I metalli pesanti che hanno valori più alti sono il Mn (234ppm), Zn (79ppm) e Cu (40ppm). Concentrazioni più basse (tra i 30 e 40ppm) sono evidenziate per (V, Cr, Ni), mentre il Pb ha contenuti medi di 6ppm, come anche As.

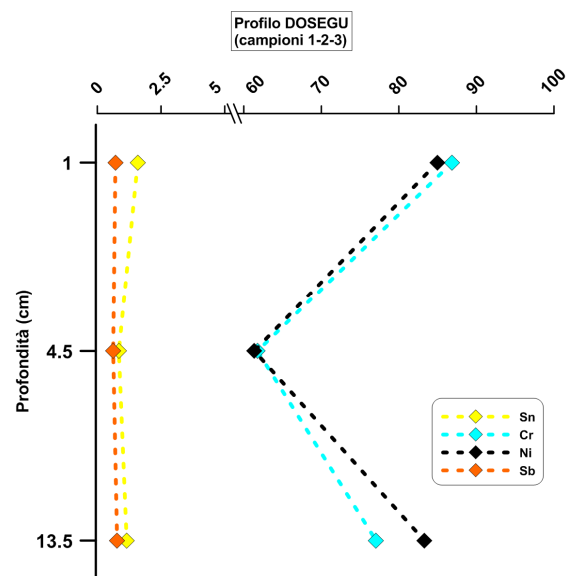
In Fig 6.6 vengono considerate le variazioni di concentrazioni osservate per i metalli quali Pb, Zn, Cu, Ba (Fig 6.6a) e Sn, Sb, Cr, Ni (Fig 6.6b) nei campioni prelevati a diverse

profondità sul ghiacciaio del Dosegù (campione DOS 1-DOS 2-DOS3), all'interno dei quali era presente un frammento di bomba esplosa.

Per Pb e Cu le concentrazioni rimangono poco invariate con l'aumento della profondità, anche se è possibile notare una leggera tendenza ad un aumento di Pb (da 52ppm a 64ppm) tra i 4,5 e i 13,5 cm. Variazioni maggiori si evidenziano per Ba che presenta concentrazioni più alte nel campione più superficiale (355ppm) e diminuzione (199ppm) nel secondo campione (DOS2) per ritornare a valori più alti (258ppm) a 13,5cm. Andamento simile ha anche lo Zn, che varia da 266 ppm a 259ppm, e Cr e Ni, elementi questi ultimi che mostrano concentrazioni comunque inferiori a 100ppm. Concentrazioni <2,5ppm e sostanzialmente uguali al variare della profondità mostra sia Sn che Sb.



-a-



-b-

Fig 6.6 Variazioni lungo la verticali degli elementi a) Pb, Zn, Cu e Ba; b) Sn, Sb, Cr e Ni, nei campioni DOS 1-DOS2-DOS 3, prelevati presso il ghiacciaio del Dosegù.

6.1.2.1-Variazioni spaziali dei metalli pesanti e confronto con in limiti di legge_____

I valori di concentrazione dei metalli pesanti analizzati quali Pb, Sb, Sn, Zn, Cu, Ni, Cr, As, Cd, Co e V nei campioni di sedimento, di suolo e nei campioni di roccia dei tre gruppi montuosi indagati, sono in questa sezione confrontati con i limiti di legge definiti dalla normativa nazionale in vigore Decreto Legislativo num. 152 del 2006 (Testo unico sull'ambiente). In Tabella 6.7 sono riportate le Concentrazione Soglia di Contaminazione (CSC) nei suoli estratte dal Decreto (Allegato 5-Tabella 1 alla Parte IV-Titolo V). La legge non prevede limiti specifico per i sedimenti, vengono normalmente utilizzati gli stessi valori limite definiti per i suoli. I valori di concentrazione sono inoltre confrontati con i contenuti del normale tenore di fondo dell'elemento nei campioni di roccia per le tre aree campionate. La normativa infatti non tiene conto della possibilità di arricchimenti di origine naturale derivanti da motivi geologici, che va al contrario prese in considerazione per meglio distinguere l'influenza di sorgenti antropiche di metalli pesanti nelle aree studiate.

Tabella 6. 7 Valori di Concentrazione Soglia di Contaminazione (CSC) definiti dal D. Lgs 152/2006, in relazione alla destinazione d'uso dei siti: $CSC_{(A)}$ siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale; $CSC_{(B)}$ siti ad uso commerciale e industriale. Concentrazioni espresse in ppm (mg/kg di sostanza secca).

Elemento	$CSC_{(A)}$ ppm	$CSC_{(B)}$ ppm	Elemento	$CSC_{(A)}$ ppm	$CSC_{(B)}$ ppm
Pb	100	1000	Cr_{tot}	150	800
Sb	10	30	As	20	50
Sn	1	350	Cd	2	15
Zn	150	1500	Co	20	250
Cu	120	600	V	90	250
Ni	120	500			

Campioni Marmolada

Per i campioni della Marmolada (Tabella V, Appendice B), il Pb supera le $CSC_{(A)}$ in tutti, con valori oltre $CSC_{(B)}$ per MARM 26, mentre i contenuti di Pb nel campione di roccia carbonatica (MARM 9) è di 2ppm. Sn, non contenuto nel MARM 9, presenta valori oltre i limiti definiti per tutti i campioni, in particolare MARM 14 e MARM 16 superano nettamente (>10ppm) la concentrazione soglia per A ($CSC_{(A)}$). Questi due campioni presentano valori più alti di Sb (2 e 5ppm rispettivamente) ma non superiori ai limiti. Cd pari alla $CSC_{(A)}$ (2ppm) si riporta per MARM 14-26-32. Per gli stessi campioni anche Zn assume valori maggiori di $CSC_{(A)}$ pari a 150ppm. Il campione MARM 26 è l'unico ad avere valori oltre le $CSC_{(A)}$ per Cu, Co e V di pochi ppm; mentre anche se presenta le concentrazioni più alte di As non supera per questo elemento il valore di normativa. Ni e Cr non assumono valori preoccupanti per legge. Tutti gli elementi considerati non presentano concentrazioni apprezzabili nel campione di confronto(MARM 9).

Per evidenziare le concentrazioni anomale rispetto ai limiti definiti per legge e la variabilità spaziale nei campioni del massiccio dell'Adamello-Presanella e in quelli dell'Ortles-Cevedale, facciamo riferimento ai grafici binari tra concentrazione di metallo (espresso in ppm) e di Al (espresso in %).

Campioni Adamello

Le variazioni di concentrazione del Pb nei campioni dell'Adamello-Presanella rispetto alle concentrazioni di Al, non mostrano correlazioni lineari positive per i campioni con valori bassi in entrambi gli elementi come è evidenziato nel grafico in Fig. 6.7a (Pb<70ppm). All'interno di questo *range* si distribuiscono i campioni di confronto, indicativi del contenuto naturale dell'elemento nella roccia affiorante (definiti nel grafico Fig. 6.7a Roccia_Adamello e Media_Roccia), che ricordiamo essere per questa area tonalite, i cui contenuti medi sono di 6ppm. Concentrazioni al di sotto dei 70ppm si riscontrano inoltre per i campioni LEV3-4 e LSCU 15-16. Valori superiori alla soglia di contaminazione A ($CSC_{(A)}=100\text{ppm}$, linea rossa tratteggiata in Fig. 6.7a) sono attribuibili ai campioni PRE 29 LEV 2, CAST 4-5-6-7 e CAST 9, LSCU 2-4-9-14. Oltre il valore limite di 1000ppm ($CSC_{(B)}=1000\text{ppm}$ linea rossa continua in Fig. 6.7a) si distribuiscono i campioni LSCU 3-1, CAST 1-2-3 e CAST 8.

Il $CSC_{(A)}$ per lo Sn è molto basso e per questa ragione la maggior parte dei campioni analizzati hanno un contenuto dell'elemento superiore a 1ppm (Fig. 6.7b). Valutando i contenuti medi riportati nei campioni di roccia i valori di concentrazione sono dell'ordine di 5-3ppm in una tonalite (Tabella V, Appendice B). Al di sopra di questo intervallo di concentrazione si distribuiscono i campioni del P.sso del Castellaccio, del Lagoscuro (ad eccezione di LSCU 3 e LSCU 15-16), il campione LEV 2 e PRE 29. Solo il campione LSCU 1 supera la $CSC_{(B)}$ presentando contenuti di 900ppm.

L'elemento Sb ha in generale concentrazioni basse (<5ppm) anche per valori più alti di Al (>4%) (Fig. 6.7c). I valori di Sb riscontrati nei campioni di sedimenti glaciali e dei suoli analizzati, concordano inoltre con i contenuti medi dell'elemento nelle rocce affioranti nell'area, ovvero pari a 3ppm. I suoli campionati al P.sso del Castellaccio (in particolare CAST1-2-3 e CAST 8) presentano valori di Sb di circa 10ppm al limite del valore di $CSC_{(A)}$ stabilito per legge, mentre il campione PRE 29 è caratterizzato da valori di concentrazione superiori il $CSC_{(A)}$.

La distribuzione delle concentrazioni di Zn mostra una tendenza alla linearità positiva con l'aumentare dell'Al, linearità che viene persa se si considerando i campioni con i valori alti di Zn. Concentrazioni di Zn nei campioni dell'Adamello-Presanella (Fig. 6.7d), superiori ai limiti di normativa per la soglia B si riscontra solo in un campione (CAST 8) ma i valori per i campioni di suolo sono generalmente alti: il limite più basso ($CSC_{(A)}$) di 150ppm è superato dalla maggior parte dei campioni di suolo del Lagoscuro e Castellaccio e Levade, ma anche dai campioni di suolo prelevati sulle morene del Presena. Contenuti medi di 69ppm sono evidenziati per i campioni di tonalite, valori all'interno dei quali rientrano anche i campioni di LSCU 15-16 e CAST 7.

Un *trend* lineare si osserva per Cu rispetto ad Al (Fig. 6.7e) nei campioni con valori alti di entrambi gli elementi, quindi nei campioni di suolo. Questo non si mantiene a

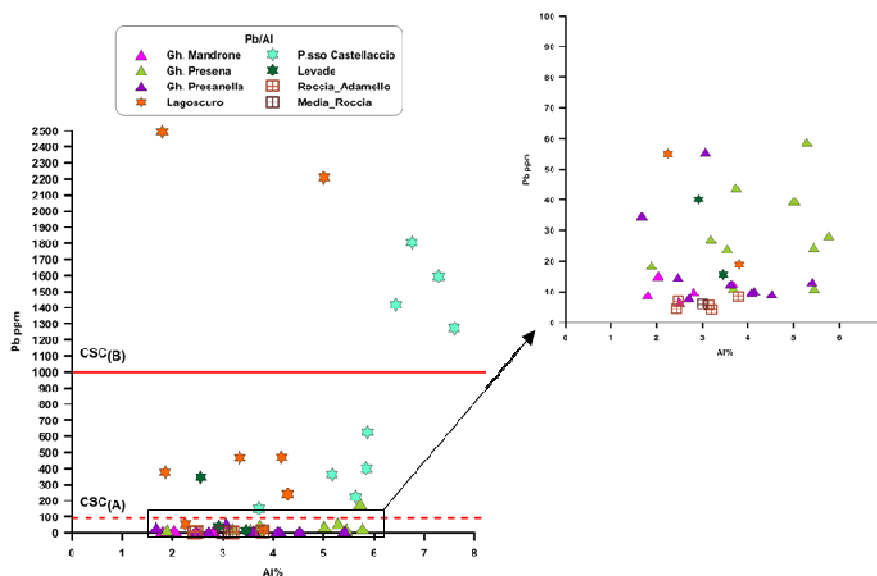
concentrazioni di Cu superiori a 100ppm, valore limite per l'elemento nei siti ad uso verde pubblico ($CSC_{(A)}$). La maggior parte dei campioni mostra contenuti al di sotto dei 20ppm e confrontabili con i campioni di tonalite analizzati (media di 6ppm). I campioni che presentano valori oltre i limiti di legge sono gli stessi già evidenziati per lo Zn.

I valori di concentrazione per il Cr sono tutti al di sotto dei limiti di normativa (Fig. 6.7g). All'aumentare della concentrazione di Al si ha una tendenza all'aumento anche di Cr, ma dall'andamento lineare si discostano i campioni con concentrazioni ≥ 40 ppm (CAST 8-9; LSCU 1-2-4). Analogò è il caso del Ni, per il quale non si ha superamento dei limiti imposti da normativa: i campioni concentrazioni più basse < 10 ppm, presentano valori del tutto confrontabili con quelli che caratterizzano i campioni di tonalite, per i quali si evidenzia una tendenza alla linearità all'aumentare del contenuto di Al (Fig. 6.7f). I campioni che superano i 10ppm sono tutti i campioni di suolo analizzato nei diversi siti del massiccio. I valori massimi si riportano per LSCU 1 e LSCU 3.

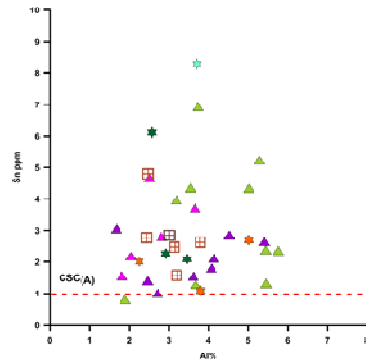
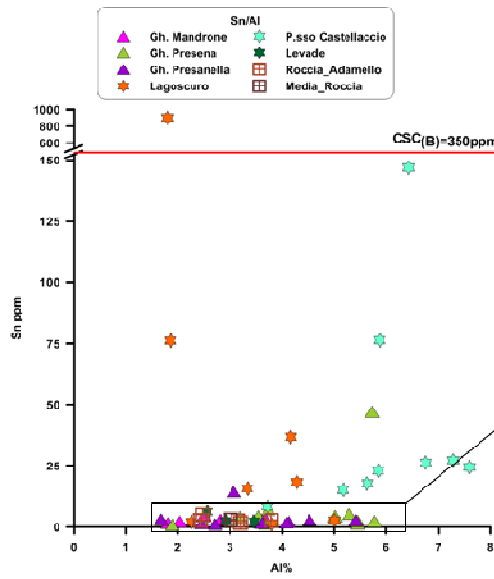
Co ha una buona correlazione lineare con Al, migliore per i campioni più ricchi in Co e prelevati nei pressi del ghiacciaio Presena e Presanella (Fig. 6.7h). I campioni del ghiacciaio del Mandrone confermano i valori di concentrazione riscontrati nei campioni di roccia tonalitica, i quali si distribuiscono nella parte bassa all'interno della linearità. Una seconda popolazione di dati è data dai suoli del P.sso del Castellaccio e Lagoscuro più ricchi in Al rispetto al Co. Concentrazioni superiori a 20ppm ($CSC_{(A)}$) presentano i campioni del ghiacciaio Presena (PRE 27-30 e PRE 18), il PRESA 5 della Presanella e CAST 8.

Andamento simile al Co è mostrato anche dal V (Fig. 6.7i), che presenta valori medi di fondo naturale di 85ppm. Anche per i campioni di roccia si osserva il superamento del valore più basso di normativa ($CSC_{(A)}$), mentre non si hanno valori maggiori a 250ppm ($CSC_{(B)}$). I valori più alti di V caratterizzano per i campioni già elencati per il Co.

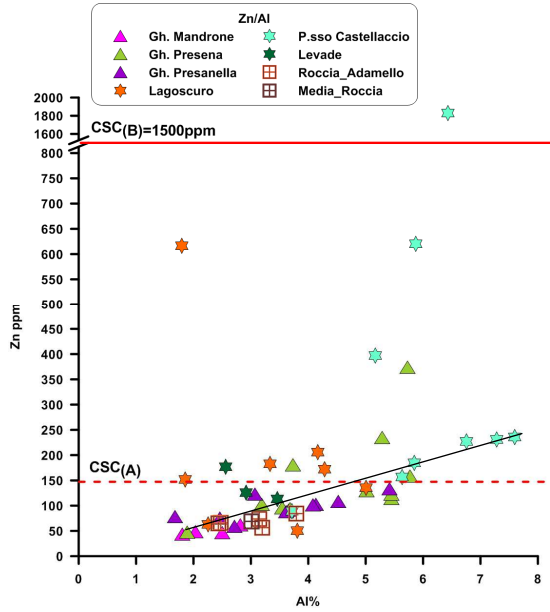
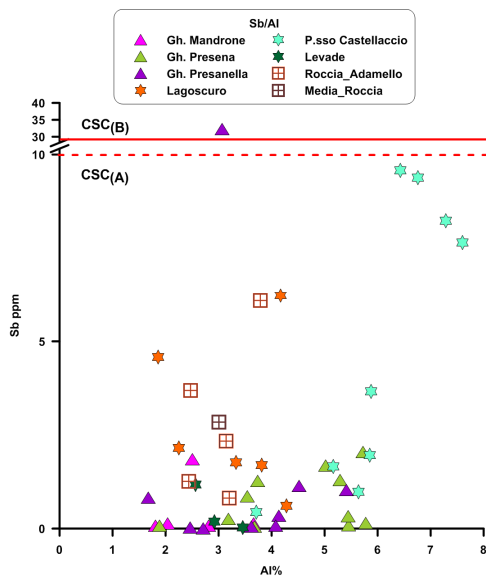
Per il Cd l'unico a presentare valori di circa 2ppm ($CSC_{(A)}$) è LSCU 1 (Fig. 6.7j). Per l'As non si hanno valori oltre i limiti di legge e le concentrazioni si attestano al di sotto di 8ppm, anche per i campioni con valori più alti in Al e in generale sono confrontabili con i valori di concentrazione che caratterizzano le rocce (Fig. 6.7k). Solo i campioni CAST 8-9 e LASCU 1-2-3 e 9 mostrano concentrazioni oltre i 10ppm.



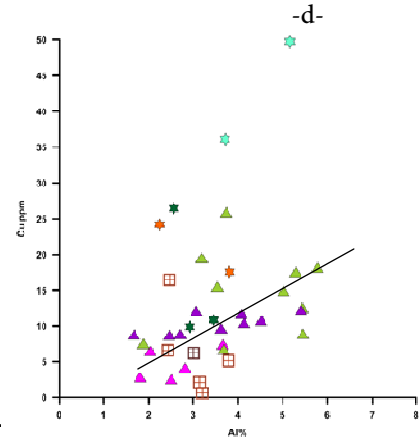
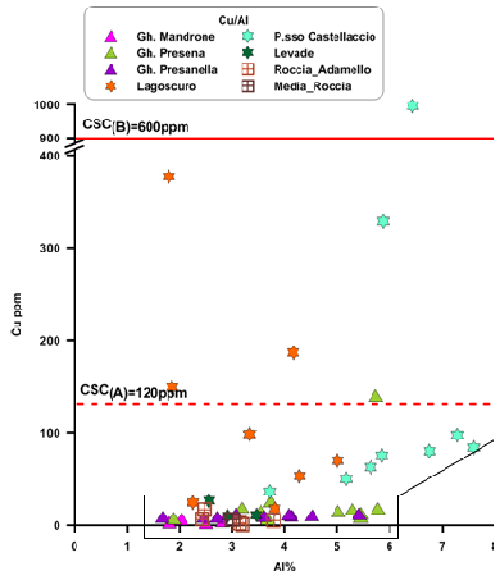
-a-

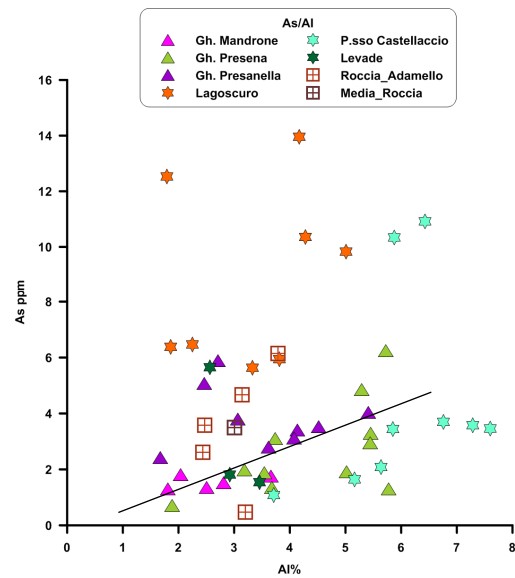
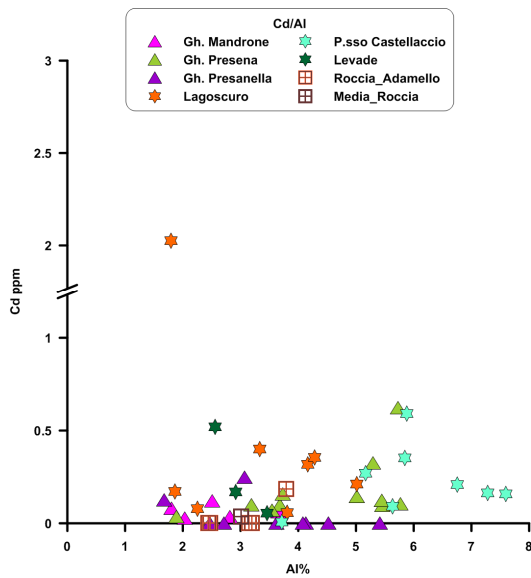
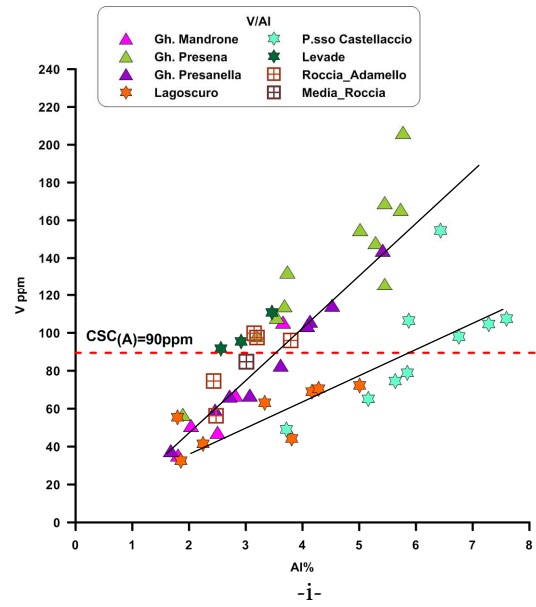
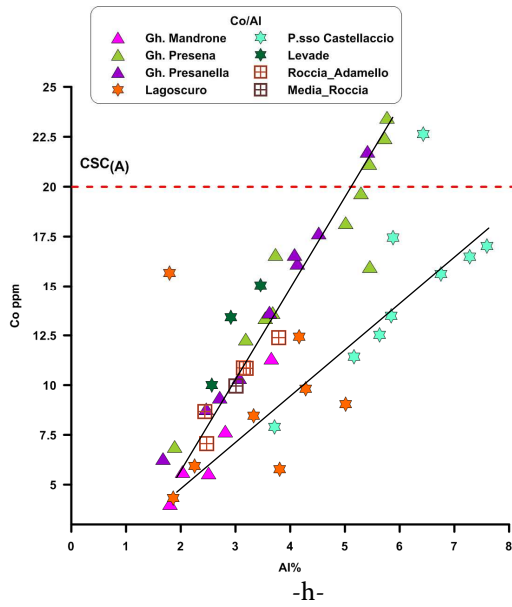
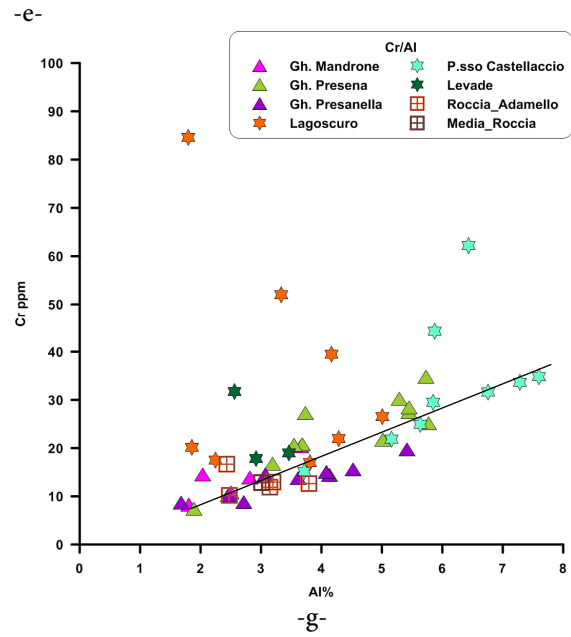
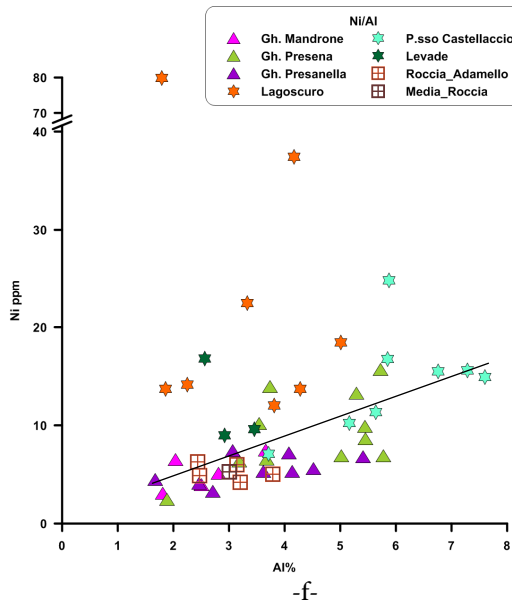


-b-



-c-





-j-

-k-

Fig. 6. 7 Grafici binari tra metallo (in ppm) e Al (in %) per i campioni dell'Adamello-Presanella: a) Pb vs Al; b) Sn vs Al; c) Sb vs Al; d) Zn vs Al; e) Cu vs A; f) Ni vs Al; g) Cr vs Al; h) Co vs Al; i) V vs Al; j) Cd vs Al; k) As vs Al. Vengono riportate le concentrazioni soglia di contaminazione definite per legge: $CSC_{(A)}$ linea rossa tratteggiata; $CSC_{(B)}$ linea rossa continua.

Campioni Ortles-Cevedale

In Fig. 6.8 sono riportate le distribuzioni dei metalli (verso le percentuali di Al) per i quali la normativa italiana definisce le concentrazioni soglia di contaminazione (CSC), nei campioni di sedimento prelevati sui tre ghiacciai del gruppo montuoso dell'Ortles-Cevedale.

Il Pb (Fig. 6.8a) presenta per quasi tutti i campioni, concentrazioni al di sotto della soglia $CSC_{(A)}$, ad eccezione di due campioni del ghiacciaio della Sforzellina (SFORZ 2 e 16). Si evidenzia inoltre la presenza di due popolazione di dati: una in cui è possibile notare una linearità positiva tra Pb e Al, nella parte bassa si distribuiscono i due campioni di roccia; l'altra, evidenziata soprattutto dai campioni dello Sforzellina in cui il Pb presenta valori più alti e Al all'interno di 3%.

Per lo Sn (Fig. 6.8b), molti campioni mostrano concentrazioni poco superiori ad 1ppm ($CSC_{(A)}$) mentre contenuti più alti (tra 2-3 ppm) caratterizzano per un gruppo di campioni del ghiacciaio del Dosegù (DOS 15-19) e della Sforzellina (SFORZ 16-26). Ad eccezione di questi campioni in generale i valori di Sn tendono ad aumentare con il contenuto di Al. Le concentrazioni dell'elemento nei campioni di roccia sono molto bassi (0,5ppm).

Ad eccezione di tre campioni dello Sforzellina (SFORZ 9 e 15-16), i valori di Sb sono ben al di sotto dei limiti di legge. I valori si mantengono intorno ai 0,5 ppm al variare dell'Al, corrispondenti a valori normali di concentrazione, come si riscontra per i campioni FOR 7 e SFORZ di litotipo filladico (Fig. 6.8d).

Lo Zn (Fig. 6.8e) presenta un *trend* di correlazione lineare positiva con l'Al e i valori più alti, superiori alla soglia di 150ppm ($CSC_{(A)}$), caratterizzano quasi tutti i campioni del Dosegù (in particolare DOS 1-2-3) e la maggior parte dei campioni dello Sforzellina (tra questi il valore più alto è nello SFORZ 16), I campioni dei Forni (meno variabili rispetto al contenuto in Al) presentano valori che si attestano attorno ai 150ppm. Lo stesso elemento nei campioni di roccia presenta un intervallo di concentrazione tra 50 e 100ppm.

Un andamento simili è mostrato dal Cu (Fig. 6.8e) i cui valori di concentrazione per i campioni dell'Ortles-Cevedale rientrano tutti all'interno della soglia di normativa (120ppm, $CSC_{(A)}$) anche se i campioni del Dosegù, contraddistinti da valori più alti in Al, presentano contenuti comunque >100ppm di Zn, a differenza dei campioni di roccia con valori medi di 40ppm (Tabella 6.6).

Solo alcuni campioni (DOS 6-17) presentano valori di Ni intorno al valore soglia di 120ppm ($CSC_{(A)}$) ed in generale la maggior parte dei campioni mostra un contenuto superiore ai 50ppm, come il campione di roccia FOR 7 (Fig. 6.8f). I valori più alti di concentrazione di riscontrano nei campioni con contenuti in Al >3%.

Il Cr si distribuisce secondo due *trend* diversi: il primo rappresentato dai campioni del ghiacciaio dello Sforzellina che mostrano una correlazione lineare positiva con l'Al e il secondo rappresentato dai campioni dei Forni e da quelli del Dosegù che mostrano nel

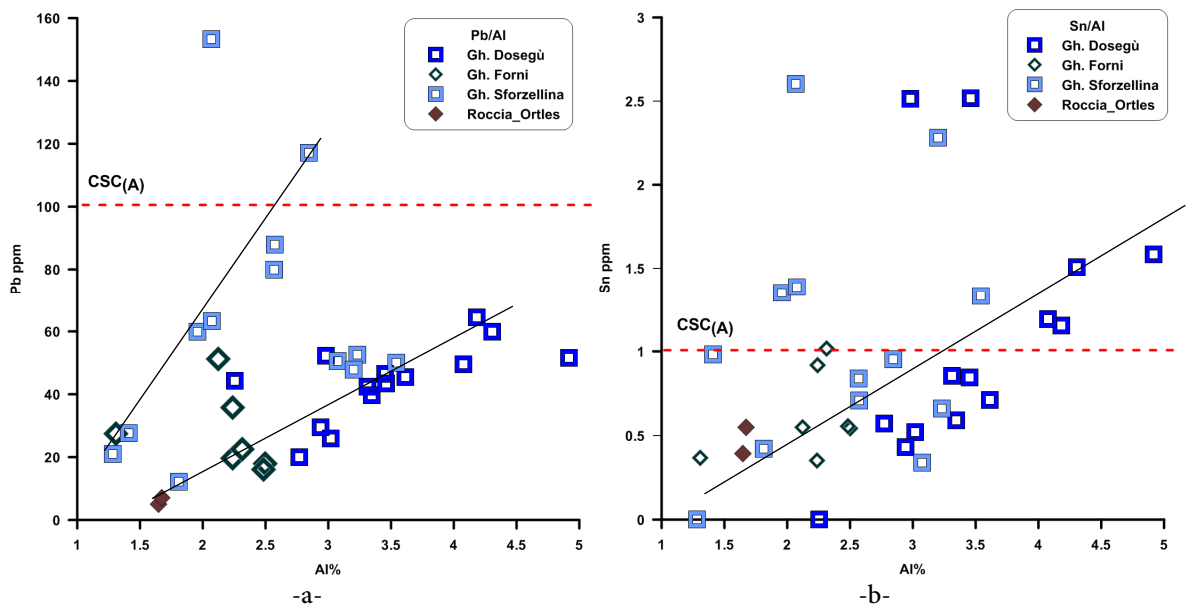
complesso anch'essi una correlazione lineare positiva con l'Al. In particolare, i campioni dei Forni si collocano su questo *trend* in corrispondenza di bassi valori di Al, diversamente da quelli del Dosegù (Fig. 6.8g). Nei due andamenti ritroviamo con valori più bassi (tra 30 e 50ppm) i campioni indicativi del tenore di fondo. Non ci sono superamenti dei limiti di legge.

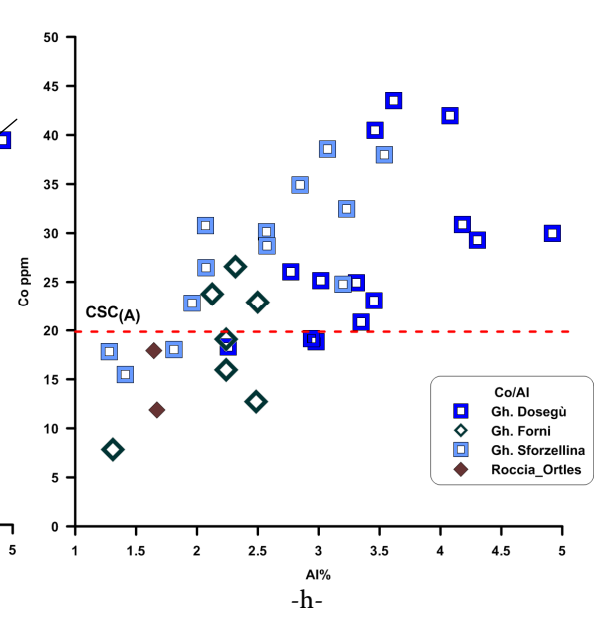
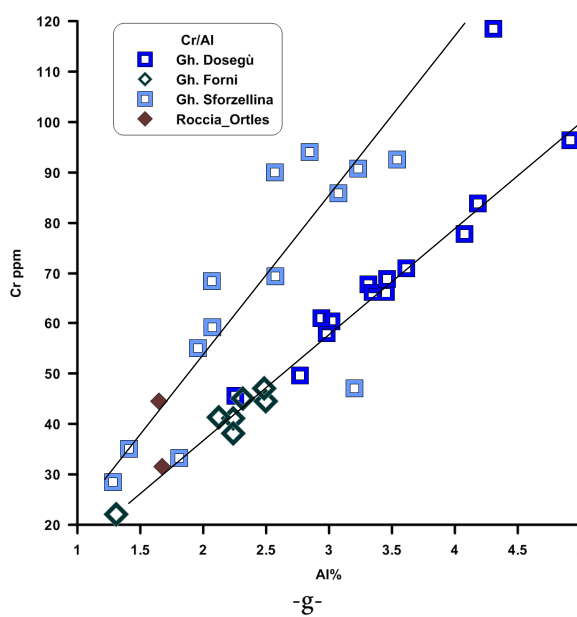
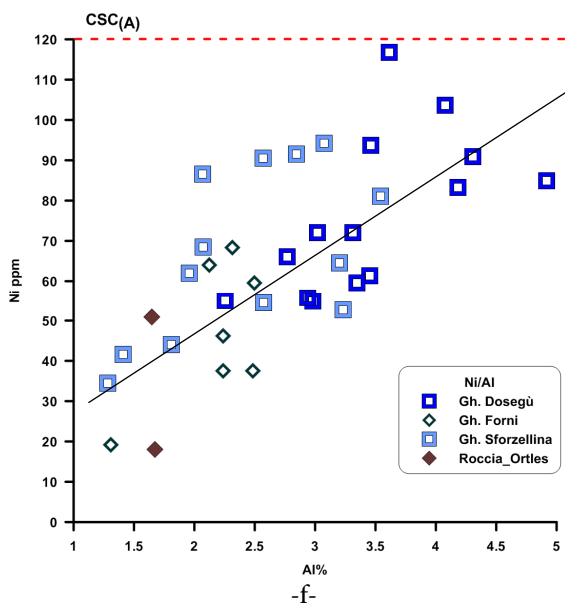
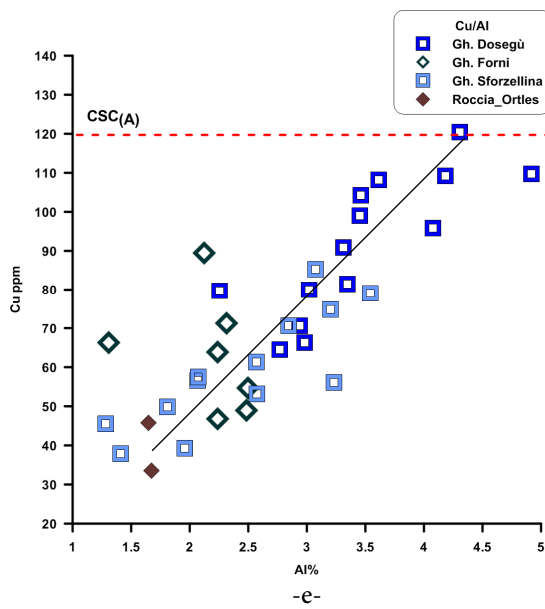
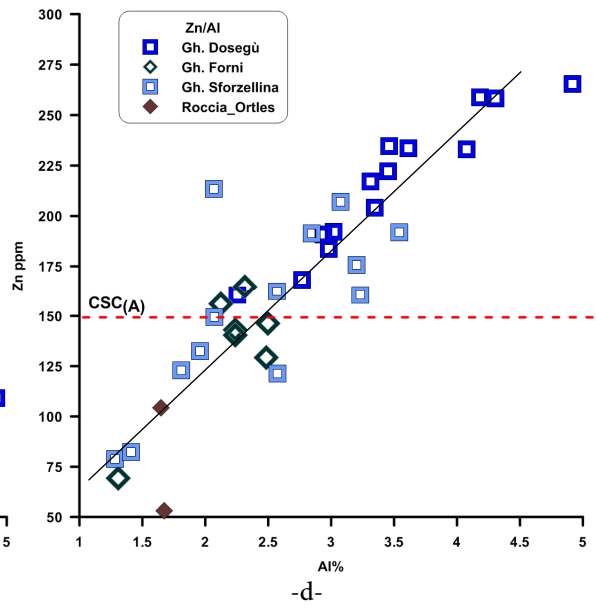
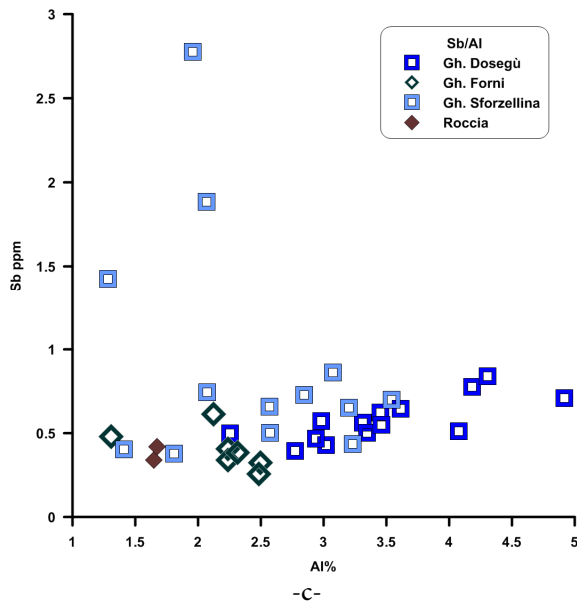
Al contrario, le concentrazioni di Co sono per la maggior parte dei campioni >di 20ppm (CSC_(A)). I valori più alti contraddistinguono i campioni di Dosegù e Sforzellina, più ricchi in Al, anche se tra le concentrazioni dei due elementi non sembra esistere un vero trend lineare (Fig. 6.8h).

Il V (Fig. 6.8i) ha un andamento molto simile al Cr, con una tendenza alla linearità positiva tra le concentrazioni di V e Al, distinte in due popolazione di dati. Valori superiori alla CSC_(A) (90ppm) sono osservabili solo per pochi campioni in particolare SFORZ 6-9 e DOS 1.

Il Cd ha valori molto bassi e inferiori ai limiti di legge (2ppm per CSC_(A)), inoltre le variazioni di concentrazione al variare dell'Al sono poco apprezzabili (Fig. 6.8j). Non si riportano contenuti di Cd nei due campioni di roccia analizzata.

In fine per l'As (Fig. 6.8k) molti campioni sia del Dosegù (DOS 1-2-3-4), che di Sforzellina (SFORZ 1-2-8-16-22-26) e Forni (FOR 1-3-15), presentano concentrazioni maggiore di 20ppm (CSC_(A)) e non c'è una tendenza alla linearità tra i due elementi considerati. I valori di As riportati per il campione SFORZ 7 è di 12,5ppm mentre contenuti <1ppm si osservano per il campione FOR 7.





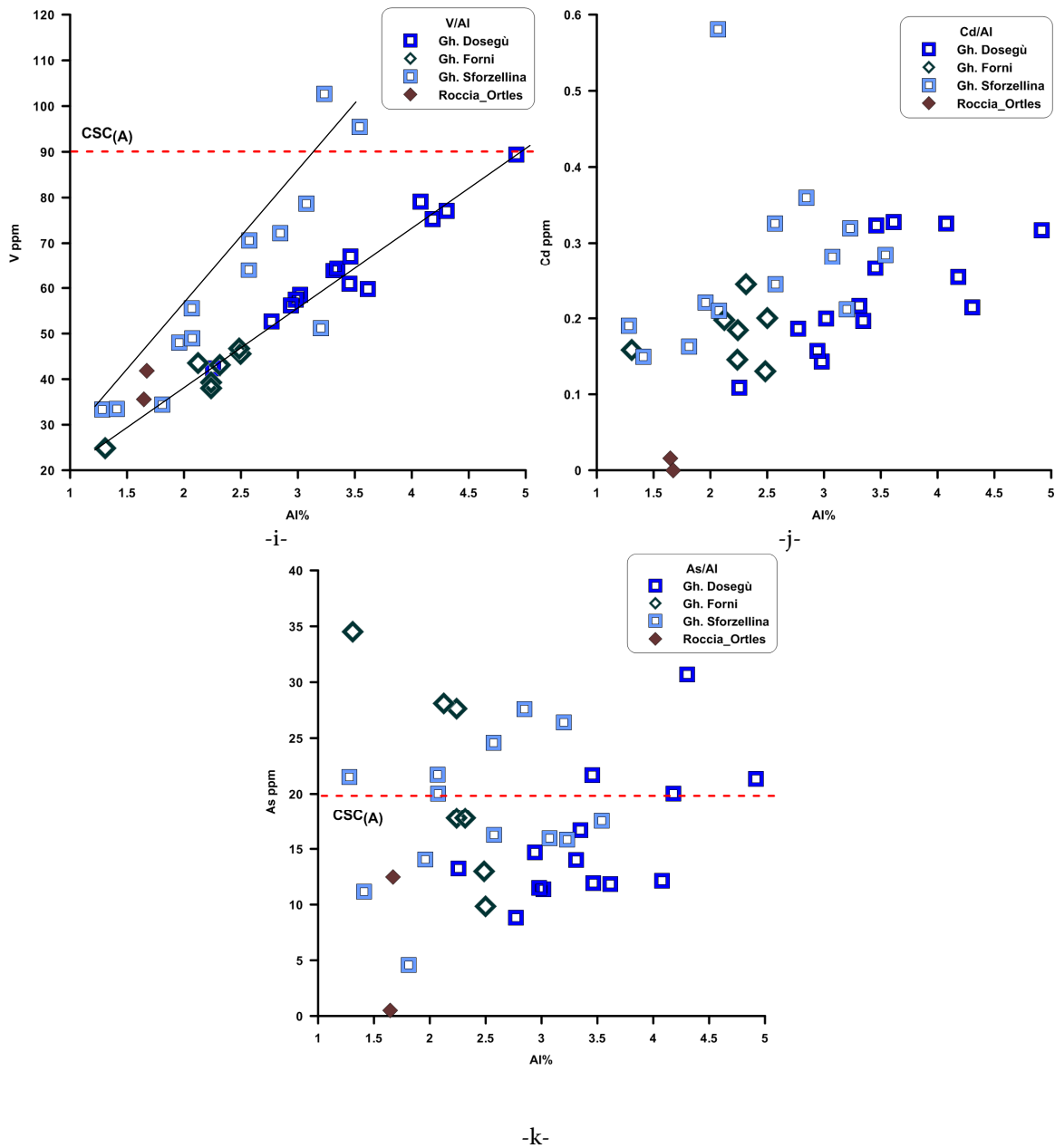


Fig. 6. 8 Grafici binari tra metallo (in ppm) e Al (in %) per i campioni dell'Ortles-Cevedale: a) Pb vs Al; b) Sn vs Al; c) Sb vs Al; d) Zn vs Al; e) Cu vs A; f) Ni vs Al; g) Cr vs Al; h) Co vs Al; i) V vs Al; j) Cd vs Al; k) As vs Al. Vengono riportate le concentrazioni soglia di contaminazione definite per legge: $CSC_{(A)}$ linea rossa tratteggiata; $CSC_{(B)}$ linea rossa continua.

6.1.2.2- Suoli dell'Adamello-Presanella: relazioni tra variabili

Per chiarire meglio il modello di distribuzione degli elementi, sulle 27 variabili chimiche indagate nei 29 campioni di suolo dell'Adamello-Presanella è stata applicata l'*Cluster Analysis* seguendo la metodologia descritta nel capitolo 5 (§ 5.5). In Fig. 6.11 è riportato il dendrogramma e in Tabella 6.10 i coefficienti di correlazione di Pearson tra gli elementi. Dal dendrogramma è possibile evidenziare due raggruppamenti principali: il I GRUPPO formato da elementi tipicamente crostali e che segnalano la componente litologica dei campioni analizzati. Comprende inoltre metalli pesanti quali Co, V e Mn.

I metalli pesanti di importanza ambientale (Cr, Ni, Cd, Sn, Pb, As, Mo, Sb, Zn, Ag) si dispongono tutti nel II GRUPPO insieme a elementi quali Fe, Ba e Ga.

In particolare le correlazioni più forti si evidenziano tra elementi quali Cr, Ni, Cd, Sn e Fe ($r > 0,80$), elementi con cui il Pb appare ben correlato. Questo metallo ha inoltre correlazione più debole ($r > 0,40$), ma comunque significative, con Cu, Zn e Sb, unica correlazione segnalata per quest'ultimo elemento. Correlazione forte hanno tra di loro As e Mo ($r = 0,83$). Gli elementi quali Cu, Zn, Ga, Ba hanno un valore di r molto alto ($> 0,90$) segnalando quindi la presenza di una correlazione molto forte; mentre Ag pur correlato con questo gruppo, presenta un valore di r più alto con As ($r = 0,64$).

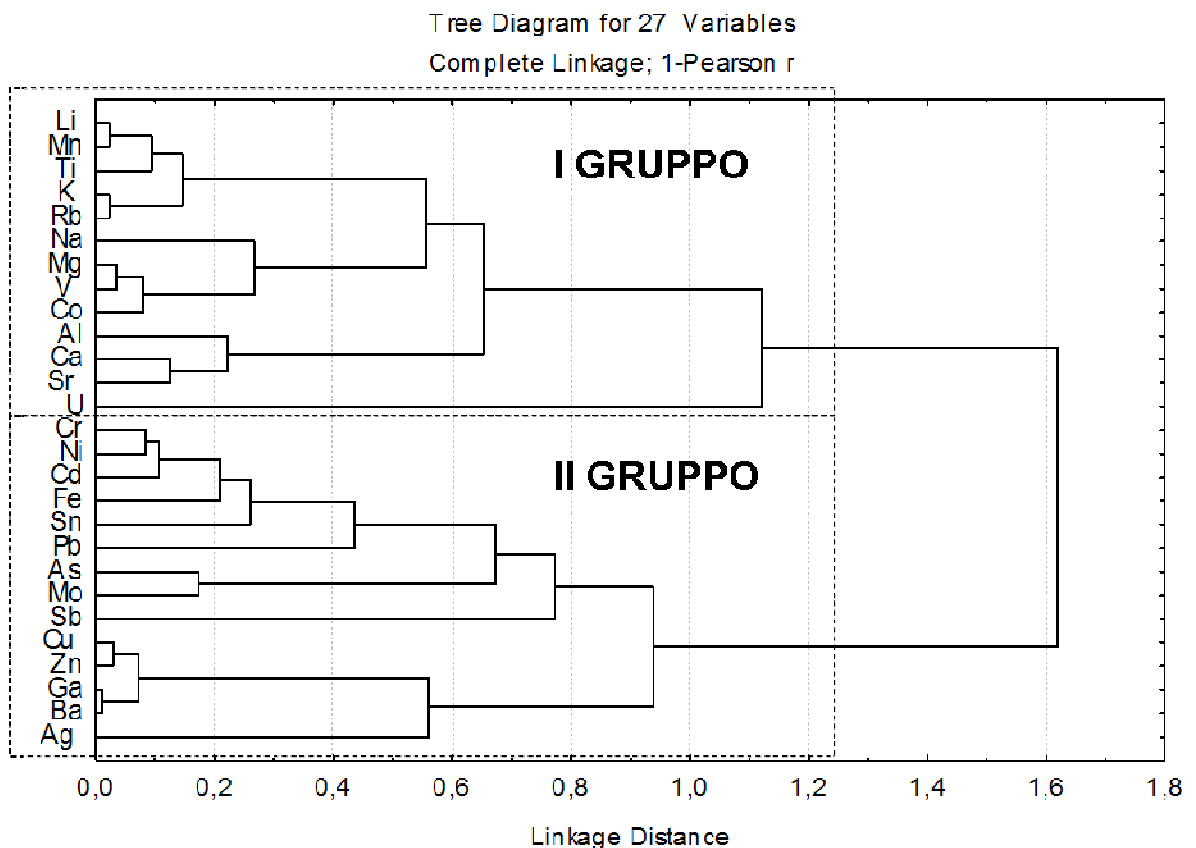


Fig. 6.11 Dendrogramma delle 27 variabile effettuato sui campioni di suolo del gruppo Adamello-Presanella.

Tabella 6. 10 Tabella di correlazione lineare degli elementi indagati per i campioni di suolo della Adamello-Presanella; correlazione con livello di significatività $p < 0,05$ marcata in grassetto.

	Li	Na	Mg	Al	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Pb	U	
Li	1,00																											
Na	0,70	1,00																										
Mg	0,91	0,84	1,00																									
Al	0,72	0,46	0,71	1,00																								
K	0,92	0,52	0,74	0,49	1,00																							
Ca	0,80	0,63	0,73	0,78	0,58	1,00																						
Ti	0,94	0,79	0,91	0,54	0,91	0,64	1,00																					
V	0,81	0,83	0,97	0,60	0,65	0,56	0,87	1,00																				
Cr	0,10	-0,02	0,20	0,17	0,09	0,03	0,02	0,26	1,00	0,18																		
Mn	0,98	0,66	0,88	0,68	0,90	0,81	0,91	0,76	0,18	1,00																		
Fe	0,42	0,33	0,52	0,29	0,37	0,31	0,39	0,54	0,85	0,50	1,00																	
Co	0,81	0,73	0,93	0,65	0,64	0,63	0,79	0,92	0,50	0,81	0,78	1,00																
Ni	-0,15	-0,21	-0,06	-0,07	-0,10	-0,19	-0,19	0,01	0,91	-0,05	0,79	0,29	1,00															
Cu	0,25	0,09	0,30	0,25	0,33	0,07	0,21	0,30	0,70	0,29	0,59	0,46	0,63	1,00														
Zn	0,39	0,22	0,43	0,34	0,44	0,19	0,34	0,41	0,66	0,42	0,61	0,55	0,55	0,97	1,00													
Ga	0,49	0,29	0,50	0,41	0,55	0,26	0,45	0,47	0,50	0,49	0,47	0,54	0,35	0,93	0,96	1,00												
As	-0,28	-0,27	-0,11	0,00	-0,26	-0,42	-0,29	0,01	0,65	-0,25	0,44	0,15	0,74	0,57	0,47	0,33	1,00											
Rb	0,86	0,44	0,68	0,39	0,98	0,45	0,88	0,63	0,09	0,85	0,36	0,61	-0,06	0,30	0,40	0,50	-0,19	1,00										
Sr	0,75	0,35	0,59	0,81	0,62	0,87	0,52	0,40	0,16	0,79	0,30	0,54	-0,04	0,28	0,36	0,42	-0,20	0,51	1,00									
Mo	-0,47	-0,47	-0,33	-0,28	-0,40	-0,62	-0,45	-0,16	0,65	-0,43	0,33	-0,08	0,72	0,39	0,28	0,12	0,83	-0,29	-0,44	1,00								
Ag	0,07	-0,07	0,13	0,21	0,07	-0,03	-0,00	0,13	0,45	0,11	0,32	0,25	0,39	0,52	0,51	0,44	0,64	0,08	0,26	0,34	1,00							
Cd	0,02	0,01	0,13	-0,03	0,06	-0,05	0,00	0,19	0,89	0,13	0,82	0,43	0,90	0,75	0,73	0,55	0,63	0,07	0,05	0,60	0,48	1,00						
Sn	-0,21	-0,17	-0,15	-0,25	-0,16	-0,13	-0,23	-0,10	0,76	-0,08	0,74	0,19	0,89	0,42	0,36	0,16	0,47	-0,16	-0,09	0,50	0,25	0,85	1,00					
Sb	-0,18	0,02	-0,10	-0,06	-0,22	-0,03	-0,17	-0,12	0,25	-0,11	0,23	0,03	0,34	0,24	0,20	0,13	0,27	-0,21	-0,07	0,24	0,06	0,35	0,37	1,00				
Ba	0,46	0,22	0,44	0,33	0,56	0,19	0,43	0,42	0,56	0,47	0,52	0,52	0,43	0,95	0,97	0,99	0,38	0,53	0,39	0,19	0,47	0,61	0,23	0,13	1,00			
Pb	-0,03	-0,20	-0,03	0,23	-0,01	0,06	-0,11	-0,02	0,65	0,04	0,56	0,20	0,68	0,48	0,42	0,30	0,48	-0,05	0,18	0,46	0,24	0,60	0,61	0,43	0,33	1,00		
U	0,41	0,05	0,17	-0,12	0,61	0,05	0,48	0,17	-0,15	0,44	0,04	0,09	-0,17	-0,14	-0,07	-0,02	-0,27	0,72	0,09	-0,09	-0,10	-0,10	-0,16	-0,15	0,06	-0,18	1,00	

6.1.2.3- Il Fattore di Arricchimento

Al fine di valutare il possibile grado di arricchimento in metalli pesanti, rispetto al tenore di fondo naturale delle aree indagate, è stato effettuato il calcolo del Fattore di Arricchimento (*Enrichment Factor*, EF), come descritto nel § 5.4., per Pb, Sb, Sn, Cu, Zn, Ni, Cr, As, Mo, Co, Mn, Ba, e V. I metalli selezionati per il calcolo sono stati scelti in base a quanto riportato dall'analisi dei campioni bellici (§ 6.1.1) e tenendo conto di quegli elementi per cui la normativa (D. Lgs 152/2006) prevede soglie di concentrazione ammissibili, come descritto nel paragrafo precedente.

In Tabella 6.8 sono riportati i valore di EF per i campioni dell'Adamello-Presanella e in Tabella 6.9 per i campioni dell'Ortles-Cevedale. Sono stati esclusi dal calcolo i campioni della Marmolada poiché il campione di riferimento per il tenore di fondo in questa area (MARM 9) presenta valori bassi dell'Al, utilizzato per la normalizzazione (Tabella V, Appendice B).

Seguendo quanto riportato da Andrews e Sutherland (2004) e da Ettler *et al.* (2006) possiamo distinguere 5 categorie dell'EF per valutare un arricchimento in un dato sito rispetto ai contenuti naturali dell'elemento: EF <2, arricchimento minimo; EF 2-5, arricchimento moderato; EF 5-20 arricchimento significativo (segnalato nelle tabelle in corsivo); EF 20-40, arricchimento alto (segnalato in grassetto); EF > 40, arricchimento estremo (in corsivo e grassetto).

Nei grafici in Fig. 6.9 sono riportati i valore di EF per i campioni dell'Adamello-Presanella presentati in Tabella 6.8 Nel primo grafico (Fig. 6.9a) è possibile osservare i valori di EF fino al limite di 40 (valore oltre il quale l'arricchimento è alto) per i campioni di suolo. I campioni con valori di EF >40 sono stati riportati nel grafico in Fig. 6.9b.

Il EF_{Pb} per i campioni di suolo superficiale prelevati presso ex siti militari (Lagoscuro e P.sso del Castellaccio) è >20, mentre valori più bassi (<5 e tra 5-20) sono evidenziati per i suoli campionati negli stessi punti lungo la verticale, a maggiore profondità.

EF_{Cu} è intorno a 5 per la maggior parte dei campioni del Castellaccio, con alcune eccezioni rappresentate da CAST 8 e 9 con EF_{Cu} >20. I campioni del Lagoscuro presentano valori di Il EF_{Cu} tra 5-20 ad eccezione di LSCU 1 e 14 (EF_{Cu} >20).

Altri metalli quali Sn e Mo e talvolta Sb e Zn, presentano un Fattore di Arricchimento che rientra nella categoria 5-20, anche se la maggior parte dei campioni ha valori più bassi di 5. Valori più alti si evidenziano per i campioni del Lagoscuro e Castellaccio che abbiamo visto avere un EF_{Pb} alto. Per i campioni di suolo prelevati sui ghiacciai del Presena, Presanella e Mandrone, si evidenzia un valore di EF di 5-20 nei campioni superficiali, soprattutto per quanto riguarda il Pb, ma anche per Cu, Sb, Sn e Mo.

Il calcolo del EF per i campioni di sedimento dell'Adamello-Presanella, rappresentato nel grafico in Fig. 6.9c, mostra valori in generale <2 per quasi tutti i campioni e i metalli analizzati, ad eccezione di Pb, Cu e Mo.

Un valore di EF_{Zn} tra 2 e 5 caratterizza tutti i campioni del Presena (EF_{Pb} >5 per PRE 11), ad eccezione di PRE 3 e PRE 7 (EF_{Pb} <2), nel campione MAND 3 e in PRESA 7. Valori di EF_{Mo} di 2-5 si evidenzia nel campione MAND 3 e in PRE 10, mentre PRE 11 presenta EF_{Mo} >5 e EF_{Cu} 2-5; EF_{Ni} >2; EF_{Zn} tra 2 e 5.

Tabella 6.8 Valore del *Enrichment Factor* (EF*) per Pb, Sb, Sn, Cu, Zn, Ni, Cr, As, Mo, Co, Ba e V per i campioni del gruppo Adamello-Presanella.

Campioni	Sito	Pb	Sb	Sn	Cu	Zn	Ni	Cr	As	Mo	Co	Mn	Ba	V
ADAMELLO-PRESANELLA SUOLI														
LEV2	Valle Adamè	67	0	2	4	3	4	3	2	9	1	1	1	1
LEV3	Valle Adamè	7	0	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1
LEV4	Valle Adamè	2	0	1	1	1	2	1	0	1	1	2	2	1
LSCU 1**	Lagoscuoro	696	<i>10</i>	500	91	<i>15</i>	24	<i>11</i>	6	17	3	1	4	1
LSCU 2**	Lagoscuoro	56	2	9	<i>19</i>	2	5	2	3	6	1	0	1	1
LSCU 3**	Lagoscuoro	221	2	1	6	1	2	1	2	5	1	0	0	1
LSCU 4**	Lagoscuoro	70	1	5	<i>13</i>	2	4	4	1	7	1	0	1	1
LSCU9**	Lagoscuoro	28	0	4	5	2	2	1	2	3	1	0	1	0
LSCU14-I**	Lagoscuoro	101	3	41	35	4	4	2	3	9	1	0	1	1
LSCU15-II	Lagoscuoro	<i>12</i>	1	1	5	1	3	2	2	7	1	0	0	1
LSCU16-III	Lagoscuoro	2	0	0	2	1	2	1	1	4	0	0	0	0
CAST1-I	P.sso del Castellaccio	134	2	4	5	1	1	1	0	1	1	1	1	1
CAST2-II	P.sso del Castellaccio	110	1	4	6	1	1	1	0	1	1	1	1	1
CAST3-III	P.sso del Castellaccio	84	1	3	5	1	1	1	0	1	1	1	1	1
CAST4-I	P.sso del Castellaccio	34	0	4	6	1	2	1	1	1	1	1	1	0
CAST5-II	P.sso del Castellaccio	35	0	3	4	3	1	1	0	1	1	1	1	0
CAST6-III	P.sso del Castellaccio	20	0	3	5	1	1	1	0	1	1	1	1	0
CAST7-IV	P.sso del Castellaccio	20	0	2	4	1	1	1	0	1	1	1	1	0
CAST8-I	P.sso del Castellaccio	110	2	23	67	<i>12</i>	3	2	1	3	1	1	6	<i>1</i>
CAST9-II	P.sso del Castellaccio	53	1	13	24	5	2	2	2	2	1	1	2	1
PRE27-I	Gh. Presena	6	0	1	1	2	1	1	1	1	1	1	0	1
PRE28-II	Gh. Presena	2	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
PRE29-I	Gh. Presena	<i>16</i>	0	8	<i>11</i>	3	2	1	1	2	1	1	1	1
PRE30-II	Gh. Presena	4	0	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MAND10-I	Gh. Mandrone	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
MAND11-II	Gh. Mandrone	1	1	2	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1
PRESA1	Gh. Presanella	9	<i>11</i>	5	2	2	1	1	1	3	1	1	0	1
PRESA2	Gh. Presanella	<i>10</i>	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1	0	1
PRESA3	Gh. Presanella	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
PRESA4	Gh. Presanella	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
SEDIMENTI														
PRE3	Gh. Presena	2	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1
PRE7	Gh. Presena	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1
PRE18	Gh. Presena	2	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
PRE23	Gh. Presena	5	0	0	2	1	1	1	0	1	1	1	0	1
PRE26	Gh. Presena	4	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
PRE11	Gh. Presena	6	0	2	3	2	2	2	1	5	1	1	1	1
PRE10	Gh. Presena	3	0	1	2	1	2	1	0	3	1	1	0	1
MAND3	Gh. Mandrone	4	0	1	1	1	2	2	1	3	1	1	0	1
MAND8	Gh. Mandrone	2	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
MAND9	Gh. Mandrone	2	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
PRESA5	Gh. Presanella	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
PRESA6	Gh. Presanella	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
PRESA7	Gh. Presanella	3	0	1	2	1	1	1	2	1	1	1	0	1
PRESA13	Gh. Presanella	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
PRESA26	Gh. Presanella	1	0	0	1	1	1	1	2	1	1	1	0	1

*Sono distinti in tabella i valori di EF 5-20 (arricchimento significativo) in corsivo; EF 20-40 (arricchimento alto) in grassetto; EF > 40 (arricchimento estremo) in corsivo e grassetto.

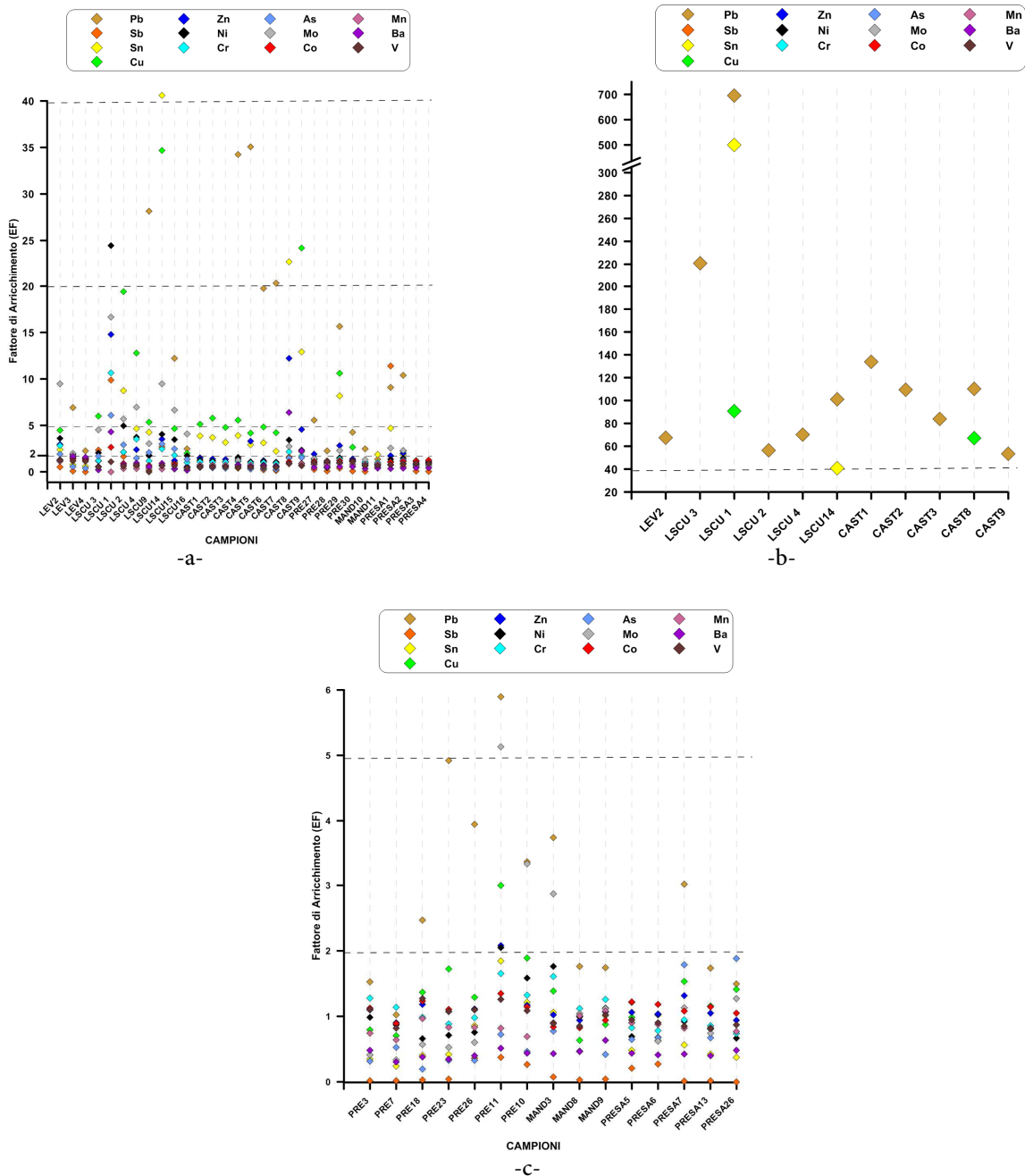


Fig. 6.10 Fattore di Arricchimento per Pb, Sb, Sn, Cu, Zn, Ni, Cr, As, Mo, Co, Mn, Ba, V per i campioni dell' Adamello-Presanella: a) campioni di suolo con valori di EF≤40 ; c) campioni di suolo con valori di EF>40; c) campioni di sedimento.

Per i campioni di sedimento dei ghiacciai del Dosegù e dei Forni (massiccio dell'Ortles-Cevedale), i valori del Fattore di Arricchimento per i metalli quali Sb, Cu, Zn, Ni, Cr, Co, Mn, Ba, V rientrano nella categoria di EF<2 (Fig. 6. 10a).

Il valore di EF_{Pb} è tra 2-5 per tutti i campioni del Dosegù e solo il campione DOS 23 presenta EF_{Pb}> 5. Per il ghiacciaio dei Forni i campioni che presentano EF_{Pb}> 5 sono FOR 3 e 18.

Nei campioni di questi due ghiacciai EF_{Mo} presenta valori tra 2-5. I campioni DOS 15-19 hanno EF_{Sn} di 2-5. In fine EF_{As} rientra nella categoria 2-5 per i campione FOR 1 e FOR 15, mentre il FOR 3 presenta un valore >5.

Il grafico in Fig. 6. 10b riporta il valore del fattore di arricchimento calcolato per i campioni di sedimento del ghiacciaio dello Sforzellina. Il campione SFORZ 16 è l'unico a presentare un EF_{Pb} >20, mentre molti campioni (SFORZ 1-2-3, SFOR 15-21-22) rientrano nella categoria di EF_{Pb} 5-20. Solo il campione SFORZ 15 presenta un EF_{Sb} tra 2 e 20. la maggior parte dei campioni di questo ghiacciaio sono caratterizzati da valori di EF_{Mn} e di EF_{Mo} ricadente nella categoria 2-5.

Tabella 6.9 Valore del *Enrichment Factor* (EF*) per Pb, Sb, Sn, Cu, Zn, Ni, Cr, As, Mo, Co, Ba e V per i campioni del gruppo Ortles-Cevedale.

Campioni	Sito	Pb	Sb	Sn	Cu	Zn	Ni	Cr	As	Mo	Co	Mn	Ba	V
ORTLES-CEVDEDALE														
DOS1-I*	Gh. Dosegù	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
DOS2-II	Gh. Dosegù	4	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
DOS3-III**	Gh. Dosegù	4	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1
DOS4**	Gh. Dosegù	4	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	1	1
DOS6	Gh. Dosegù	3	1	1	1	1	2	1	1	3	1	1	1	1
DOS13**	Gh. Dosegù	4	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1
DOS14**	Gh. Dosegù	3	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1
DOS15	Gh. Dosegù	3	1	3	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1
DOS17	Gh. Dosegù	3	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1
DOS18**	Gh. Dosegù	2	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1
DOS19**	Gh. Dosegù	5	1	3	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1
DOS20	Gh. Dosegù	3	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1
DOS23	Gh. Dosegù	5	1	0	1	1	1	1	2	3	1	1	1	1
DOS24	Gh. Dosegù	2	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1
FOR1	Gh. Forni	4	1	1	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1
FOR2-I	Gh. Forni	2	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	0	1
FOR3-II	Gh. Forni	6	2	1	2	1	1	1	7	3	1	2	1	1
FOR6	Gh. Forni	2	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1
FOR12	Gh. Forni	3	1	2	1	1	1	1	2	3	1	1	1	1
FOR15	Gh. Forni	7	1	1	2	2	1	1	3	4	1	1	1	1
FOR18	Gh. Forni	2	0	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
SFORZ1	Gh. Sforzellina	9	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1
SFORZ2	Gh. Sforzellina	11	1	1	1	1	2	1	3	2	1	2	1	1
SFORZ3	Gh. Sforzellina	9	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1
SFORZ6	Gh. Sforzellina	4	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1
SFORZ8	Gh. Sforzellina	4	5	0	1	1	1	1	4	4	2	3	1	1
SFORZ9	Gh. Sforzellina	4	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1
SFORZ12	Gh. Sforzellina	5	1	0	1	1	1	1	1	3	1	2	1	1
SFORZ15	Gh. Sforzellina	8	6	2	1	1	2	1	2	3	1	3	1	1
SFORZ16	Gh. Sforzellina	20	4	4	1	2	2	1	3	3	2	4	1	1
SFORZ21	Gh. Sforzellina	5	1	2	1	1	1	1	2	2	1	3	1	1
SFORZ22	Gh. Sforzellina	8	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1
SFORZ25	Gh. Sforzellina	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	0	1
SFORZ26	Gh. Sforzellina	4	1	3	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1

*Sono distinti in tabella i valori di EF 5-20 (arricchimento significativo) in corsivo; EF 20-40 (arricchimento alto) in grassetto; EF > 40 (arricchimento estremo) in corsivo e grassetto.

**campionati in presenza di materiale bellico

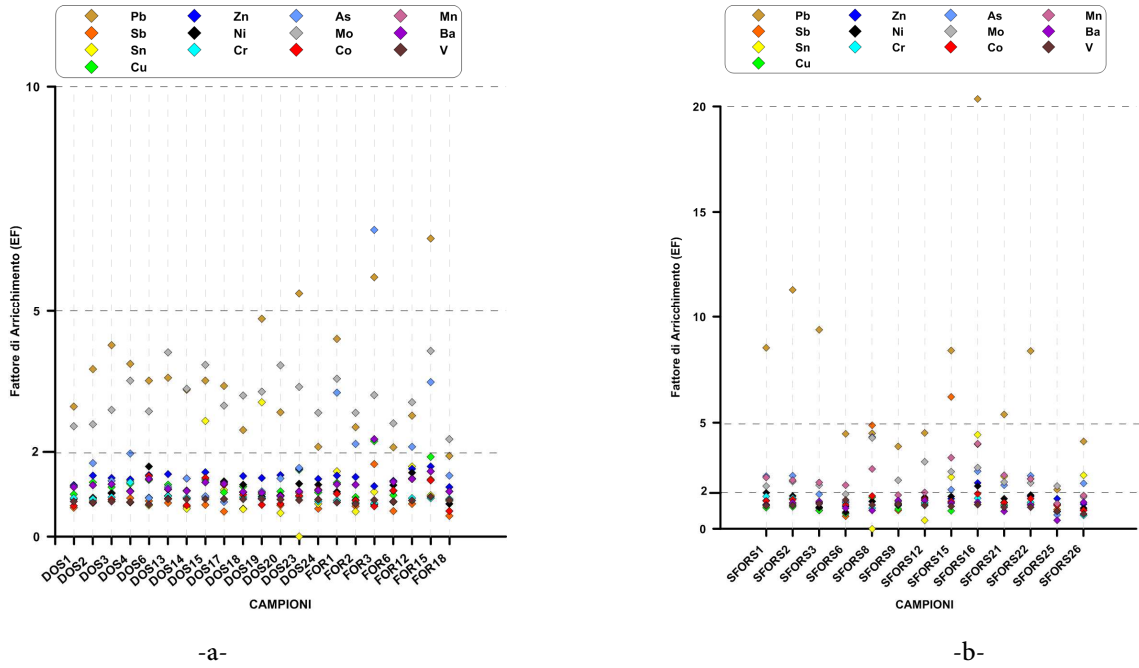


Fig. 6.10 Fattore di Arricchimento per Pb, Sb, Sn, Cu, Zn, Ni, Cr, As, Mo, Co, Mn, Ba, V per i campioni di sedimento dell'Ortles-Cevedale: a) campioni del ghiacciaio del Dosegù e Forni; b) campioni del ghiacciaio della Sforzellina.

6.1.3 - Acque

In Tabella VI, Appendice B sono riportate le concentrazioni dei campioni di acqua del ghiacciaio della Marmolada, dell'Adamello-Presanella e dell'Ortles-Cevedale. Di seguito sono descritti i risultati delle analisi chimiche distinti per gruppo montuoso, focalizzando in particolare l'attenzione sui metalli pesanti quali Pb, Sb, Cu e Zn nei diversi siti indagati, espressi in ppt (ng/L) e in ppb ($\mu\text{g/L}$), per quelli a concentrazione maggiore.

Campioni Marmolada

In Tabella 6.12 sono riportati gli indici statistico descrittivi per le concentrazioni degli elementi di specifico interesse quali Pb, Sb, Cu e Zn e degli altri elementi maggiori e in traccia analizzati nei 10 campioni di acqua del ghiacciaio della Marmolada. Questi campioni hanno un pH medio di 7,9 (circa 8) e una conducibilità elettrica (EC espressa in $\mu\text{S/cm}$) di 74.

L'abbondanza media di Na è di 71 ± 24 ppb e presenta minimo di 23 ppb nel campione MARM 11 e massimo di 108 ppb nel MARM 2. Nello stesso campione si osserva il valore minimo per l'Al, mentre il massimo di 17 ppb è nel campione MARM 31 e il valore medio è di 7 ± 4 ppb. Un contenuto medio di 442 ± 359 ppb presenta il Mg, che varia tra minimo di 30 ppb (MARM 6) e massimo di 1087 ppb (MARM 16). La concentrazione di K media riportata per questi campioni di acqua è di 442 ± 332 ppb e i contenuti dell'elemento sono variabili da 110 a 908 ppb, rispettivamente nei campioni MARM 11 e MARM 31. Nei campioni di fusione glaciale del ghiacciaio della Marmolada le concentrazioni di Ca sono comprese nell'intervallo di 813-11360 ppb rispettivamente nel campione MARM 6 e MARM 31, da cui deriva un livello medio di 6063 ± 2828 ppb.

Il Fe ha un *range* di concentrazione variabile da 1,3 ppb (MARM 25) a 3 ppb (MARM 18 e 23) e media di 2 ± 1 ppb. Il Ba ha media di 467 ± 201 ppt ed è variabile da un valore minimo di 272 ppt a un valore massimo di 889 ppt, presentati rispettivamente nel campione MARM 23 e nel campione MARM 18. Il Ti varia tra 16 ppt (MARM 11) e 631 ppt (MARM 2) e presenta media di 202 ± 227 ppt. Valori tra 667-10440 ppt (MARM 6- MARM 31) e media di 5338 ± 2712 ppt presenta in questi campioni Sr. Le variazioni delle altre tracce sono per il Li di 15-40 ppt (MARM 6- MARM 31) e valore medio di 30 ± 8 ppt; per Ga di 39-149 ppt (MARM 6- MARM 18) e valore medio di 83 ± 35 ppt; per Rb di 74-241 ppt (MARM 2- MARM 11) e valore medio di 150 ± 56 ppt.

Valutando le concentrazioni riportate per gli altri elementi in traccia si evidenzia il contenuto medio di V è di 95 ± 50 ppt; minimo di 23 ppt (MARM 6) e massimo di 173 ppt (MARM 25). L'abbondanza del Cr varia da 76 a 166 ppt, nei campioni MARM 4 e MARM 11 e ha media di 101 ± 26 ppt. Nei campioni in esame sono state misurate concentrazioni di Mn tra 148 ppt (MARM 2) e 1742 ppt (MARM 25) e media di 838 ± 526 ppt.

Cd e Co hanno contenuti medi rispettivamente di 29 ± 41 ppt e 15 ± 4 ppt. Il valore minimo si osserva per il Cd (1,6 ppt) nel campione MARM 2 e nel MARM 6 per il Co (9,2 ppt), mentre il massimo è in MARM 2 (106 ppt) per il primo elemento e in più campioni quali MARM 18-23-31 (19 ppt) per il secondo. Il Mo varia da 17 ppt a 88 ppt nei campioni MARM 6 - 11 e MARM 2 e ha media di 48 ± 24 ppt. Valori medi di 214 ± 38 ppt presenta il Se e un minimo di

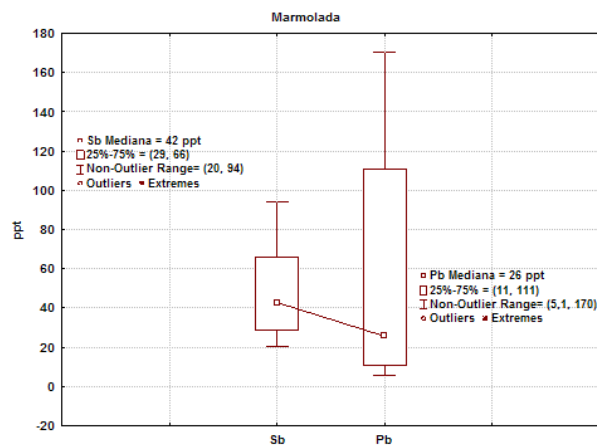
163ppt (MARM 6) e massimo di 287ppt (MARM 23). Elementi quali Ni, As, Ag, Sn, Bi non sono stati determinati nei campioni analizzati. Gli elementi in traccia quali Cs e Tl sono presenti con concentrazioni medie <10ppt e U<20ppt.

Tra i metalli pesanti di specifico interesse nelle acque del ghiacciaio indagato il Pb presenta media di 53±60ppt e varia da un minimo di 5,7ppt osservato nei campioni MARM 11 e MARM 31 a un massimo di 170ppt nel campione MARM 18; come riportato inoltre in Fig. 6.13a il 50% dei dati è compreso tra il 11 e 111ppt e il valore mediano è di 26ppt.

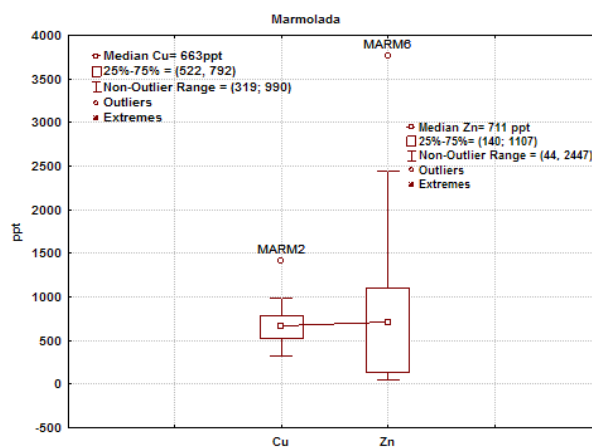
L'Sb ha media di 49±26ppt e varia tra 20 e 94ppt, negli stessi campioni in cui anche il Pb presenta il minimo e il massimo dei valori osservati. La differenza interquartile è tra 29ppt e 66ppt ed è osservabile in Fig. 6.13a, in cui è riportato il valore mediano dell'elemento di 43ppt.

L'abbondanza minima di Cu si osserva nel campione di MARM 11 ed è di 319ppt, mentre il massimo è di 1418ppt nel campione MARM 2 (considerato *outlier* della distribuzione), inoltre il contenuto medio dell'elemento è di 703±324ppt, mentre presenta un valore mediano come evidenziato nel box plot in Fig. 6.Jb di 663ppt, con un range tra 25% di 522 e 75% di 792ppt.

Lo Zn ha media di 1037±1201ppt e varia da un minimo di 44ppt (MARM 18) ad un massimo di 3767ppt (*outlier*, MARM 6). Il 50% dei valori di questo elemento rientrano entro un valore di 711ppt e il primo quartile è di 140 ppt e il secondo di 1107ppt (Fig. 6.Jb).



-a-



-b-

Fig. 6. 13 Box plot delle concentrazioni di: a) Sb e Pb; b) Cu e Zn.

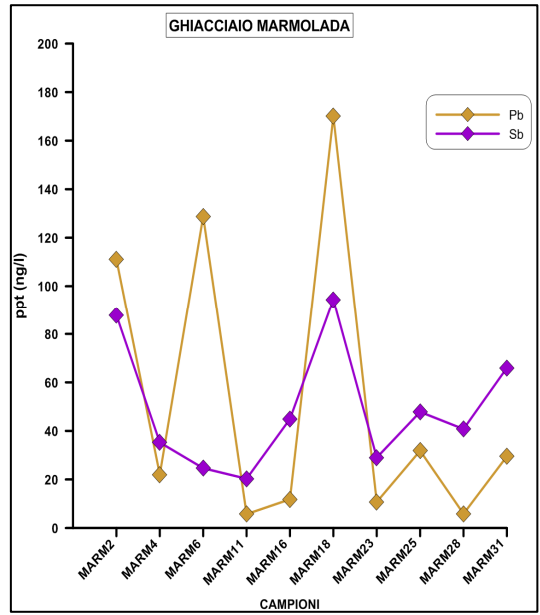
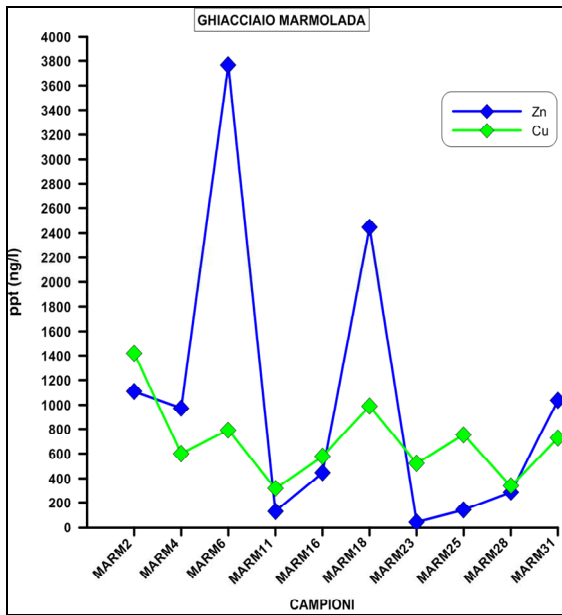
Tabella 6.12 Indici statistici descrittivi per gli elementi indagati nei campioni di acqua di fusione glaciale del ghiacciaio della Marmolada.

ELEMENTI	Numero di conteggi	Media	Mediana	Minimo	Massimo	Std.Dev.	25%	75%
Na ppb	10	71	73	23	108	23	57	85
Al ppb	10	7	6	2,5	17	4	258	732
Mg ppb	10	442	318	30	1087	359	3	9
K ppb	10	442	337	110	908	332	125	751
Ca ppb	10	6063	6098	813	11360	2818	4557	7835
Fe ppb	10	2	2	1,3	3	1	2	3
Ba ppt	10	467	417	271	889	201	295	560
Ti ppt	10	202	80	16	631	227	27	455
V ppt	10	95	81	23	173	50	70	139
Cr ppt	10	101	98	76	166	26	84	100
Mn ppt	10	838	682	148	1742	526	438	1156
Cu ppt	10	703	663	318,6	1418	324	522	792
Zn ppt	10	1037	711	44	3767	1201	140	1107
Sb ppt	10	49	43	20	94	26	29	66
Pb ppt	10	53	26	5,7	170	60	11	111
Cd ppt	10	29	4	1,6	106	41	4	76
Co ppt	10	15	16	9,2	19	4	11	19
Mo ppm	10	48	49	17,0	88	24	30	65
Li ppt	10	30	30	15	41	8	26	37
Ga ppt	10	83	79	39	149	35	56	92
Rb ppt	10	150	143	74	241	56	97	191
Sr ppt	10	5338	4901	667	10440	2712	4135	5955
Cs ppt	10	3	2	0,9	9	3	1	5
Tl ppt	10	6	5	3,1	12	3	4	10
U ppt	10	19	14	4	39	11	11	26

In base ai valori presentati vengono riportate in Fig.13a le variazioni spaziali dei metalli pesanti quali Cu, Zn e in Fig 6.13b quelli di Pb, Sb.

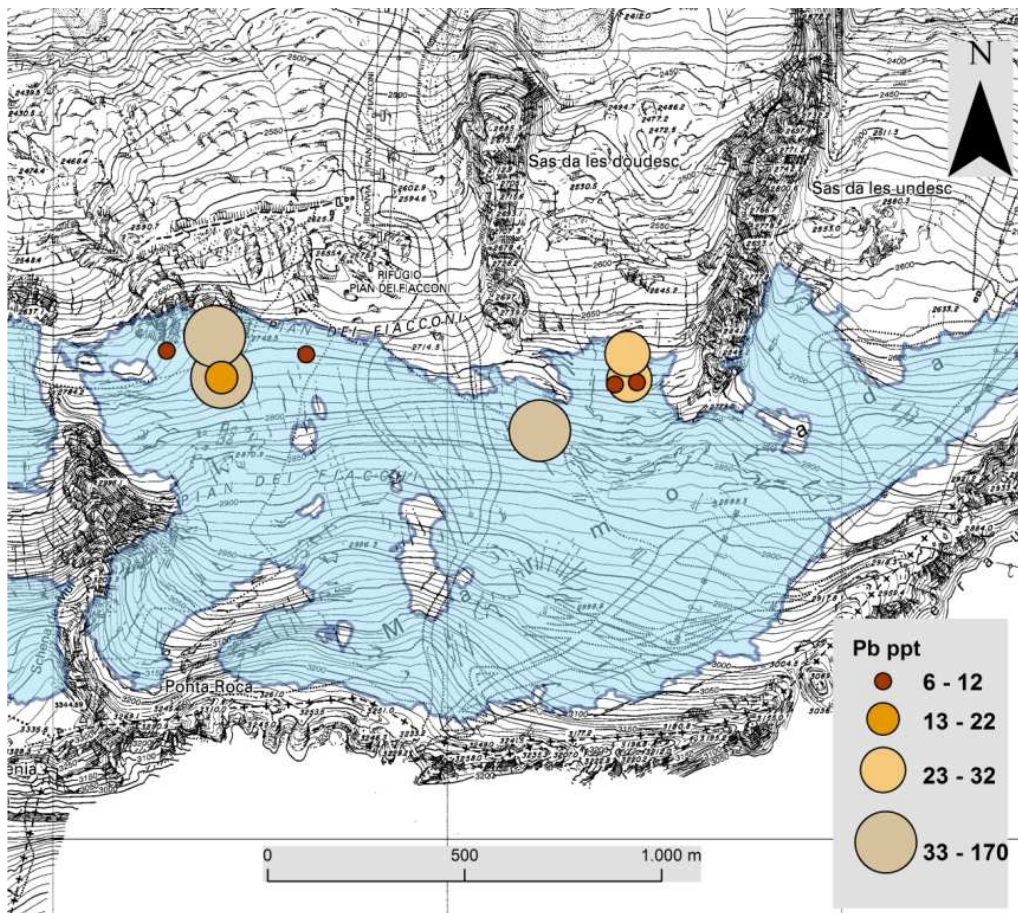
Si evidenzia un andamento generale simile tra Zn e Cu che presentano i valori più alti delle concentrazioni nei campioni MARM 6- 18 – 31 (>120ppt). Per il Pb le concentrazioni più alte sono nel campione MARM 2- 6-18; in quest'ultimo campione sono evidenziabili concentrazioni più alte (94ppt) anche per Sb, che presenta un contenuto simile in MARM 2.

Inoltre attraverso la *dot map* di Pb (Fig.6.13c) è possibile valutare la variazione in concentrazione in base al punto di campionamento, evidenziate in carta attraverso 4 classi di valori.



-a-

-b-



-c-

Fig. 6. 13 Grafici di distribuzione nei campioni di acqua della Marmolada dei metalli pesanti: a) Zn e Cu; b) Sb e Pb; c) dot map delle concentrazioni del Pb.

Campioni Adamello-Presanella

Gli indici statistici descrittivi per le concentrazioni degli elementi indagati nei 36 campioni di acqua prelevati sul gruppo montuoso dell'Adamello-Presanella sono presentati in Tabella 6.13. Per questi campioni è stato misurato un pH medio di 6,6 e una conducibilità elettrica media di 6 ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Tabella 6.13 Indici statistici descrittivi per gli elementi indagati nei campioni di acqua dell'Adamello-Presanella.

ELEMENTI	Numero di conteggi	Media	Mediana	Minimo	Massimo	Std.Dev.	25%	75%
Na ppb	36	300	274	42	991	208	154	417
Al ppb	36	59	12	1,1	365	87	4	95
Mg ppb	36	86	69	2,7	266	64	48	109
K ppb	36	885	869	136	1893	449	576	1170
Ca ppb	36	1127	973	0,4	4089	945	454	1554
Fe ppb	36	69	8,8	1,6	458	110	4,0	103
Ba ppt	36	671	370	36	3555	716	246	991
Ti ppt	36	7404	533	24	54290	13027	178	9708
V ppt	36	598	463	32	1696	500	209	876
Cr ppt	36	143	130	95	303	44	111	157
Mn ppt	36	2754	1407	129	17420	3634	512	3021
Cu ppt	36	488	418	191	1422	243	333	576
Zn ppt	36	1692	831	28	22440	3667	518	1747
Sb ppt	36	28	24	6,1	93	16	18	35
Pb ppt	36	40	31	0,4	148	33	14	58
Cd ppt	36	12	8,9	2,5	40	9,6	5,3	18
Co ppt	36	33	15	5,6	177	38	9,5	43
Mo ppt	36	165	111	8,7	597	167	30	263
Li ppt	36	469	265	32	2513	582	109	708
Ga ppt	36	150	76	1,3	766	158	56	216
Rb ppt	36	509	506	65	1627	337	248	681
Sr ppt	36	1127	985	65	3609	839	692	1289
Cs ppt	36	13	5,2	0,8	77	17,6	2,7	15
Tl ppt	36	2	1,3	0,2	8	1,5	0,7	2
U ppt	36	127	51	0,3	1625	289	12,8	115

Il Na presenta concentrazioni variabili da 42ppb a 991ppb una media di 300 ± 208 ppb. Il minimo si osserva nel campione PRE 15 e il massimo in LMAN 2.

Le variazioni dell'Al nei campioni considerati sono tra 1,1 ppb e 365 ppb e media di 59 ± 87 ppb. Il minimo di Al è evidenziato nel campione LSCU6 e il massimo in AVIO 4. In questo campione si ha anche il valore massimo per il Mg (266ppb), mentre il minimo è di 2,7ppb nel campione MAND 2; i contenuti medi dell'elemento sono di 86 ± 64 ppb.

Tra un valore minimo di 136ppb (PRE 20) e un valore massimo di 1893 ppb (AVIO 4) varia il K che ha media di 885 ± 449 ppb. L'abbondanza media di Ca è di 1127 ± 945 ppb variando da 0,4ppb a 4089ppb, valori minimi e massimi che si osservano nei campioni MAND 2 e LMAN2. Per quanto riguarda il Fe il valore medio risultante dalle analisi dei campioni considerati è di 69 ± 110 ppb e range di 1,6-458ppb (LSCU11-AVIO 4).

Il contenuto medio di Ba è di 671 ± 716 ppb; 36ppt il minimo (PRESA 21) e 3555ppt il massimo (AVIO 4). Il Ti varia da 24ppt (LSCU 6) a 54290ppt (AVIO 4) e presenta contenuto medio di 7404 ± 13097 ppb. Le abbondanze medie osservate per lo Sr sono di 1129 ± 839 ppb con massimo e minimo variabile da 65 a 3609 ppb nel campione MAND 2 e LSCU 6. Altri elementi in traccia quali il Li ha media di 469 ± 582 ppb, minimo di 32ppt (LSCU 13) e massimo 2513 (AVIO 4); Ga media di 150 ± 158 ppt, minimo di 1,3ppt (PRESA 17) e massimo di 766ppt (AVIO 4); Rb ha media di 509 ± 337 , minimo di 65ppt (PRE 20) e massimo di 1627ppt (AVIO 4).

Passando ai risultati dei metalli pesanti, si osservano valori medi di V è di 598 ± 500 ppb e l'elemento varia da un minimo di 32ppt nel campione PRE 15 a un massimo di 1696ppt nel campione AVIO 4. Il *range* di variazione per il Cr è di 95-303ppt (LEV 3-AVIO 4) e presenta media di 143 ± 44 ppb. Abbondanza media di 2754 ± 3634 ppb risulta per l'Mn, elemento che ha il suo valore minimo nel campione MAND 2 (129ppt) e il massimo nel campione AVIO 4 (17420 ppt). L'abbondanza media riportata per Cd è di $12 \pm 9,6$ ppb; il minimo di 2,5ppt è nel campione LSCU 13 e il massimo di 40ppt si rileva nel campione PRE 2.

Le variazioni di Co vanno da un minimo di 5,6ppt (PRE 22) a un massimo di 177ppt (AVIO 4) e presenta valore medio di 33 ± 38 ppb. Contenuti medi di 165 ± 167 ppb ha il Mo e un range tra 8,7ppt a 597ppt (PRESA 21-LMAN 2).

Infine l'U ha valore medio di 127 ± 289 , con minimo di 0,3ppt e massimo di 1625ppt (LSCU 6-PRE 9), e il Se presenta un valore medio di 292 ± 49 ; il minimo di 195ppt nel campione LEV 9 e il massimo di 394ppt nel campione PRE 6.

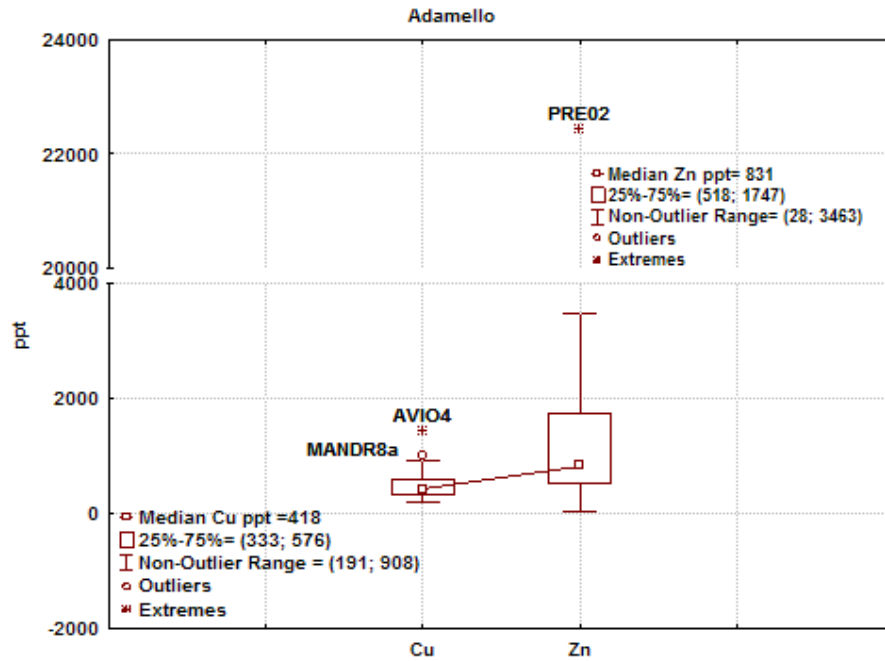
Cs e Tl hanno contenuti medi < 15 ppb, mentre anche per questi campioni non sono stati determinati alcuni elementi quali Ni, As, Ag, Sn, Bi.

Entrando più nello specifico per i metalli pesanti quali Cu si riporta un contenuto medio di 488 ± 243 ppb, un minimo di 191ppt (PRE22) e un massimo di 1422ppt (AVIO 4). I valori relativi al Cu sono visualizzabili nel *box plot* in Fig.14. a, in cui si può osservare inoltre che il 50% dei dati di questo elemento ricade in un *range* di concentrazione tra 333-576ppb. Per il Cu si individuano due valori considerati *outlier* e estremo dei dati MANDR 8 e AVIO 4 rispettivamente.

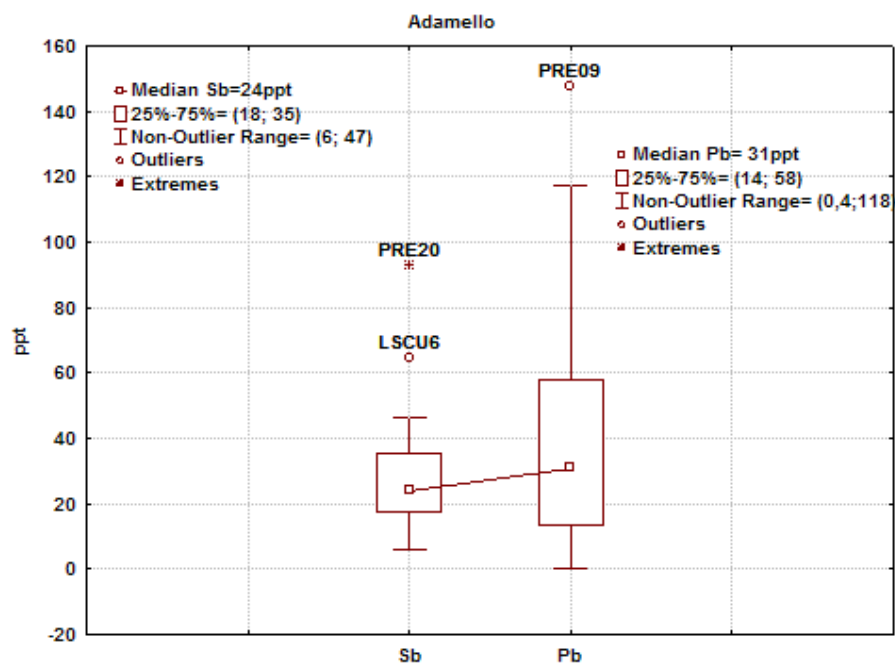
Nei campioni in esame sono state misurate concentrazioni di Zn tra 28ppt (PRESA 15) e 22440ppt (PRE 2) e media di 1692 ± 3667 ppb. Il 25% dei dati è di 518ppt e il 75% ricade entro un valore di 1747ppt ed una mediana di 831ppt (Fig.14a), mentre il valore in PRE 2 è considerato valore estremo.

Per il Pb sono osservabili concentrazioni medie di 40 ± 33 ppb. Il campione con il contenuto minimo di Pb è PRE 22 (0,4ppt) e il massimo si ritrova nel campione PRE 9 (*outlier*, 148ppt). Il 50% delle concentrazioni dell'elemento rientrano all'interno di un valore mediano di 31ppt, come è possibile apprezzare nel *box plot* in Fig. 14b.

L'Sb presenta un contenuto medio di 28 ± 16 ppb e valori che vanno da un minimo di 6,1 ppt (PRESA 21) a un massimo di 93ppt (valore estremo, PRE 20). Il quartile inferiore (25%) ha il valore di 14ppt e il quartile superiore di 58ppt, il 50% delle concentrazioni di questo elemento nelle acque dell'Adamello-Presanella ricade entro i 24ppt Fig. 14b. Il campione LSCU 6 presenta inoltre un valore *outlier* di 64ppt.



-a-

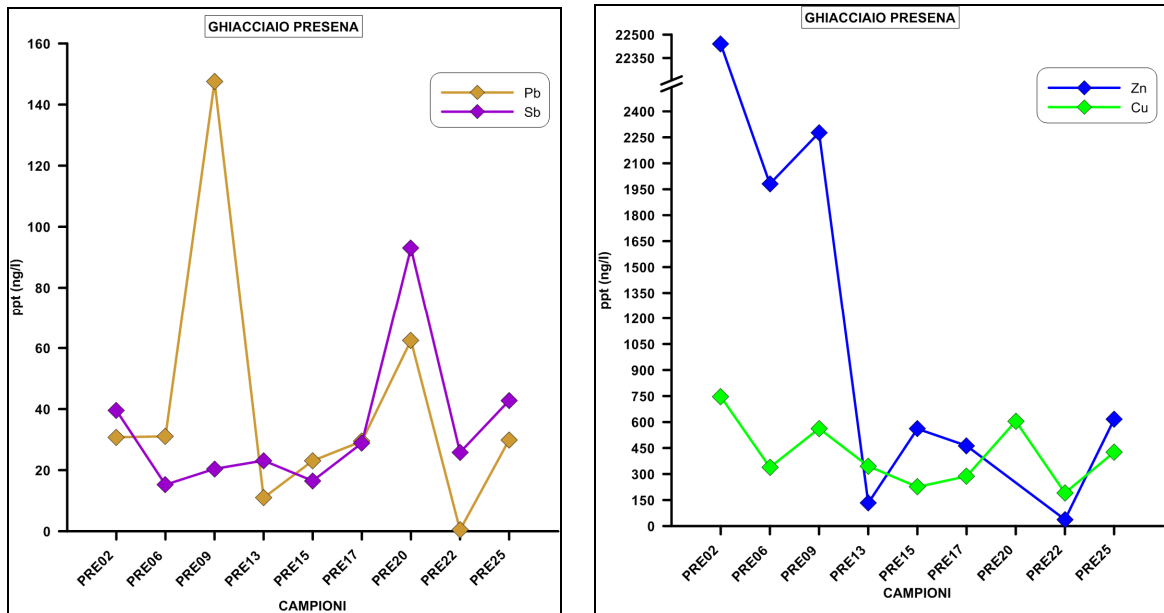


-b-

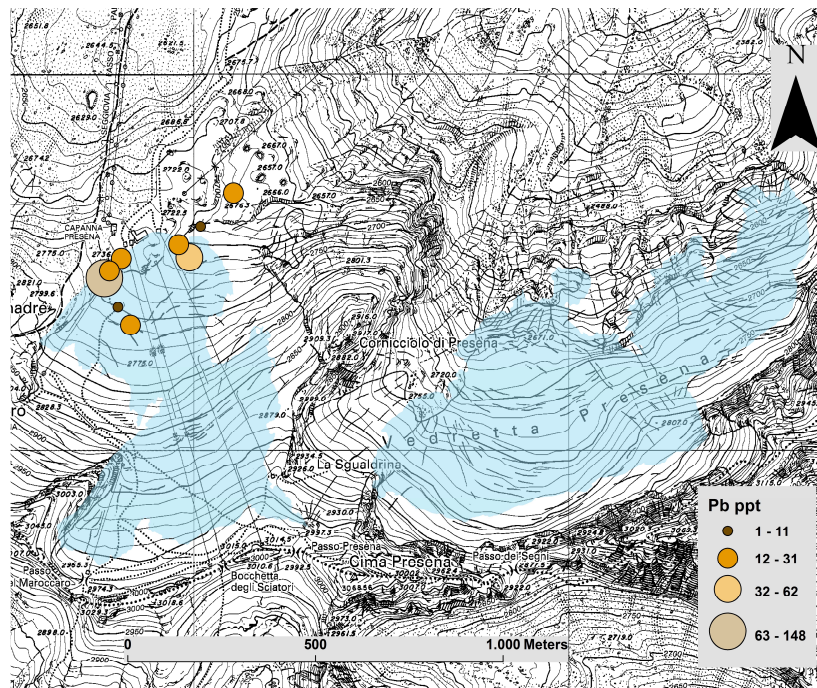
Fig. 14 Box plot delle concentrazioni di: a) Cu e Zn; b) Sb e Pb.

Per questi metalli Pb, Sb (Fig. 6. 15) e Cu, Zn (Fig. 6. 15) riportiamo inoltre le variazioni spaziali osservate nei campioni del ghiacciaio del Presena e la dot map del Pb (Fig. 6.15 c) che distingue in 4 classi di valori le concentrazioni dell'elemento. Il campione PRE 20 presenta le concentrazioni più alte sia di Sb che di Pb, che in generale hanno un trend simile, ad eccezione del picchio di Pb nel campione PRE 9. Lo Zn ha valori più alti nei

campioni PRE 2-6-9, campioni nel quale anche il Cu presenta delle concentrazioni più alte oltre al campione PRE 20.



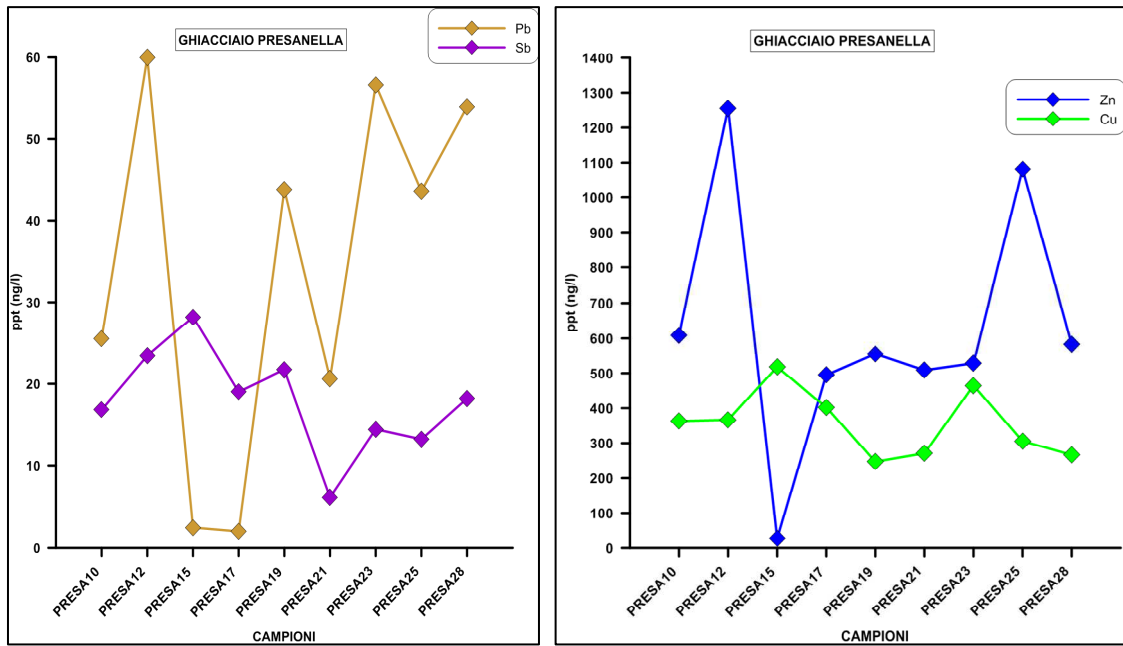
-a-



-b-

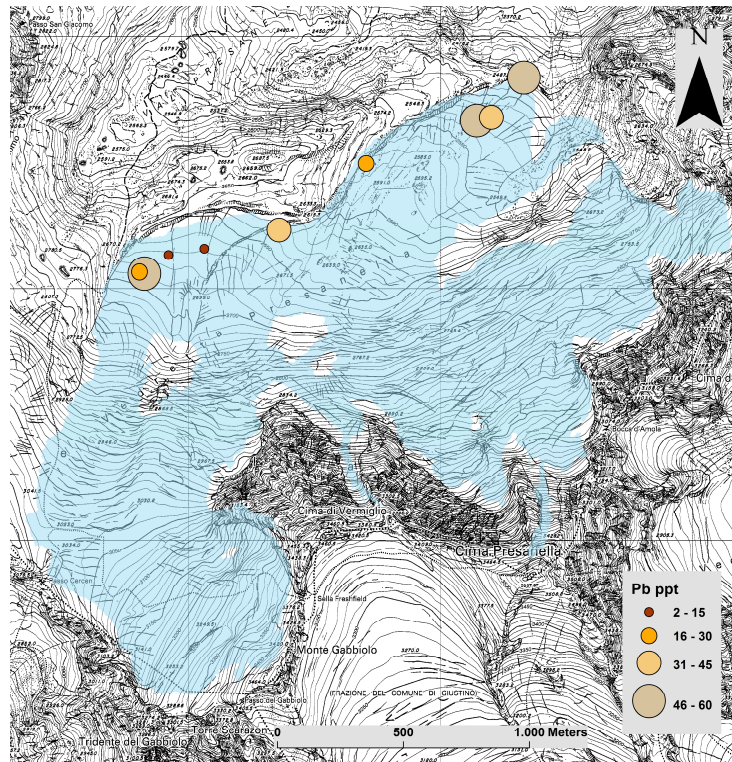
Fig. 6.15 Grafici di distribuzione nei campioni di acqua del ghiacciaio Presena dei metalli pesanti: a) Sb e Pb; b) Zn e Cu; c) dot map delle concentrazioni del Pb.

La distribuzione dei valori di concentrazione di Pb, Sb, Cu e Zn nei campioni del ghiacciaio della Presanella sono riportate in Fig. 6.16 a e b rispettivamente, mentre in Fig. 6.16c sono presentate le distribuzioni di Pb, che distingue in 4 classi di valori le concentrazioni dell'elemento.



-a-

-b-

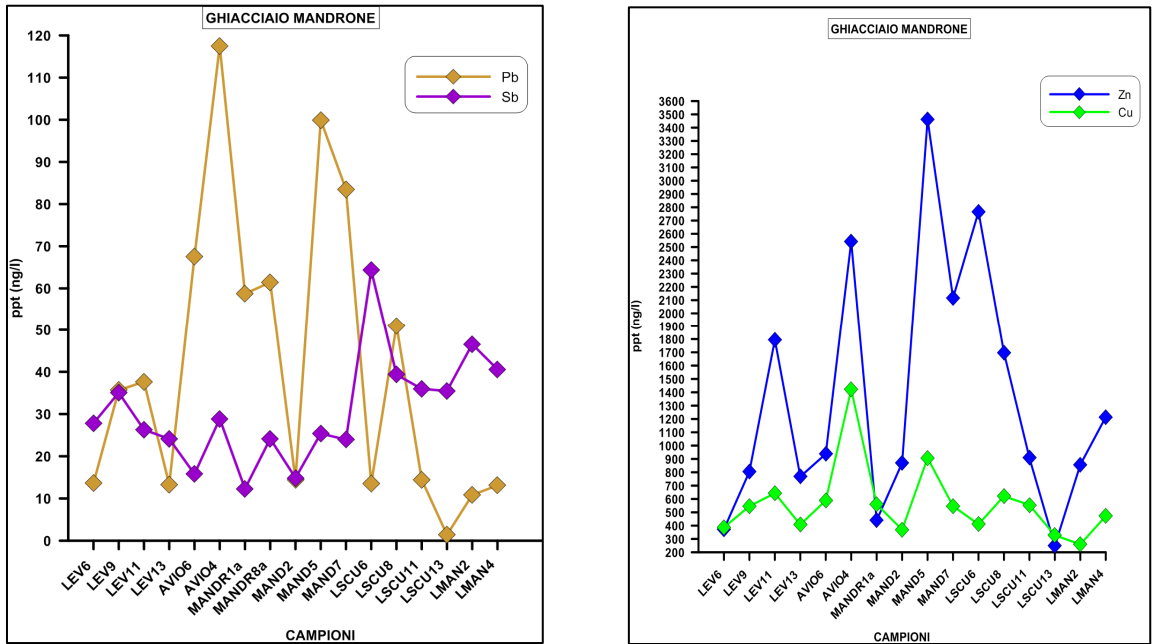


-b-

Fig. 6.16 Grafici di distribuzione nei campioni di acqua del ghiacciaio della Presanella dei metalli pesanti: a) Sb e Pb; b) Zn e Cu; c) dot map delle concentrazioni del Pb.

In Fig. 6.17a e Fig. 6.17b sono in fine riportate le variazioni di concentrazione di Pb, Sb e Cu e Zn nei campioni prelevati nella porzione centrale del massiccio dell'Adamello-Presanella (sul Ghiacciaio del Mandrone, nei laghetti presso gli ex insediamenti militari limitrofi al Lagoscuro, campioni LSCU 6-8-11-13 e LMAN 2-4, sul ghiacciaio del

Venerocolo, e in Valle Adamè) come è possibile inoltre osservare consultando la *dot map* delle concentrazioni del Pb in Fig.17c, distinte in 4 classi.



-a-

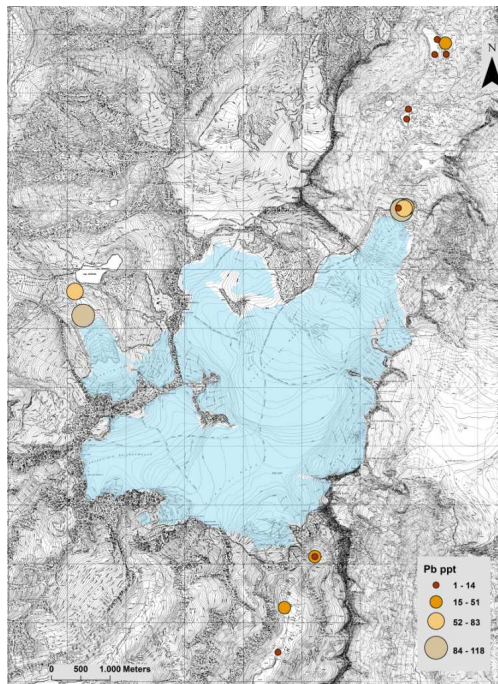


Fig. 6. 17 Grafici di distribuzione nei campioni di acqua nella porzione centrale del massiccio dell'Adamello-Presanella dei metalli pesanti: a) Sb e Pb; b) Zn e Cu; c) *dot map* delle concentrazioni del Pb.

Campioni Ortles-Cevedale

Per le concentrazioni risultanti dalle analisi chimiche eseguite sui campioni di acqua dell'Ortles-Cevedale si fa riferimento oltre alla Tabella 6.14 che ne descrive i principali indici statistici. Questi campioni hanno presentato misure di pH di 6,6 medio e una conducibilità media di 79 μ S/cm.

Le concentrazioni medie analizzate in questi campioni di acque sono per il Na di 448 \pm 362ppb, con un valore minimo di 41ppb (SFORZ 35) e un massimo di 1401 (SFORZ 49). L'Al varia da un minimo di 4,2ppb ad un massimo di 141ppb rispettivamente nel campione FOR 14 e nel campione SFORZ 11 e presenta un contenuto medio di 41 \pm 37ppb. Il valore più alto di Mg (10090 ppb) è riscontrabile nel campione SFORZ 37 e il più basso (76ppb) nel campione SFORZ 35, mentre il contenuto medio analizzato è di 2925 \pm 2247ppb. Contenuti medi di 1644 \pm 889 si osservano per il K, mentre il minimo è di 536ppb e il massimo di 4101ppb, ritrovati rispettivamente nel campione SFORZ 41 e in SFORZ 37. Media di 6574 \pm 4069ppb, minimo di 307ppb (DOS 8) e massimo di 14230ppb (SFORZ 37) presenta il Ca. Nello stesso campione riportiamo il valore minimo per il Fe di 2,8ppb e nel campione SFORZ 11 il massimo (190ppb), che ha contenuto medio di 54 \pm 50ppb. Per il Ba la media risulta di 2929 \pm 1897ppt; il minimo dell'elemento nei campioni di acqua considerati si ritrova nel campione SFORZ 35 ed è di 141ppt, mentre il massimo nel campione SFORZ 49 ed è di 6701ppb. Il contenuto medio di Ti ha valore di 1663 \pm 1826ppt e varia tra 40-6066ppt (SFORZ 35- SFORZ 45). Per il Li i valori osservati sono media di 3544 \pm 2443ppt, minimo di 95ppt (SFORZ 35) e massimo di 11310ppt (SFORZ 37). Le altre tracce presentano valori medi di 618 \pm 391ppt per quanto riguarda il Ga, che ha minimo di 35ppt nel campione SFORZ 35 e massimo di 1372ppt nel campione SFORZ 33; il Rb ha media di 1728 \pm 1190, minimo di 194ppt (SFORZ 35) e massimo di 5373ppt (SFORZ 49); lo Sr ha media di 33321 \pm 21978, minimo nel campione SFORZ 35 (1268ppt) e massimo in SFORZ 37 (83600ppt). Ancora l'intervallo di variazione è per l' U tra 2,7 e 1406ppt (FOR 14- SFORZ 14) con media di 258 \pm 347 e per il Cs tra 8,3-90ppt (FOR 11- SFORZ 37) e media di 37 \pm 21.

Tra i metalli si osserva per il V un'abbondanza media di 121 \pm 96, con un intervallo di variazione tra 11-381ppt, valori che si osservano nei campioni FOR 14 e SFORZ 45.

Il Cr varia da un minimo di 137ppt, campione FOR 14, a un massimo di 445ppt, campione SFORZ 11 e ha contenuto medio di 209 \pm 70ppt. L'abbondanza media per il Mn è di 18807 \pm 18758ppt, il valore minimo ritrovato nel campione SFORZ 35 è di 266ppt e il massimo di 86300ppt, nel campione FOR 9.

I valori medi osservati per il Cd sono di 6 \pm 6ppt (minimo di 0,2ppt e massimo di 23ppt). Un'abbondanza media di 320 \pm 430ppt si riporta per il Co; il minimo dell'elemento (13ppt) si osserva nel campione SFORZ 35 e il massimo nel campione FOR 14 (2120ppt). Le concentrazioni di Mo assumono in questi campioni valori variabili da 11ppt (FOR 14) a 439 ppt (SFORZ 20); la media è di 153 \pm 126ppt. In ultimo il Se ha media di 418 \pm 67 e minimo di 274ppt nel campione DOS 8 e massimo di 532ppt, nel campione SFORZ 30.

Gli elementi quali Ni, As, Ag, Sn, Bi non sono stati determinati mentre il Tl ha valori medi <10ppt.

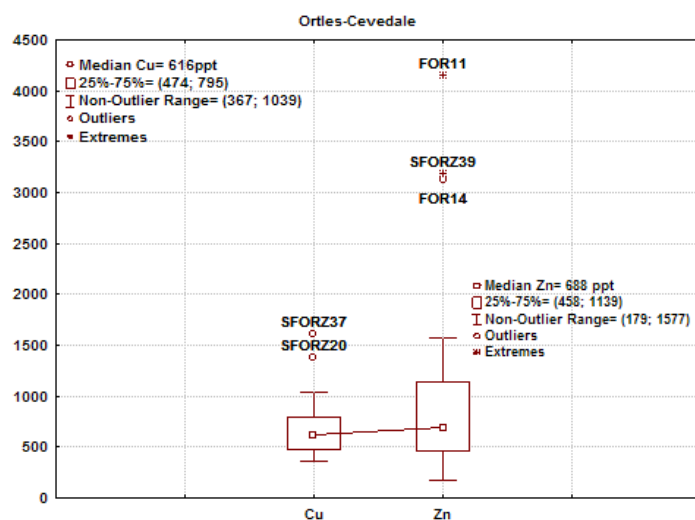
In Fig.18 si riportano i box plot della distribuzione delle concentrazioni dei metalli pesanti quali Cu, Zn, Pb e Sb.

Il Cu varia da un minimo di 367ppt (SFORZ 31) a un massimo di 1615ppt (SFORZ 37), indicato come *outlier* nel *box plot* in Fig. 18a; presenta un valore di concentrazione medio di Cu di 177 ± 293 , con 50% dei dati ricadenti nel valore mediano di 616ppt e variabili tra 474ppt e 775ppt. Altro *outlier* è SFORZ 20, con valore di 1373ppt.

Lo Zn ha un'abbondanza media nelle acque campionate sul massiccio dell'Ortles-Cevedale di 983 ± 925 ppt, con un contenuto minimo di 179 ppt (SFORZ 28) e uno massimo di 4155ppt (FOR 11). La mediana è di 688ppt e la differenza interquartile va da 458ppt a 1139ppt (Fig. 18a). Fuori dalla distribuzione si dispongono inoltre lo SFORZ 39 valore estremo e il FOR 14 *outlier*, con concentrazioni rispettivamente di 3185ppt e 3122ppt.

Per quanto riguarda l'Sb segnaliamo un valore minimo (7,5ppt) nel campione SFORZ 35 e uno massimo (82ppt) nel campione SFORZ 37, che anche per questo elemento è considerato un valore estremo, mentre i contenuti medi sono di 31 ± 17 ppt. Nel *box plot* in Fig. 18b sono valutabili graficamente i valori della mediana (50%) pari a 29ppt, del 25° percentile pari a 17ppt e del 75° percentile di 35ppt. Altro valore estremo FOR 20 che ha concentrazione di Sb di 65ppt.

Nello stessa figura (Fig. 18b) sono presentati gli indici statistici per il Pb che ha concentrazioni medie di 48 ± 70 ppt; mediana di 36ppt e varia tra un minimo di 3,1 ppt e massimo di 392ppt, rispettivamente nei campioni FOR 14 e DOS12 (valore estremo). Il 50% dei dati (la scatola in figura) ricade tra 16ppt e 52ppt. SFORZ 41 con valore di 117ppt *outlier* dei dati.



-a-

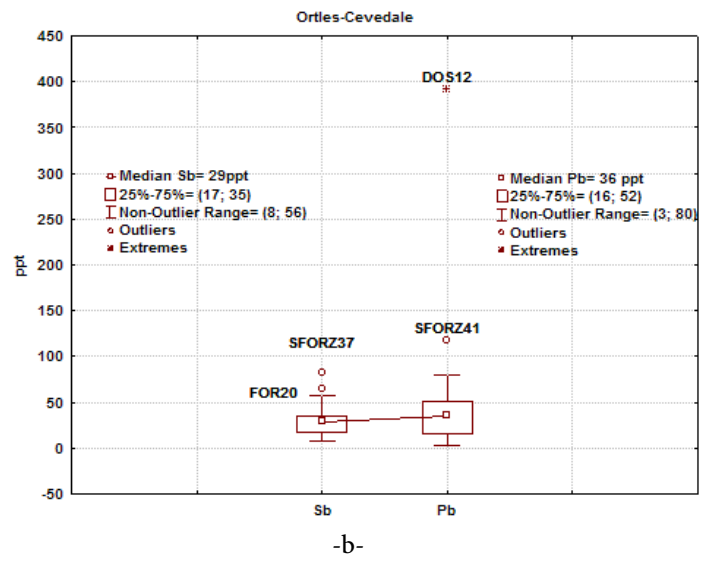


Fig.18 *Box plot* delle concentrazioni di: a) Cu e Zn; b) Sb e Pb.

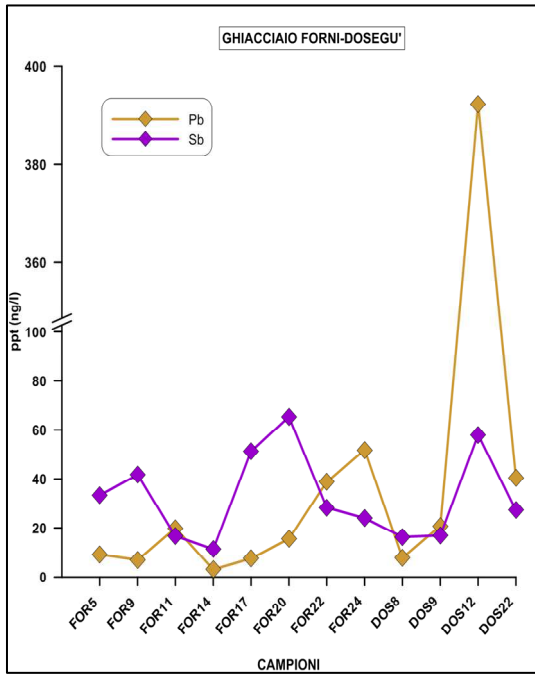
Tabella 14 Indici statistici descrittivi per gli elementi indagati nei campioni di acqua di fusione glaciale dei ghiacciai dell'Ortles-Cevedale.

ELEMENTI	Numero di conteggi	Media	Mediana	Minimo	Massimo	Std.Dev.	25%	75%
Na ppb	30	448	323	41	1401	362	249	687
Al ppb	30	41	27	4,2	141	37	10	70
Mg ppb	30	2925	2858	76	10090	2247	1146	4388
K ppb	30	1644	1397	536	4101	889	1004	2133
Ca ppb	30	6574	7964	307	14230	4069	2805	10080
Fe ppb	30	54	34	2,8	190	50	14	89
Ba ppt	30	2929	2765	141	6701	1897	1526	4488
Ti ppt	30	1663	1107	40	6066	1826	288	2467
V ppt	30	121	92	11	381	96	43	188
Cr ppt	30	209	191	137	445	70	160	251
Mn ppt	30	18807	12160	266	86300	18758	6898	29380
Cu ppt	30	677	616	367	1615	293	474	795
Zn ppt	30	983	688	179	4155	925	458	1139
Sb ppt	30	31	29	7,5	82	17	17	35
Pb ppt	30	48	36	3,1	392	70	16	52
Cd ppt	30	6	5	0,2	23	6	3	7
Co ppt	30	320	173	12	2120	430	85	359
Mo ppt	30	153	121	10,8	439	126	38	268
Li ppt	30	3544	3101	95	11310	2443	1731	5149
Ga ppt	30	618	632	35	1372	391	334	903
Rb ppt	30	1728	1428	194	5373	1190	885	2386
Sr ppt	30	33321	41280	1268	83600	21978	11970	49090
Cs ppt	30	37	33	8,3	90	21	18	45
Tl ppt	30	5,9	5,4	1,2	12	2,5	4	8
U ppt	30	258	97	3	1406	347	48	414

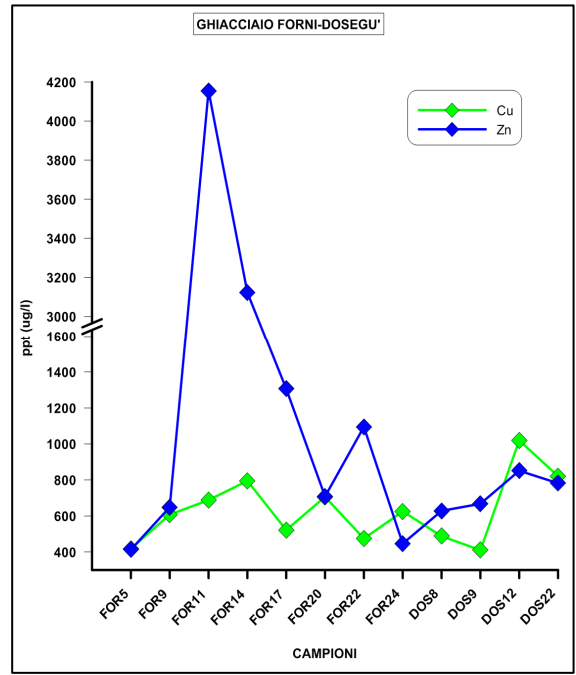
*n.d, non determinato

Sul massiccio dell'Ortles-Cevedale sono stati individuati 3 siti di prelievo. In Fig.19a sono evidenziate le variazioni di concentrazione nei campioni del ghiacciaio dei Forni e del Dosegù per i metalli quali Pb e Sb; in Fig.19b quelle di Zn e Cu.

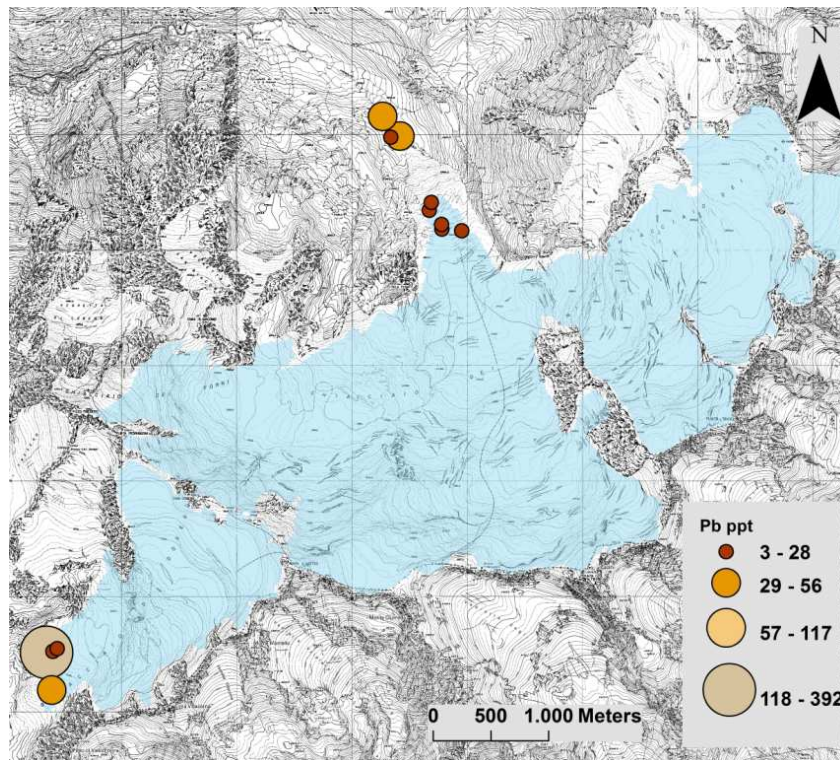
La *dot map* evidenzia le 4 classi di distribuzione in cui ricadono i valori di concentrazione di Pb per i due ghiacciai, che è riportata in Fig.19 c.



-a-



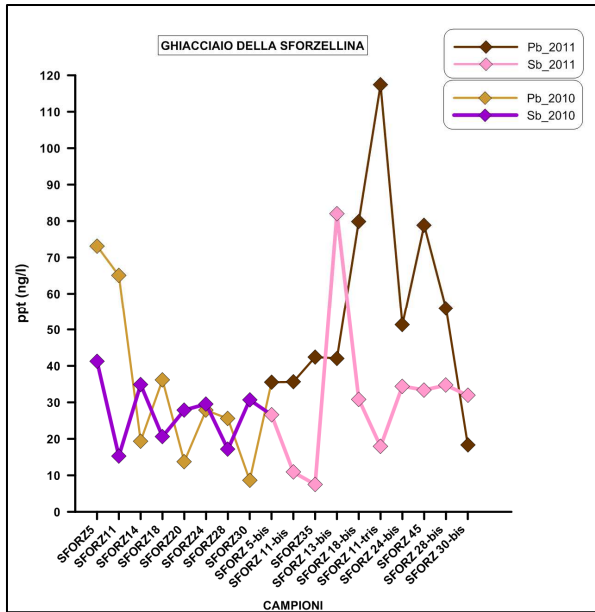
-c-



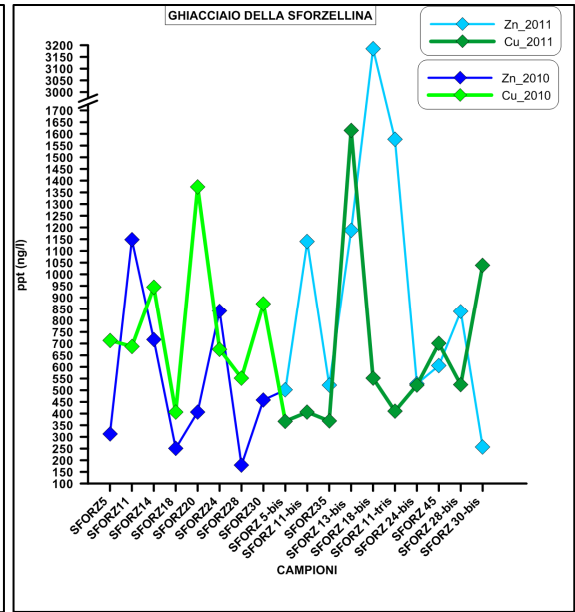
-c-

Fig. 6. 19 Grafici di distribuzione nei campioni di acqua del ghiacciaio dei Forni e del Dosegù per i metalli pesanti: a) Zn e Cu; b) Sb e Pb; c) dot map delle concentrazioni del Pb.

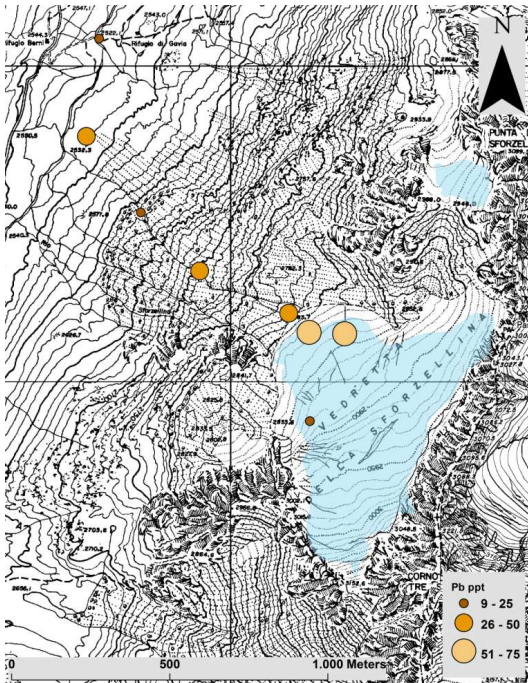
Per il terzo sito del massiccio dell'Ortles-Cevedale, il ghiacciaio della Sforzellina, le variazioni di Pb e Sb sono in Fig. 20a e quelli di Zn e Cu in Fig. 20b. Per questo sito è stato eseguito un campionamento doppio a distanza di un anno. Le concentrazioni sono distinte per anno di prelievo sia nei grafici lineari che nelle due *dot map* in Fig. 20c (4 classi di distribuzione).



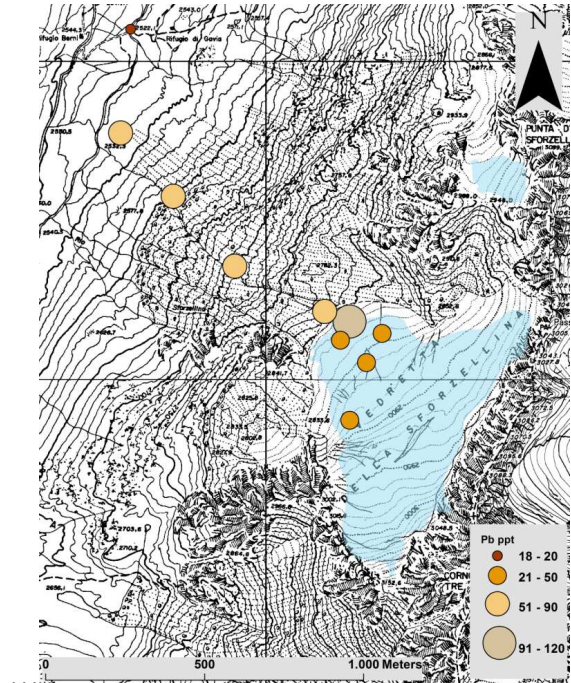
-a-



-b-



-c-



-d-

Fig. 20 Grafici di distribuzione nei campioni di acqua del ghiacciaio della Sforzellina per i metalli pesanti differenziato per i due anni di campionamento: a) Zn e Cu; b) Sb e Pb; c) *dot map* delle concentrazioni del Pb.

6.2 – RAPPORTI ISOTOPICI DEL PIOMBO

6.2.1 – Reperti bellici

I rapporti isotopici del Piombo $^{208/207}\text{Pb}$ e $^{206/207}\text{Pb}$ con la relativa Deviazione Standard (SD) nei campioni bellici sono consultabili in Tabella VII (Appendice C).

In Fig 6.21 è riportato il grafico del rapporto isotopico $^{208/207}\text{Pb}$ verso $^{206/207}\text{Pb}$, dei campioni bellici che presentano come componente principale il Pb. Sono stati quindi esclusi, il set di campioni dell'esterno dei proiettili, pochi dei quali composti da Pb, e alcuni campioni shrapnel (24-27) non contenenti Pb.

I campioni considerati nel grafico ricoprono un range di valori del rapporto $^{208/207}\text{Pb}$ che va da 2,42 a 2,48 e un $^{206/207}\text{Pb}$ tra 1,14 e 1,12. Ad eccezione di un gruppo (nel cerchio in Fig. 6.21) di campioni più radiogenico rappresentato da esemplari austriaci (63-65), italiani (54-56) e di origine incognita (1-3; 12-13) i restanti valori rientrano nell'intervallo compreso tra $^{206/207}\text{Pb} < 1,18$ e $^{208/207}\text{Pb} < 2,47$.

I campioni di shrapnel italiani hanno una variazione isotopica maggiore (51-62) per $^{208/207}\text{Pb}$ tra 2,429-2,472 e per $^{206/207}\text{Pb}$ tra 1,152-1,188. Quelli austriaci si distinguono in tre raggruppamenti con valori isotopici del Piombo differenti ($^{208/207}\text{Pb} > 2,47$ e $^{206/207}\text{Pb} > 1,185$; $^{208/207}\text{Pb} > 2,47 - 2,45$ e $^{206/207}\text{Pb} 1,165 - 1,185$; $^{208/207}\text{Pb} < 2,46 - 2,45$ e $^{206/207}\text{Pb} < 1,165$).

Il nucleo dei proiettili, sia dei campioni italiani che austriaci, è racchiuso all'interno dei valori $^{208/207}\text{Pb} < 2,45$ - $^{206/207}\text{Pb} < 1,16$ a meno di 4 campioni italiani (33a; 36a; 47a; 48a) con valori più alti dei due rapporti ($^{208/207}\text{Pb} > 2,45$ - $^{206/207}\text{Pb} > 1,16$).

L'intero trend lineare è inoltre rappresentato dai campioni di shrapnel di origine incognita che si distinguono per avere rapporti meno radiogenici ($^{208/207}\text{Pb} < 2,44$ e $^{206/207}\text{Pb} < 1,155$), più radiogenici ($^{208/207}\text{Pb} > 2,46$ e $^{206/207}\text{Pb} > 1,18$) o compresi tra 2,44-2,46 per $^{208/207}\text{Pb}$ e 1,16-1,18 per $^{206/207}\text{Pb}$.

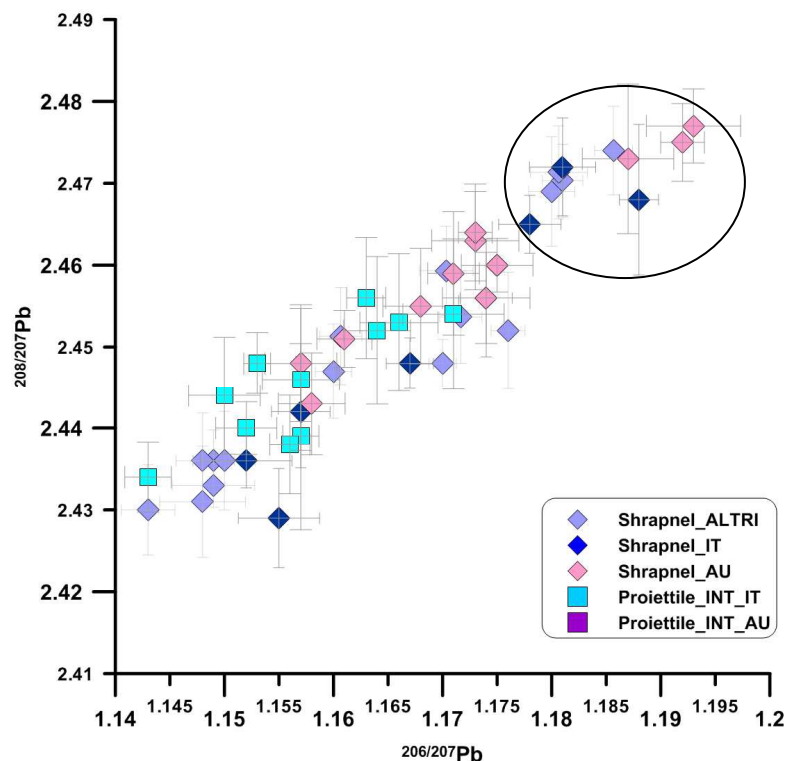


Fig 6. 21 Grafico dei rapporti isotopici $^{208/207}\text{Pb}$ verso $^{206/207}\text{Pb}$ per i campioni dei reperti bellici analizzati con relativa la Deviazione Standard.

6.2.2 –Sedimenti, suoli, roccia

I valori dei rapporti isotopici $^{208/207}\text{Pb}$ e $^{206/207}\text{Pb}$ per questa tipologia di campione sono presentati in Tabella VIII (Appendice C). Di seguito saranno discusse le variazioni del rapporto $^{208/207}\text{Pb}$ e $^{206/207}\text{Pb}$ distinguendo per gruppo montuoso indagato.

In Fig 6.22 sono riportati i valori dei rapporti isotopici $^{208/207}\text{Pb}$ verso $^{206/207}\text{Pb}$ per i campioni raccolti sul ghiacciaio della Marmolada. I campioni presentano valori di $^{208/207}\text{Pb}$ compresi tra 2,43 e 2,45 e di $^{206/207}\text{Pb}$ tra 1,155-1,173; il campione MARM 32, ha valori del rapporto $^{208/207}\text{Pb}$ di 2,464. Il campione di roccia ha un rapporto $^{206/207}\text{Pb}$ di 1,2 e $^{208/207}\text{Pb}$ di 2,449.

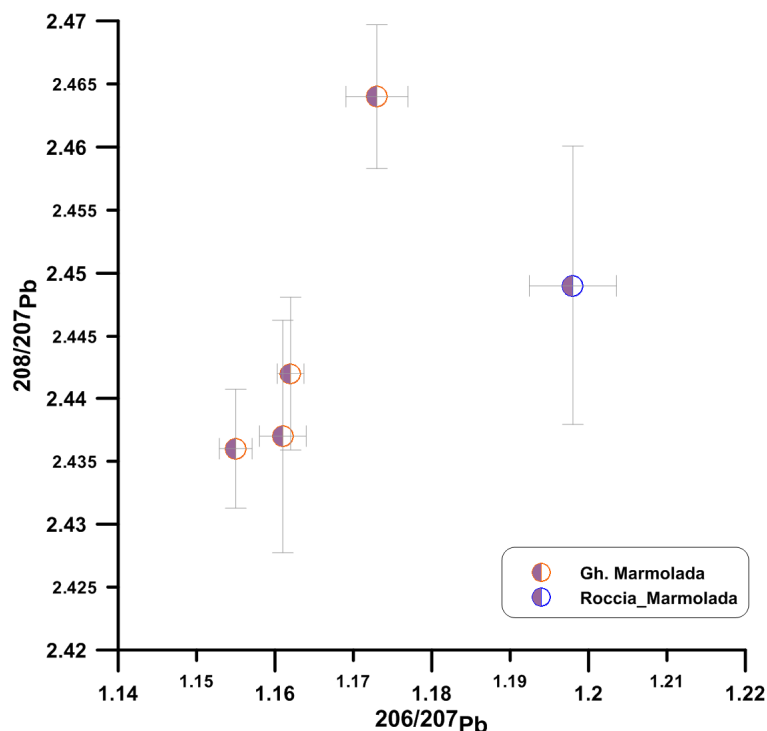


Fig 6.22_Grafico dei rapporti isotopici $^{208/207}\text{Pb}$ verso $^{206/207}\text{Pb}$ per i campioni della Marmolada con relativa Deviazione Standard.

I rapporti isotopici $^{208/207}\text{Pb}$ verso $^{206/207}\text{Pb}$ dei campioni prelevati nei siti localizzati sul massiccio dell'Adamello-Presanella sono presentati in Fig 6.23.

Questi campioni si distribuiscono all'interno di un trend lineare con variabilità isotopica alta: $^{208/207}\text{Pb}$ va da 2,435 a 2,494 e $^{206/207}\text{Pb}$ va da 1,16 a 1,2; all'interno di questo range è possibile distinguere due raggruppamenti ben definiti: il primo con valori più bassi dei due rapporti e compresi tra 2,46 - 2,44 e tra 1,16 - 1,175 (per $^{208/207}\text{Pb}$ e $^{206/207}\text{Pb}$ rispettivamente), da cui si discosta il campione LEV2 per avere valori più bassi del rapporto $^{208/207}\text{Pb}$. Il secondo raggruppamento di campioni si distingue per avere valori di $^{208/207}\text{Pb}$ tra 2,45 e 2,5 e di $^{206/207}\text{Pb}$ tra 1,18 - 1,21. Dall'andamento lineare si discosta un solo

campione di sedimento della Presanella (PRESA 6) che presenta valori alti del rapporto $^{208/207}\text{Pb}$ ($>2,7$). Il valore più alto di $^{206/207}\text{Pb}$ è rappresentato dal campione MAND 11. I campioni delle rocce affioranti nell'area, rappresentate da tonalite (LEV7, PRE4, AVIO2, PRESA8, CAST10) variano da 2,471 a 2,483 per $^{208/207}\text{Pb}$ e da 1,201 a 1,184 per $^{206/207}\text{Pb}$ e hanno un valore medio di 2,478 ($^{208/207}\text{Pb}$) e di 1,1942 ($^{206/207}\text{Pb}$).

L'Analisi *Cluster* (come descritto in § 5.5) applicata alle due variabili e ai 50 campioni (Fig 6.24) identifica due raggruppamenti (GRUPPO I e II), all'interno dei quali si individuano ulteriori sottogruppi (GRUPPO Ia e Ib - GRUPPO IIa e IIb).

Nel GRUPPO Ia troviamo il campione LEV 2 che presenta i valori più bassi dei due rapporti ($^{208/207}\text{Pb}$ di 2,435 - $^{206/207}\text{Pb}$ di 1,159), il campione PRESA6, alcuni campioni di suolo del Lagoscuro (LSCU3, LSCU14, LSCU 2) e del Passo del Castellaccio (CAST 1, CAST5) i campioni prelevati nei pressi del ghiacciaio Presena (PRE29-27, PRE10-11); il campione PRESA 1 della Presanella, mentre il PRESA 2 insieme al PRE 30, ai restanti campioni di suolo del Castellaccio (CAST2, CAST3, CAST4, CAST6, CAST7, CAST 8, CAST9) al campione di suolo LSCU4 del Lagoscuro appartiene al GRUPPO Ib.

Il secondo gruppo è formato da due ulteriori raggruppamenti. Il GRUPPO IIa comprende alcuni campioni di suolo del Lagoscuro (LSCU1, LSCU9 LSCU15), i campioni MAND 3-9-10 prelevati sul ghiacciaio del Mandrone, alcuni campioni del ghiacciaio Presena PRE 23-26-28; un campione di roccia AVIO2; il campione LEV3, e il PRESA7.

Il resto dei campioni rientrano nel GRUPPO IIb (LSCU16, LEV4, PRE18, PRESA13, PRE3, MAND8, PRE7, PRESA26, PRESA5, PRESA4, MAND11, PRESA3), in cui sono compresi anche tutti i restanti campioni di roccia (LEV7, PRE4, PRESA8, CAST10).

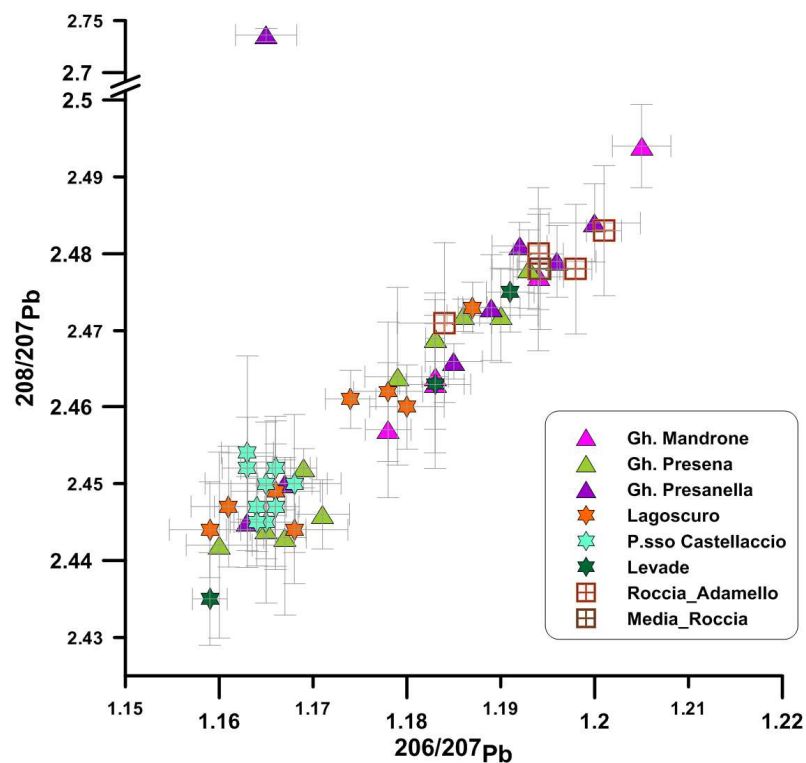


Fig 6.23 Grafico dei rapporti isotopici $^{208/207}\text{Pb}$ verso $^{206/207}\text{Pb}$ per i campioni dell'Adamello-Presanella con relativa Deviazione Standard.

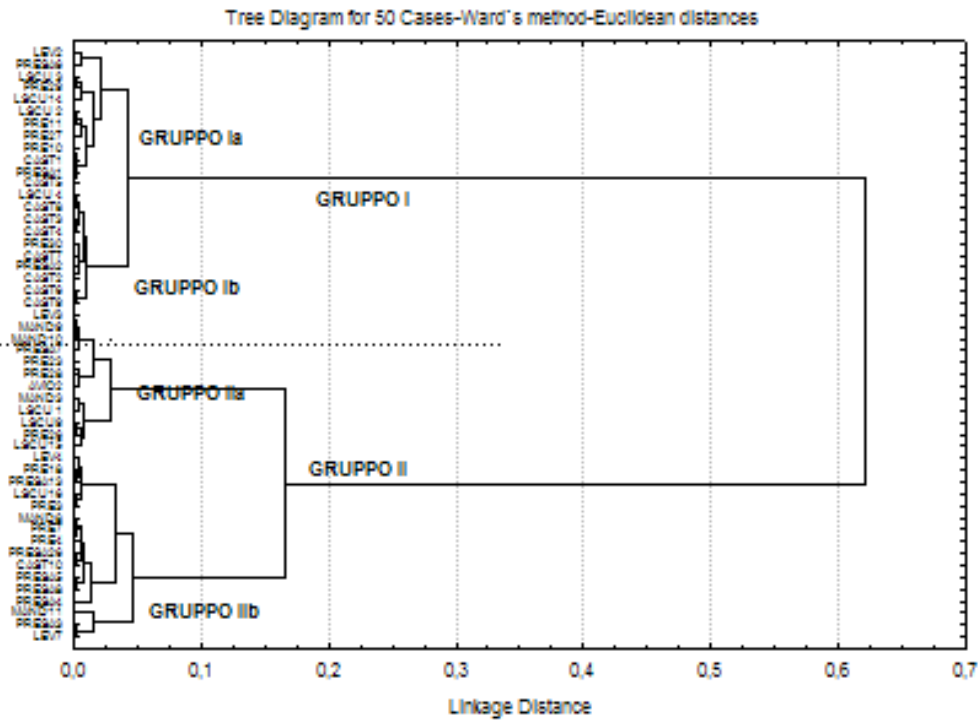


Fig 6.24 Dendrogramma dell'Analisi *Cluster* dei valori isotopici $^{208/207}\text{Pb}$ verso $^{206/207}\text{Pb}$ effettuata per campioni del massiccio dell'Adamello-Presanella (utilizzando metodo di Ward come algoritmo aggregativo e distanza Euclidea come misura della similarità).

I rapporti isotopici $^{208/207}\text{Pb}$ verso $^{206/207}\text{Pb}$ dei campioni prelevati sui tre ghiacciai dell'Ortles-Cevedale sono presentati in Fig. 6.25.

I campioni presentano una variazione di $^{208/207}\text{Pb}$ di 2,46-2,52 e di $^{206/207}\text{Pb}$ di 1,17-1,24. I campioni del ghiacciaio della Sforzellina ricoprono l'intero intervallo di variabilità, mentre i campioni del ghiacciaio di Forni e del Dosegù rientrano in un intervallo di valori più ristretto ($^{208/207}\text{Pb}$ di 2,49-2,51; $^{206/207}\text{Pb}$ di 1,19-1,22). I valori medi dei rapporti isotopici considerati dei due campioni di roccia (SFORZ7 e FOR7) è di $^{208/207}\text{Pb}$ 2,4945 - $^{206/207}\text{Pb}$ 1,191. I campioni SFORZ 21 e SFORZ25 hanno in valori più alti per il $^{206/207}\text{Pb}$ (>1,22) e tra i più alti per il $^{208/207}\text{Pb}$ (>2,5). I campioni SFORZ3 e SFORZ16 sono racchiusi nell'intervallo di valori più bassi ($^{208/207}\text{Pb}$ <2,27 e $^{206/207}\text{Pb}$ <1,18).

Applicando l'Analisi *Cluster* ai 36 campioni considerati è possibile individuare quattro raggruppamenti, come evidenziato nel dendrogramma in Fig 6.26. Il GRUPPO I comprende la maggior parte dei campioni del Dosegù (DOS 1, DOS6, DOS 13, DOS17, DOS 24) e dei Forni (FOR 1; FOR 3, FOR 12, FOR 15) e il campione SFORZ 26.

Il GRUPPO II comprende i restanti campioni dei Forni e i campioni del Dosegù con i valori più alti in entrambi i rapporti ($^{208/207}\text{Pb}$ <2,5 e $^{206/207}\text{Pb}$ 1,2-1,22), infatti rientrano in questo gruppo anche i due campioni dello Sforzellina (SFORZ 21 e 25) che fanno gruppo a se stante.

I campioni di roccia SFORZ7 e FOR7 sono raggruppati nel GRUPPO III insieme ai campioni del Dosegù DOS 2-3-4-23. A questo insieme di campioni appartengono anche i campioni dello Sforzellina SFORZ 1-2-8-9-12-15.

In fine il GRUPPP IV comprende i campioni con i valori più bassi, dei due rapporti isotopici, del ghiacciaio della Sforzellina (SFORZ 3-2-16-6) e il campione DOS19.

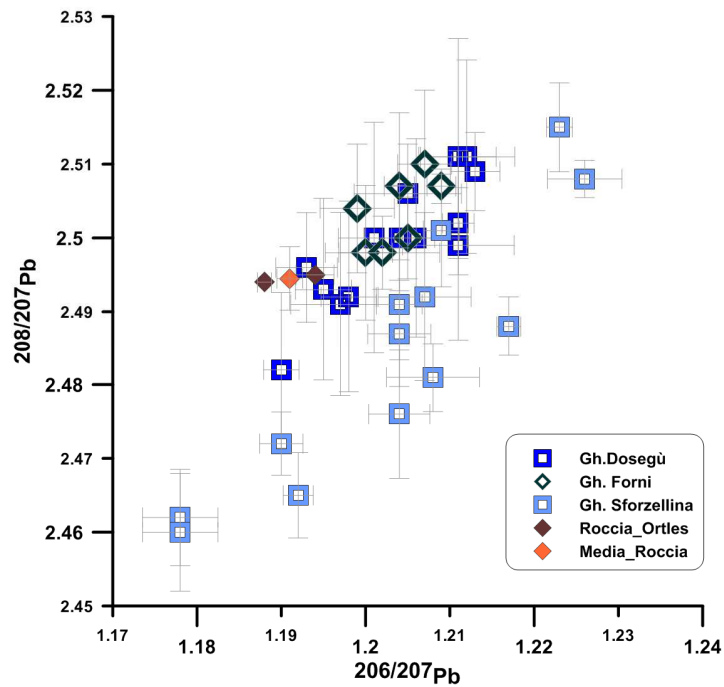


Fig 6.25 Grafico dei rapporti isotopici $^{208}/^{207}\text{Pb}$ verso $^{206}/^{207}\text{Pb}$ per i campioni dell'Ortles-Cevedale con relativa Deviazione Standard.

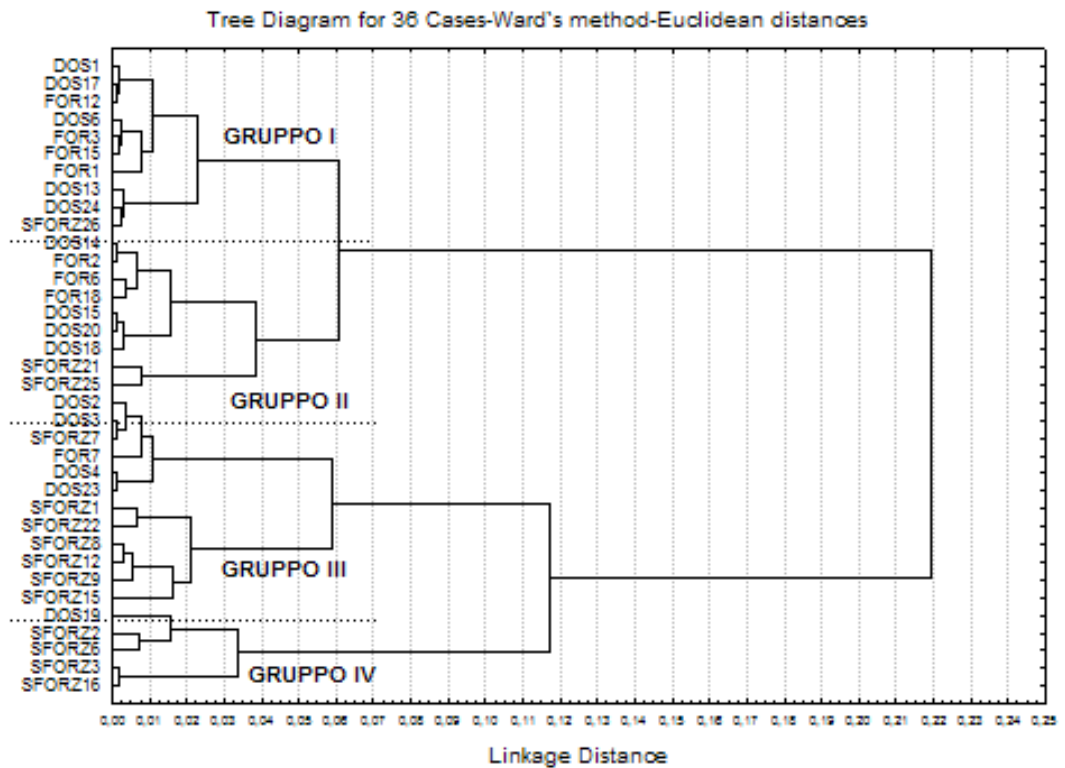


Fig 6.26 Dendrogramma dell'Analisi Cluster dei valori isotopici $^{208}/^{207}\text{Pb}$ verso $^{206}/^{207}\text{Pb}$ effettuata per campioni del massiccio dell'Ortles-Cevedale (utilizzando metodo di Ward come algoritmo aggregativo e distanza Euclidea come misura della similarità).

7. – **DISCUSSIONI**

7.1 – **Reperti bellici**

Le palline di *shrapnel* analizzate risultano essere composte in gran parte da Pb (media di 97%) e variano da Pb morbido o Pb indurito con Sb. Come riportato da Brandone (2004), il Pb morbido può contenere da meno di 1 ppm (0,0001%) a circa 1500 ppm (0,15%) di Sb, mentre il Pb duro è una lega industriale con livelli Sb tra 0,4% al 12%, a seconda del tipo e la funzione dell'arma. Il Fe è il componente principale solo di pochi campioni, originari del Trentino (24-27). I riferimenti bibliografici consultati confermano l'uso di ghisa o di altre leghe di Fe per la produzione di pallini *shrapnel* (Marcuzzo, 2011). Altri elementi con concentrazioni notevolmente più basse rispetto a Pb, Fe e Sb ma comunque costituenti maggiori delle palline di *shrapnel* analizzate sono lo Zn, Ni, Cu. Inoltre sono campioni caratterizzati dalla presenza di metalli quali Al e Ba in concentrazioni più alte e con valori più bassi da Mg e As, Ti, Sn.

L'interno dei proiettili, come le palline di *shrapnel*, è costituito di Pb. Diversamente dagli *shrapnel*, il Fe non è un componente di questi campioni, e l'Sb è contenuto solo in alcuni campioni (di origine austriaca). Lo Zn è presente anche se con percentuali molto più basse rispetto al Pb, e in misura minore anche il Cu e il Ni. Caratterizzano inoltre i materiali di cui sono composti i proiettili per fucile elementi quali Al, Ba e Mn e As e Ti.

L'involucro esterno dei proiettili presenta differenze in composizione maggiore a seconda della nazione di origine dell'arma: il rivestimento dei proiettili austroungarici (29b, 31b, 42b e 50b) sono composti da Fe per più dell'80%, mentre solo in pochi campioni è stato ritrovato Pb e Sb.

La parte esterna dei proiettili di origine italiana è costituita da leghe di Cu e Ni (cupronichel o *maillechort*) (32b-40b; 47b-49b) confermando quanto riportato da Mötzt (1996) o da leghe di Cu-Zn e quindi da ottone (38b-40b; 47b-49b). Ancora si ritrovano come componenti in traccia Al e Ba (13 mg/g- 6 mg/g), As e Mo (1-2 mg/g).

In definitiva i campioni bellici analizzati, per effettuare indagini di confronto, sono caratterizzati da Pb puro o in lega con Sb, da leghe di Fe anche se meno frequentemente, acciai speciali al Ni e leghe di Cu-Zn e Ni. Al e Ba sono tra gli elementi minori in genere quelli che presentano le concentrazioni più alte e a seconda del tipo di munizione Ti, Sn, Mg, As, Mn e Mo.

7.2 – **Sedimenti, suoli e roccia**

Campioni Marmolada

L'elemento maggiore che compone i 4 campioni della Marmolada è il Ca; con percentuali di Fe e Mg e Al variabili a seconda del tipo di campione. Il campione MARM 5, *till* sopragliaciale, presenta una composizione, per quanto riguarda gli elementi maggiori simile al campione MARM 9, roccia carbonatica, composta da Ca (27%), Fe e Mg (0,36% - 0,27%), campione di confronto per le normali concentrazioni degli elementi.

Tra gli elementi in traccia lo Sr è quello che assume i valori più alti in questi campione, compreso il campione di roccia, in quanto vicariante del Ca (Foregs, 2005). Il campione MARM 26 (sedimento crioconitico), è il campione con valori più bassi in Ca e più alti in Fe, Ti e Ba, probabilmente materiale rimaneggiato e trasportato dal vento, che si accumula nei fori crioconitici. I metalli contenuti nel campione MARM 9, sono As (7ppm) e Ba (12ppm), quest'ultimo chimicamente simile al Ca e Sr (elementi alcalini più pesanti).

Le concentrazioni di As analizzate nel campione di roccia e il valore medio ritrovato negli altri campioni (9ppm) è di poco superiore all'abbondanza media nella crosta continentale superiore, pari a 2 ppm (Wedepohl, 1995) e al contenuto medio dell'elemento nel suolo (5 ppm; Reimann e de Caritat, 1998).

Assume concentrazioni medie nettamente più alte in questi campioni il Pb (media 740ppm), valori che segnalano un superamento delle concentrazioni soglia di contaminazione $CSC_{(A)}$; mentre il campione di sedimento crioconitico (MARM 26) supera il $CSC_{(B)}$. I contenuti di riferimento in questa area (campione MARM 9) sono di 2ppm per il Pb; il valore riportato da Wedepohl (1995) come contenuto medio nella crosta continentale è anche più alto, di 17ppm. Va sottolineato che il Pb, può essere altamente concentrato nelle particelle di carbonato di calcio, soprattutto nei suoli superficiali (Kabata-Pendias, 2001) ma concentrazioni >100ppm suggeriscono una possibile influenza antropica.

Concentrazioni anomale si osservano in alcuni campioni anche per metalli quali Sn, Cd e Zn, che presentano valori medi nettamente al di sopra del valore soglia di normativa (Tabella 6.7); tutti elementi non determinati nel campione MARM 9. Le concentrazioni medie riportate da Mielke (1979) ad esempio per lo Sn sono <1ppm in rocce carbonatiche. In aree dove le mineralizzazioni di Sn sono assenti, questo elemento è un eccellente indicatore di contaminazione, specie se valori anomali si riportano anche per altri elementi quali Pb, Zn (Foregs, 2005).

Per questi campioni non è stato possibile calcolare il fattore di arricchimento; ulteriori analisi e il recupero di un numero maggiore di campioni, sarebbero utili per confermare la possibilità di una contaminazione antropica.

Campioni Adamello-Presanella

Componenti maggiori dei campioni prelevati sul massiccio dell'Adamello-Presanella sono Fe e Al, con contenuti medi paragonabili sia per i campioni di sedimento che di suolo; seguiti da Mg e Ca (Fig. 6.1). Sono caratterizzati inoltre da K e Na, elementi più variabili nelle due tipologie di campioni considerati, con valore medi di Na e K più alti nei sedimenti rispetto ai campioni di suolo. I primi infatti rispecchiano la componente litologica felsica dell'area indagata, rappresentata da tonalite (plagioclasti, k-felspati e minerali mafici).

Gli elementi in traccia presenti con concentrazioni più alte nei 5 campioni di tonalite (Tabella 6.5), considerati come campioni rappresentativi del tenore di fondo naturale dell'area, sono Ba e Ti (media di 395ppm e 2948ppm rispettivamente), elementi tipicamente abbondanti nella crosta continentale e contenuti nei plagioclasti, come anche metalli pesanti quali Mn (835ppm). Altro metallo ritrovato in questi campioni con

concentrazioni più alte è lo Zn (69ppm), presente nelle biotiti di queste rocce granitiche; Milke (1979) riporta contenuti di 39-60ppm nei graniti per Zn; mentre il Pb ha valori molto bassi (medi di 6ppm) e inferiori ai contenuti medi crostali (17 ppm; Wedepohl, 1995). Metalli quali Cu, Sb, Sn, Ni, Cr, Co sono presenti nei campioni roccia indagata ma con concentrazioni medie <15ppm, mentre valori al di sotto dell'unità presentano Cd, Mo, Ag.

Nei sedimenti ritroviamo quindi contenuti alti di elementi tipicamente crostali quali Ba e Ti e normalmente presenti nella tonalite, più ricchi in Ti (media 2791ppm) rispetto al Ba (media di 211ppm). Per quanto riguarda i metalli pesanti si osservano valori medi di Zn di 99ppm, poco più alti dei contenuti medi riportati nei campioni di tonalite e comunque valori al di sotto dei limiti di legge $CSC_{(A)}$ (Tabella 6.7) tranne per il campione PRE 11, sedimento crioconitico sopragliaciale che potrebbe essere indicativo di materiale rimaneggiato. Questo campione presenta anche i valori più alti per il Pb (44ppm), mentre i contenuti medi (18ppm) dell'elemento nei restante set di campioni di sedimento sono poco superiori ai valori ritrovati nei campioni di roccia affiorante nell'area.

I suoli (Tabella 6.5) campionati sia sulle morene dei ghiacciai del gruppo montuoso Adamello-Presanella (ghiacciaio del Mandrone, del Presena e della Presanella) che nei pressi dei resti degli insediamenti militari (P.sso del Castellaccio e Lagoscuro) sono caratterizzati da contenuti più bassi di Ti rispetto ai sedimenti (Fig 6.2a) e più alti in Ba. Si segnalano diversi campioni di *topsoil* (LSCU 1, CAST 8, CAST 9) con concentrazioni >1000ppm di Ba. Ricordiamo infatti che il Ba è un elemento ritrovato nei campioni di reperti bellici indagati ed è presente nei residui dello sparo (Brandone, 2004).

Concentrazioni anomale rispetto alle abbondanze medie di riferimento (tonalite) sono osservabili per il Pb che assume abbondanza media molto alta (489ppm) e indicativa di un input non naturale dell'elemento, nella maggior parte dei campioni di suolo superficiale e in particolare nei campioni del Castellaccio e del Lagoscuro, valori che risultano essere nettamente superiori alle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (Fig. 6.7a) definite per legge (D. Lgs 152/2006). Il valore *baseline* di Pb per i suoli superficiali a scala globale è di 25ppm, livelli superiori suggeriscono un'influenza antropogenica (Kabata-Pendias, 2001), se l'elemento non è arricchito nel fondo naturale.

Oltre al Pb altri metalli pesanti di importanza ambientale quali Sb, Sn, Cu, Zn hanno valori che superano sia i normali contenuti evidenziati nella tonalite, sia le concentrazioni soglia definite per legge. In particolare alcuni campioni del Passo del Castellaccio presentano valori di Sn >10ppm fino a raggiungere i limiti di legge definiti per aree industriali (>350ppm; $CSC_{(B)}$).

Anche per l'Sb, alcuni campioni hanno concentrazioni (>5ppm) che potrebbero indicare la presenza di una contaminazione non naturale (Foregs, 2005). Più bassi sono invece i valori medi di Ni e Cr (16ppm e 27ppm), che rientrano nei normali valori di riferimento (tonalite); si osservano valori più alti (circa 80ppm) per alcuni campioni di suolo superficiale con contenuti alti di Cu e Zn oltre al Pb.

Le concentrazioni medie di Cu (104ppm) e Zn (244ppm) con valori estremi >300ppm (Fig. 6.2b; CAST 8-LSCU 1) sono evidenziate negli stessi campioni di suolo superficiale del Lagoscuro e Castellaccio e Levade. Superamenti del valore $CSC_{(A)}$ si riportano anche per i

campioni di suolo poco sviluppato (Lithosol) prelevati sulle morene del Presena, materiale imposto prima dell'evento bellico (riferibili alla *Little Ice Age*).

Valutando le variazioni delle concentrazioni degli elementi quali Pb, Zn, Cu, Ba e Sb, Sn, Ni, Cr lungo la verticale riportate nei grafici in Fig. 6.1 è possibile osservare che le concentrazioni più alte sono in generale localizzate nei campioni più superficiali (primi 5 cm), tendendo alla diminuzione con la profondità. La variazione delle concentrazioni in alcuni profili è meno evidente ed è dovuta alla diversa mobilità geochimica degli elementi: il Pb tende ad essere meno mobile rispetto ad elementi come Zn, Cu e al Ba che infatti presenta una variabilità maggiore con la profondità.

La *Cluster Analysis* (Fig. 6.11) effettuata sulle 27 variabili chimiche indagate nei 29 campioni di suolo dell'Adamello-Presanella ha evidenziato due raggruppamenti significativi. Nel I GRUPPO sono compresi gli elementi maggiori che caratterizzano le rocce tonalitiche quali Al, K, Na, Ca e Mg elementi minori quali Sr, vicariante del Ca, e insieme a Ti e Mn presenti nei plagioclasti. Rb (sostituto del K nei feldspati alcalini), Li e U sono elementi presenti nella tonalite come è anche confermato dalle analisi effettuate su queste rocce da altri autori (Dupuy *et al.*, 1982; Pennacchioni *et al.*, 2006). Comprende inoltre metalli pesanti quali Co e V, presenti nei minerali accessori, quali anfiboli.

I metalli pesanti di importanza ambientale sono tutti raggruppati nel II GRUPPO (Cr, Ni, Cd, Sn, Pb, As, Mo, Sb, Zn, Ag) insieme a elementi quali Fe, Ba e Ga. L'associazione di Cr, Ni, Cd, Sn e anche del Pb con il Fe è probabilmente imputabile alla tendenza di questi elementi ad accumularsi negli idrossidi di Fe (Foregs, 2005), ma potrebbe indicare inoltre un'associazione dovuta alla presenza di Fe da materiale bellico nell'area. Questo elemento rappresenta infatti l'elemento di composizione maggiore di alcuni campioni bellici analizzati.

L'unica correlazione osservata per l'Sb è con il Pb, indicando una relazione tra la presenza di questi due elementi nei campioni indagati. Pb è il componente maggiore per la gran parte dei campioni bellici analizzati, soprattutto per le palline di shrapnel e il nucleo interno dei proiettili, ed è presente spesso in lega con Sb.

Infine appare interessante notare la forte associazione tra Cu, Zn, Ga, Ba. Fonti antropiche di Ga sono infatti associate a Cu e Zn come riportano Reimann e de Caritat (1998), mentre meno chiara è l'associazione con Ba, elemento abbondante nella tonalite ma presente anche come elemento in traccia nei materiali bellici analizzati.

Attraverso il calcolo del Fattore di Arricchimento, effettuato sui campioni di sedimento e di suolo dell'Adamello-Presanella e riportato in Fig. 6.9 e Tabella 6.9, è possibile inoltre evidenziare l'esistenza di anomalie rispetto al tenore di fondo naturale dell'area indagata.

Le categorie più alte di EF, segnalano valori di concentrazione dell'elemento indicative di contaminazione antropica, mentre valori di $EF \leq 2$ sono nell'ordine delle normali variazioni naturali.

In tutti i campioni di suolo superficiale del Lagoscuro e del Passo del Castellaccio, il Pb è l'elemento più arricchito, per il quale si riportano valore di arricchimento estremo $EF > 40$. In particolare nei campioni CAST1-2-3 l'arricchimento estremo si evidenzia anche oltre i primi centimetri di suolo. In alcuni campioni di suolo superficiale del Lagoscuro si segnalano arricchimenti estremi per Sn e Cu ($EF > 40$) e EF tra alto e significativo (EF 5-40) per Sb, Zn, Ni, Cr, Mo.

Per i campioni di sedimento dell'Adamello-Presanella, si segnalano arricchimenti significativi di Pb ($EF_{Pb} > 5$) solo per il campione PRE 11, campione di sedimento crioconitico che presenta inoltre arricchimenti in altri metalli quali Cu, Zn, Ni e Mo. Per gli altri campioni di sedimento, gli arricchimenti evidenziati sono all'interno delle normali variabilità naturali.

Campioni Ortles-Cevedale

I campioni prelevati sui tre ghiacciai dell'Ortles-Cevedale, sono caratterizzati da elementi maggiori quali Fe, Al e Mg. I campioni del ghiacciaio del Dosegù hanno valori medi più alti di Fe, Mg e Al rispetto ai campioni del ghiacciaio dello Sforzellina e soprattutto rispetto a quelli dei Forni (Fig. 6.4 a e b). Sono composti inoltre Ca e K, elementi che caratterizzano in particolare i campioni dello Sforzellina (Fig. 6.4 c).

Gli elementi in traccia più abbondanti in questi campioni sono Ba e Ti (medie di 186ppm e 1437ppm). Non si evidenziano variazioni notevoli per il Ba nei tre siti, mentre il Ti tende ad essere leggermente più alto nei campioni dello Sforzellina rispetto al Dosegù; più basso nei campioni dei Forni (Fig. 6.4 d). La litologia dell'area è caratterizzata infatti da rocce metamorfiche mafiche, filladi e micascisti, ricche in Fe e Mg e le concentrazioni medie di questi elementi sono confermate inoltre dall'analisi dei due campioni di roccia di riferimento per il normale contenuto degli elementi in questa area, FOR7 e SFORZ 7 (litotipo filladico e un micascisto). I metalli pesanti più abbondanti che caratterizzano queste litologie sono Mn (234ppm) e Zn (79ppm). Il primo ha valori particolarmente alti poiché, avendo un raggio ionico simile a Fe e Mg, li sostituisce facilmente nei minerali (Ure and Berrow, 1982). Cu, V, Cr e Ni sono presenti in concentrazioni tra 30 e 40ppm, mentre medie molto più basse presentano metalli quali Pb e As (6ppm).

I valori di Pb nei sedimenti campionati hanno contenuti medi più alti rispetto a quanto evidenziato nei campioni di roccia (48ppm), in particolare i campioni del ghiacciaio della Sforzellina presentano concentrazioni più alte dell'elemento (Fig. 6.5) ed infatti si distinguono per avere due campioni (SFORZ 2 e 16) con concentrazioni maggiori di $CSC_{(A)}$ (100 ppm) (Fig. 6.8), entrambi campioni di *till* di ablazione prelevati su morene datate 1987 (Tabella II). Il Fattore di arricchimento di questo elemento rispetto al *background* naturale dell'area indagata risulta tra 2-5 (EF_{Pb}) per la maggior parte dei campioni indagati sui tre siti dell'Ortles-Cevedale, segnalando quindi un arricchimento generale moderato dell'elemento. Solo i campioni dello Sforzellina con valori superiori ai limiti di legge, si distinguono per avere un valore di EF_{Pb} indicativo di un arricchimento significativo (tra 5 e 20).

Le soglie di normativa $CSC_{(A)}$ vengono superate da molti campioni con concentrazioni poco superiore all'unità per lo Sn, che è invece presente nei campioni di roccia con medie di 0,5ppm, ma non si segnala per l'elemento un arricchimento generalizzato, infatti la maggior parte dei campioni rientrano in valori di $EF < 2$.

Concentrazioni di Zn alte > 150 ppm ($CSC_{(A)}$), caratterizzano la maggior parte dei campioni dell'area indagata. La distribuzione di questo elemento è controllata dall'abbondanza di silicati ferro magnesiaci, infatti le concentrazioni riportate da Wedepohl (1978) per gli scisti sono tra 50-90ppm, confermando quanto ritrovato nei campioni di roccia indagati.

L'elemento appare quindi presentare un arricchimento naturale che è infatti segnalato anche da $EF < 2$, cioè all'interno della normale variabilità naturale.

Un comportamento simile presentano altri metalli pesanti quali Cu, Ni, Cr, Co e V che ad eccezione di qualche campione al limite del valore, non superano le $CSC_{(A)}$ (Fig.6.8) e presentano un valore di $EF < 2$.

Concentrazioni al di sopra del valore di normativa $CSC_{(A)}$ (20ppm) si osservano invece per il Co nei campioni dei tre siti indagati, ma anche per questo elemento non si segnalano arricchimenti rispetto al normale contenuto naturale ($EF < 2$). Il Co, infatti, insieme a Cr e Ni, è un tipico elemento indicativo di rocce mafiche, che sono inoltre arricchite in V (Foregs, 2005).

Arricchimenti moderati ($EF 2-5$) e generalizzato all'intera area si evidenzia per l'As. Molti dei campioni indagati nei tre siti dell'Ortles-Cevedale, presentano concentrazioni > 20 ppm e per questo motivo i limiti di legge $CSC_{(A)}$ segnalerebbero la presenza di una contaminazione. E' pur vero che questo elemento tende a essere concentrato negli scisti per i quali Daves (1980) riporta concentrazioni medie di 13ppm. Tale valore conferma la concentrazione di 12 ppm evidenziata nel campione di micascisto SFORZ 7, mentre il campione filladico presenta contenuti < 1 ppm. Bini *et al.* (1984) riportano valori più alti dell'elemento (5ppm) in un litotipo filladico campionato nella zona del Cevedale.

Effettuando una media dei due valori di As contenuti nei campioni di roccia, si ottiene quindi un contenuto medio naturale più basso, segnalando un arricchimento dell'elemento nell'area, che potrebbe essere non veritiero del normale tenore di fondo.

7.3 Confronto tra i rapporti isotopici del Pb per la discriminazione delle sorgenti

Per chiarire quale sia l'origine del Pb nei campioni analizzati e quindi discriminare la sorgente potenziale di metalli pesanti nei siti considerati, si confronta la composizione isotopica del Pb determinata nelle diverse tipologie di campione considerato (§6.2).

I rapporti isotopi $^{208/207}\text{Pb}$ verso $^{206/207}\text{Pb}$ analizzati nei campioni bellici, (§ 6.2.1) che definiscono la potenziale sorgente bellica nelle tre aree interessate dal primo conflitto mondiale, sono definiti dall'area in giallo riportata nel grafico in Fig 7.1.

Nello stesso grafico si riportano i valori dei rapporti $^{208/207}\text{Pb}$ e $^{206/207}\text{Pb}$ risultanti dall'analisi effettuata sui campioni di sedimento e suolo prelevati sui diversi siti di campionamento, individuati sul gruppo montuoso della Marmolada, Adamello-Presanella e sull'Ortles-Cevedale, descritti nel paragrafo 6.2.2.

La sorgente naturale di Pb nelle tre aree indagate è definita nel grafico dai rapporti isotopici $^{208/207}\text{Pb}$ e $^{206/207}\text{Pb}$ analizzati nei campioni di roccia affiorante, distinti per le tre aree.

Nel grafico sono inoltre inseriti i valori dei rapporti isotopici analizzati da Rosman *et al.* (2000) su campioni di neve e ghiaccio del Monte Bianco. Questi dati sono stati considerati al fine di discriminare potenziali sorgenti antropiche di Pb, non di derivazione belliche ma atmosferica, insistenti sulle aree indagate.

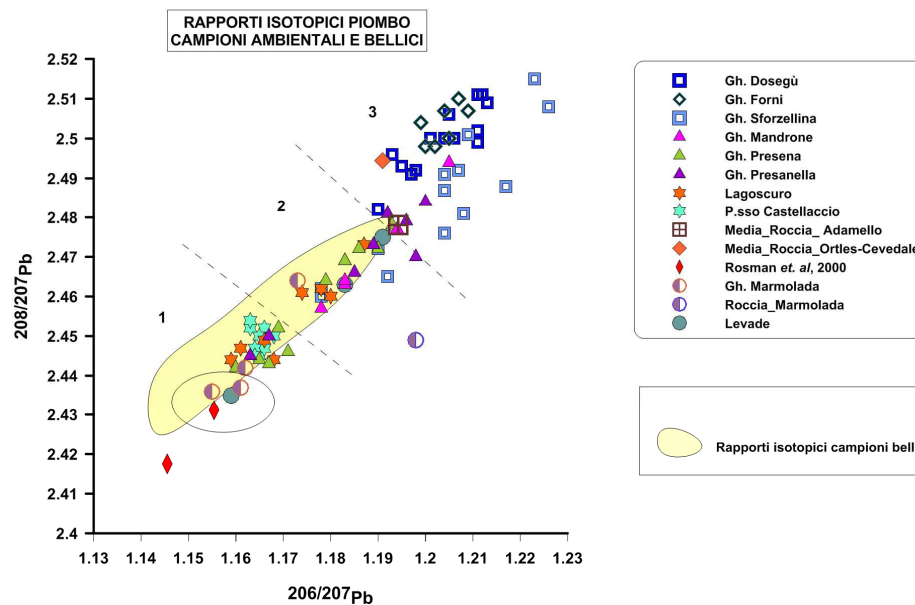


Fig 7.1 $^{208/207}\text{Pb}$ verso $^{206/207}\text{Pb}$ analizzati nei campioni bellici, sedimenti e suoli delle diverse località indagate.

I diversi campioni bellici analizzati ricoprono un range complessivo del rapporto $^{208/207}\text{Pb}$ tra 2,42 e 2,48 e per il rapporto $^{206/207}\text{Pb}$ tra 1,14 e 1,12, che individua l'area in giallo nel grafico.

Fuori da questo *range* si distribuiscono i campioni del ghiacciaio dei Forni e del Dosegù ($^{208/207}\text{Pb}$ di 2,49-2,51; $^{206/207}\text{Pb}$ di 1,19-1,22) e la maggior parte dei campioni del ghiacciaio della Sforzellina campionati sul gruppo montuoso dell'Ortles-Cevedale. Valori del rapporto $^{206/207}\text{Pb} > 1,18$ generalmente caratterizzano sorgenti di Pb più recente (Komarek *et al.*, 2008) e sono evidenziati anche per i campioni di roccia (SFORZ7 e FOR7) analizzati in questa area che hanno un rapporto $^{206/207}\text{Pb}$ pari a 1,19. Per questo motivo è possibile escludere in questi campioni un segnale isotopico da Pb bellico.

I campioni del ghiacciaio della Sforzellina SFORZ 3 e 16 in particolare si distinguono dagli altri campioni recuperati nella stessa area (Fig. 6.26 e Fig. 6.24) per avere valori più bassi dei due rapporti isotopici ($^{208/207}\text{Pb} < 2,27$ e $^{206/207}\text{Pb} < 1,18$) e per questi è possibile evidenziare una sovrapposizione con i campioni bellici più radiogenici. Composizione isotopica simile ai campioni bellici è inoltre evidenziabile per i campioni SFORZ 2-6 e DOS 19. In particolare quest'ultimo campione è stato prelevato nei pressi di frammenti di bombe esplose e quindi potrebbe indicare la presenza locale di un segnale isotopico da sorgente bellica.

I campioni dell'Adamello-Presanella presentano una variabilità isotopica maggiore ($^{208/207}\text{Pb} = 2,435-2,494$ e $^{206/207}\text{Pb} = 1,16$ a 1,2), come evidenziato nei grafici Fig. 6.26, e la maggior parte dei campioni si distribuiscono all'interno del range isotopico definito dai campioni bellici. Il campione PRESA 6 con valore alto di $^{208/207}\text{Pb}$ ($> 2,7$), probabilmente contaminato durante l'analisi, non è stato riportato nel grafico.

Il segnale litologico degli isotopi del Pb nell'area, campioni di tonalite, ha valori medi di $^{208/207}\text{Pb}$ paria 2,47 e $^{206/207}\text{Pb}$ pari a 1,19. Questo rapporto si sovrappone in parte con alcuni campioni bellici più radiogenici che presentano valori del rapporto $^{208/207}\text{Pb} > 2,47$ e $^{206/207}\text{Pb} > 1,18$.

E' possibile quindi distinguere nel grafico in Fig 7.1 tre aree in cui rientrano i due raggruppamenti dei campioni dell'Adamello-Presanella, evidenziati dall'analisi *cluster* in Fig 6.24. Nell'area UNO, definita dai rapporti $^{208/207}\text{Pb}<2,46$ e $^{206/207}\text{Pb}<1,17$ e in cui si dispongono solo campioni bellici, rientrano tutti i campioni che hanno arricchimenti in Pb: tutti i suoli del Passo del Castellaccio; i campioni di suolo superficiale del Lagoscuro (LSCU 2-3-4-14), i campioni di suolo PRESA 1 e 2 prelevati sulla morena del ghiacciaio della Presanella, i campioni di suolo PRE 27-29 e 30 prelevati sulle morene del Presena e, sempre proveniente dallo stesso ghiacciaio, i campioni di sedimento PRE 11 e 10. Per questi campioni è possibile evidenziare quindi un chiaro segnale isotopico da sorgente bellica.

Questo segnale appare meno chiaro nell'area DUE ($^{208/207}\text{Pb}=2,46-2,48$ e $^{206/207}\text{Pb}=1,18-1,2$) dove si evidenzia una sovrapposizione di sorgente sia bellica che litologica. In questo intervallo isotopico rientrano i restati campioni di suolo del Lagoscuro, in particolare LSCU 1 e 9 (*topsoil*) e LSCU 15 e 16 (*subsoil*). Notiamo come il campione LSCU 16, campione prelevato a 14cm (profilo LSCU 14-15-16 in Fig 6.3g) abbia un rapporto isotopico diverso, più radiogenico degli altri campioni della stessa località e tendente a sovrapporsi con il campione di litologia.

Nella terza area definita dai valori più alti dei due isotopi ($^{208/207}\text{Pb}>2,48$ e $^{206/207}\text{Pb}>1,2$), invece il segnale isotopico del Pb è chiaramente contraddistinto dalla sorgente naturale litologica, Pb di neo formazione, e in questa parte del grafico si dispongono la maggior parte dei campioni di sedimento dei tre ghiacciai dell'Adamello-Presanella.

Per quanto riguarda i campioni della Marmolada si evidenziano

La composizione isotopica del Pb atmosferico, definito dai valori medi dei rapporti di Rosman *et. al* (2000), è caratterizzata da valori bassi dei due rapporti considerati ($^{208/207}\text{Pb}<2,43$ e $^{206/207}\text{Pb}<1,16$) e indica Pb derivate da sorgente più vecchia (Komarek *et al.*, 2008). Il segnale isotopico in generale non si sovrappone nel grafico al segnale bellico e solo due campioni di sedimento (*till*) della Marmolada (MARM 14-26) e il campione di suolo superficiale LEV 2 dell'Adamello-Presanella presentano valori poco superiori all'intervallo definito dagli isotopi atmosferici (cerchio nel grafico in Fig. 7.1). Questi campioni presentano tutti valori di Pb >100ppm.

La presenza di un segnale atmosferico generalizzato non è completamente esclusa nelle aree indagate ma l'evidenza di concentrazioni molto alte di Pb, che in alcuni campioni supera nettamente i valori soglia dettati dalla normativa (D.lgs, 152/2006) è difficilmente giustificabile dalla sola sorgente atmosferica.

7.4 Campioni di acqua

In generale le concentrazioni osservate nei campioni di acqua dei tre gruppi montuosi indagati per i metalli pesanti di interesse ambientale, non risultano essere superiori alle Concentrazioni Massime ammissibili nelle acque destinate al consumo umano definite dalla Direttiva Europea 98/83/EC, ripresa dalla normativa italiana (D.L 31/2001) e riportate in Tabella 7.1. I valori di normativa sono espresse in ppb ($\mu\text{g/L}$), mentre in ppt (ng/L) sono riportati i contenuti medi dei metalli analizzati nei campioni dei tre gruppi montuosi.

Tabella 7.1 Concentrazioni limite per Zn, Cu, Pb, Sb (Direttiva Europea 98/83/EC) e concentrazioni medie analizzate dei tre diversi siti indagati.

	Zn	Cu	Pb	Sb
Direttiva Europea 98/83/EC	3000 (µg/L)	1000 (µg/L)	10 (µg/L)	5 (µg/L)
Marmolada	1037(ng/L)	703(ng/L)	53 (ng/L)	49 (ng/L)
Adamello-Presanella	1692 (ng/L)	488 (ng/L)	40 (ng/L)	28 ng/L)
Ortles-Cevedale	983 (ng/L)	677 (ng/L)	48 (ng/L)	31 (ng/L)

Per i campioni di acqua le concentrazioni di Pb analizzate risultano essere molto basse, e questo non ci ha permesso di effettuare indagini ulteriori sui rapporti isotopici dell'elemento che avrebbero potuto discriminare una possibile sorgente bellica nei campioni indagati. Contenuti di Pb <1ppb sono indicatori di acque pluviali, neve, acque superficiali e sotterranee non contaminate (Hem, 1992).

Le concentrazioni degli elementi in traccia nelle acque naturali sono profondamente influenzate dalla geologia e, soprattutto, dalla geochimica delle rocce con cui vengono in contatto.

Le acque del ghiacciaio della Marmolada sono caratterizzate da elementi maggiori quali Ca, Mg e presentano alti contenuti in Sr, elemento che sostituisce il Ca nei carbonati (Foregs, 2005). Le concentrazioni più alte per i metalli in questa area si evidenziano per Zn e Cu (Fig. 6.13a) e le maggiori concentrazioni si osservano negli stessi campioni MARM 6 (campione di neve recente) e 18 (prelevato tra Sasso delle 11 e delle 12). In questi campioni si hanno inoltre le concentrazioni più alte di Pb e Sb (Fig. 6.13b), insieme al campione MARM 2. In generale le concentrazioni di questi metalli sono molto variabili e non è possibile evidenziare uno specifico trend.

Elementi geogenici, derivanti dalle rocce di tonalite affioranti nell'area, quali Ba, Ti, V e Mn insieme a Ca e K e Sr sono presenti in concentrazioni medie maggiori nelle acque dell'Adamello-Presanella. Zn e Cu sono tra i metalli pesanti quelli che presentano i contenuti più alti nei tre ghiacciai dell'area campionati per i quali è possibile evidenziare un trend simile ma anche in questi campioni le concentrazioni sono molto variabili da campione a campione e non è possibile osservare uno specifico andamento. Se pur con concentrazioni basse è si osserva una differenza nei contenuti di Pb tra alcuni campioni di acqua di fusione glaciale del Presena (Fig 6. 15a), del Mandrone e del Venerocolo (Fig 6. 17a) e i campioni prelevati presso i laghetti nelle vicinanze degli insediamenti del Lagoscuro, che presentano concentrazioni più basse.

I campioni di acqua di fusione glaciale dell'Ortles-Cevedale sono caratterizzate da Ca, Mg, Ba e Ti, K. Presentano contenuti alti anche di Sr e Mn. I metalli pesanti quali Zn e Cu sono quelli che hanno le concentrazioni più alte. Come discusso nel paragrafo 7.2, sono elementi contenuti nelle rocce affioranti nell'area che influenzano quindi la composizione delle acque analizzate. Per il Pb è possibile notare una differenza di concentrazione tra i campioni prelevati alla bocca del ghiacciaio dei Forni (Fig 6. 15c) e quelli campionati, più a valle lungo il torrente Frodolfo che presentano concentrazioni dell'elemento leggermente più alte.

Per quanto riguarda il doppio campionamento effettuato sul ghiacciaio della Sforzellina (Fig. 6.20a), è possibile evidenziare un trend simile tra Pb e Sb nei campioni prelevati nel 2010 che non si evidenzia invece per i campioni del 2011. Le concentrazioni del Pb hanno valori poco più alti nel secondo anno di campionamento e presentano una variabilità temporale maggiore rispetto all'Sb, per il quale i contenuti si mantengono, ad eccezione di un campione sugli stessi valori.

8. – CONCLUSIONI

La produzione di tre carte tematiche che hanno consentito di localizzare e contestualizzare gli insediamenti militari della Prima Guerra Mondiale sui tre gruppi montuosi interessati dal conflitto, rappresenta il primo risultato del presente lavoro. In particolare, sono stati distinti e rappresentati gli schieramenti delle due nazioni belligeranti e le relative postazioni. Questo ha consentito di definire le aree di influenza di tale presenza, fornendo indicazioni relative ai siti più sfruttati durante il primo conflitto. Il lavoro ha portato inoltre a sviluppare un sistema di gestione delle informazioni che, opportunamente implementato e ottimizzato, potrebbe contribuire ad una più efficace archiviazione di documenti cartografici e fotografici relativi alla Prima Guerra Mondiale, attraverso sistemi informativi territoriali.

L'uso del dato storico e della sua rappresentazione sul territorio per mezzo di carte tematiche si è rivelato un valido strumento per conoscere, descrivere e localizzare i vari aspetti del contesto bellico. Le informazioni ricavate sono state utili anche per interpretare i risultati ottenuti dai campionamenti svolti al fine di valutare l'impatto delle attività belliche sul fronte della Guerra Bianca.

Attraverso le indagini multi elementari del materiale bellico è stato possibile definire quali sono i metalli pesanti utilizzati e di particolare interesse ambientale sui quali focalizzare in seguito l'analisi geochimica nei campioni di diverse matrici ambientale (sedimenti, suoli, acqua). Le munizioni della Prima Guerra Mondiale prese in esame sono costituite principalmente di Pb e Pb in lega con Sb, leghe di Fe e di Cu, con concentrazioni variabili di Ni e Zn.

Lo studio ha inoltre prodotto, un *dataset* di rapporti isotopici di Pb, altrimenti non disponibile, necessario per riuscire a discriminare le origini dei metalli pesanti nelle aree indagate ed in particolare le sorgenti belliche di Pb. L'analisi dei rapporti isotopici del Pb ha permesso di distinguere i campioni italiani da quelli austro-ungarici, soprattutto per quanto riguarda le palline di *shrapnel*, in base anche al periodo di fabbricazione. Il *dataset* di rapporti isotopici di materiale bellico costituisce uno strumento di integrazione per gli studi legati all'impatto antropico da prima guerra mondiale.

Il confronto tra rapporti isotopici del Pb del *dataset* bellico e i risultati dei rapporti isotopici del Pb ottenuti dai campioni di suoli e sedimenti nonché delle principali litologie caratterizzanti le aree indagate, ha consentito di giustificare gli elevati contenuti di Pb (>1000ppm) e di altri metalli pesanti (soprattutto Zn, Cu, Sn e Sb) riscontrati nei campioni di suoli superficiali degli ex insediamenti militari del gruppo montuoso dell'Adamello-Presanella (Passo del Castellaccio e Lagoscuro). Le concentrazioni di questi campioni risultano essere superiori alle concentrazioni naturali delle litologia prevalente (tonalite) e in particolare superiori alle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) dettate dalla normativa italiana (D.lgs 152/2006), prese come riferimento. Inoltre per questi campioni il valore del Fattore di Arricchimento (EF), calcolato sempre rispetto alla litologia dell'area, si discosta abbondantemente dall'unità (EF>15 fino a valori di EF> 40, con punte di EF=150, arricchimento estremo come definito da Andrews e Sutherland, 2004), indicando anomalie rispetto al contenuto naturale dell'elemento. La presenza di un arricchimento di origine non naturale è inoltre suggerito dalle anomale concentrazioni nei campioni più

superficiali di questi suoli (*topsoil*). Il contenuto in metalli pesanti tende a diminuire con la profondità, confermando i valori riscontrati nel substrato roccioso. Leggeri arricchimenti superficiali inoltre caratterizzano anche i campioni di Lithosol prelevati sulle morene (riferibili alla *Little Ice Age*) dei ghiacciai del Presena e della Presanella. I campioni del gruppo montuoso Ortles-Cevedale, in generale, presentano rapporti isotopici diversi dai campioni bellici analizzati, confrontabili con i dati relativi alla litologia dell'area e presentano una relativa omogeneità isotopica, a differenza di quanto osservato per i campioni dell'Adamello-Presanella, dai quali si distinguono per avere rapporti isotopici più radiogenici.

I risultati ottenuti indicano che la contaminazione di metalli pesanti di origine bellica sembra caratterizzare il gruppo montuoso dell'Adamello-Presanella, in particolare la parte settentrionale del gruppo (Passo del Castellaccio, Lagoscuro, ghiacciaio del Presena e della Presanella). Questo risultato confermerebbe anche il dato storico geografico: questo fronte, infatti, fu quello, tra i fronti della Guerra Bianca, a registrare le più importanti battaglie, i maggiori cannoneggiamenti ed ha avuto un peso strategico maggiore. Inoltre, questo settore, diversamente dagli altri, fu interessato dagli eventi bellici per l'intera durata del conflitto mondiale (dal 1915 al 1918). Gli insediamenti localizzati sul Presena e sulla Presanella (per la parte austriaca) e quelli del Castellaccio e del Lagoscuro (per la parte italiana) furono tra quelli più sfruttati perchè di maggiore importanza tattica, di conseguenza negli anni di guerra furono interessati da numerosi sviluppi bellici.

L'analisi del contenuto in metalli pesanti delle acque dei ghiacciai dell'Adamello-Presanella non hanno evidenziato particolari anomalie. Sia sull'Adamello-Presanella che negli altri siti indagati, sulla Marmolada e sull'Ortles-Cevedale, il contenuto in metalli pesanti nelle acque non supera i valori limite stabiliti dalla legge (Concentrazioni massime ammissibili nelle acque destinate al consumo umano dettate dalla Direttiva Europea 98/83/EC). L'evidenza di una provenienza bellica degli elementi in traccia in queste acque appare di difficile identificazione, vista l'impossibilità di utilizzare i traccianti isotopici allo scopo di discriminare possibili sorgenti belliche.

Il tema di ricerca è quindi di grande interesse poiché pochi sono i lavori già esistenti per quanto concerne l'impatto antropico delle aree glacializzate alpine in riferimento alla Guerra Bianca. La presenza e la lunga persistenza (circa 100 anni) di metalli pesanti nei suoli di alcune località delle aree glaciali alpine indagate, confermano la possibilità di arricchimenti imputabili ad attività belliche, come evidenziato da studi simili effettuati su altri campi di battaglia della Prima Guerra Mondiale (Bausinger *et al.* 2007; Pirc e Budkovic, 1996; Van Meirvenne *et al.*, 2008).

BIBLIOGRAFIA

APAT-ISPRA-CNR (2005) – Gli ecosistemi e i sedimenti. Caratterizzazione dei sedimenti: linee guida, protocolli operativi e attività sperimentali, pp.207.

AGGARWAL J., HABICHT-MAUCHE J., JUAREZ C. (2008) – Application of heavy stable isotopes in forensic isotope geochemistry: a review. *Applied Geochemistry*, 23, 2658–2666.

ANDREOLETTI A., VIAZZI L. (1991) – Con gli alpini sulla Marmolada : 1915-1917, Ed. Mursia. pp. 296.

ANDREWS S., SUTHERLAND R.A. (2004) – Cu, Pb and Zn contamination in Nuuanu watershed, Oahu, Hawaii. *Science of the Total Environment* 324, 173–182.

ADRIANO D.C. (2001) - Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals. Springer, New York, 867 pp

AULT, W.V., SENECHAL, R. G., ERLEBACH, W. E. (1970) – Isotopic composition as a natural tracer of lead in the environment. *Environ. Sci. Tech.* 4, 305–313.

AGGARWAL, J., MAUCHE, J. H., JUAREZ, C. (2008) – Application of heavy stable isotopes in forensic isotope geochemistry: A review, *Appl. Geochem.* 23, 2658–2666.

ANDRASKO J, KOPP I., ABRINK A. (1993) – Lead isotope ratios in lead smears and bullet fragments and application in firearm investigation, *J. Forens. Sci.* 38, 1161–1171.

ALLOWAY B.J. (1990) – Heavy metals in soils. John Wiley and Sons, Inc, New York. 1990.

AA.VV (2008) – Archeologia della Grande Guerra. *Cultura Materiale Epigrafia Restauro*, volume 1, Ed. Società Storica Guerra Bianca, pp.86.

BABA A., DENIZ O. (2004) – Effect of warfare waste on soil: a case study of Gallipoli Peninsula (Turkey). *International Journal of Environment and Pollution* 22, 657–675.

BACON JR, DINEV NS. (2005) - Isotopic characterisation of lead in contaminated soils from the vicinity of a non-ferrous metal smelter near Plovdiv, Bulgaria. *Environ Pollut*; 134:247–55.

BAIOCCHI V., LELO K. (2002) – Georeferenziazione di cartografia storica in ambiente Gis e loro verifica mediante rilievi GPS, in atti del VI Convegno Nazionale ASITA, Milano.

BALCAEN L., MOENS L., VANHAECKE F. (2010) – Determination of isotope ratios of metals (and metalloids) by means of inductively coupled plasma-mass spectrometry for provenancing purposes - A review. *Spectrochim. Acta Part B* 65, 769–786.

BARBANTE C.; COZZI G.; CAPODAGLIO G.; VAN DE VELDE K.; FERRARI C.; BOUTRON C.; CESCONE P. (1999) – Trace element determination in alpine snow and ice by double focusing inductively coupled plasma mass spectrometry with microconcentric nebulization, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, volume 14, pp. 1433-1439.

BARBANTE C., VAN DE VELDE K., COZZI G., CAPODAGLIO G., CESCONE P., PLANCHON F., HONG S., FERRARI C., BOUTRON C. (2001) – Post-World War II Uranium changes in dated Mont Blanc ice and snow. *Environmental Science & Technology*, vol. 35, pp. 4026-4030.

BARONI C., CARTON A. & SEPPI R. (2004) - Distribution and behaviour of rock glaciers in the Adamello-Presanella Massif (Italian Alps). *Permafrost and Periglacial Processes* 15 (3), 243-259.

BARONI C. & CARTON A. (1996) –Geomorfologia dell’alta Val di Genova (Gruppo dell’Adamello Alpi Centrali). *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* 19, 3-17.

BARON S., LE-CARLIER C., CARIGNAN J., PLOQUIN A. (2009) – Archaeological reconstruction of medieval lead production: implications for ancient metal provenance studies and paleopollution tracing by Pb isotopes, *Appl. Geochem.* 24, 2093–2101.

BARTOLI M., FONTANIVE D., FORNARO M. (1995) – Dalla Marmolada al Piave: diari e testimonianze della Grande guerra 1915-1918, Ed. Turismo Veneto, pp. 159.

BARTOLI M., FORNARO M. , ROTASSO G. (1993) – La città di ghiaccio: guida agli itinerari e al Museo della guerra 1915-18 in Marmolada, Ed. Artimedia-Valentina Trentini, pp. 158.

BAUSINGER T., BONNAIRE E., PREUß J. (2007) – Exposure assessment of a burning ground for chemical ammunition on the Great War battlefields of Verdun. *Science of the Total Environment* 382, 259–271.

BAUSINGER T., PREUß J. (2005) – Environmental remnants of the first World War: soil contamination of a burning ground for arsenical ammunition. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 74, 1045–1052.

BIANCHI A., CALLEGARI E., JOBSTRAIBIZER P.G. (1970) – I tipi petrografici fondamentali del plutone dell’Adamello. Tonaliti-quarzodioriti-granodioriti e loro varietà leucocratiche. *Mem. Ist. Geol. e Mi. Univ. Padova* 27, 1-148.

BLENDINGER W. (1984) – Late Ladinian Strike-slip Tectonics of the Marmolada - Costabella Area (Dolomites). *Jahrb. Geol. Bundesanst.*127, 317–319, Wien.

BINI C., GHIARA E., GRAGNANI R. (1984)- Distribuzione degli elementi in traccia nei Suoli. *Pedologia e geochimica di una topo-sequenza sul versante occidentale della Cima Vertana (Gruppo del Cevedale,A.Adige)*. *Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrografia*, 39, 555-566.

BRANDONE (2004) – *La Chimica Forense: La rivelazione dei Residui dello Sparo e problematiche connesse*, Università degli studi di Pavia, Dipartimento di Chimica Generale.

BRENNIA S., D’ALESSIO D., RASIO R. (2001) – Pedolandscape map of Lombardy (scale 1:250.000). *ERSAL, Lombardy Italy*.

CHENG HEFA, YUANAN HU, (2010) - Lead (Pb) isotopic fingerprinting and its applications in lead pollution studies in China: A review. *Environmental Pollution* 158 1134–1146.

BOLLHÖFER A, ROSMAN KJR (2001) - Isotopic source signatures for atmospheric lead: the Northern Hemisphere. *Geochim Cosmochim Acta*;65:1727–40.

CALLEGARI E. (1985) – Geological and petrological aspects of the magmatic activity at Adamello (northern Italy). *Mem. Soc. Geol. It.* 26, 83-103.

CALLEGARI E. (1983) – Note introduttive alla geologia del massiccio dell’Adamello. In: “Il magmatismo tardo-alpino nelle Alpi. Escursione Adamello-Bregaglia”. *Soc. Geol. It. - Soc. It. Miner. Petr.*14-18, Padova.

CALLEGARI E., BRACK P. (2002) – Geological map of the Tertiary Adamello batholith (Northern Italy) – Explanatory notes and legend. *Memorie di Scienze Geologiche* 54, 19–49.

CASTIGLIONI G.B., (1961) - I depositi morenici del Gruppo Adamello-Pressanella con particolare riguardo agli stadiglaciali postwurmiani. *Memorie dell’Istituto Geologico e Mineralogico dell’Università di Padova* 23: 1-131.

Caputo R.; Stefani M.; Dal Piaz G. (1999) - Contractional and transcurrent tectonics in the Marmolada Group (Dolomites, Italy). *Memorie Di Scienze Geologiche*, 63-77.

CELI M. (1991) – The impact of bombs of World War I on limestone slopes on Monte Grappa. *Proceedings of the International Symposium on Human Influence on Karst*. *Quaderni del Dipartimento di Geografia. Università di Padova* 13, 279-287.

CELI M. (2009) – Geomorphological and geo-environmental impact of bombs (First World War) in the Monte Grappa Massif, GEOITALIA 2009.

DAL PIAZ G.V., BRACK P., PENNACCHIONI G., CARTON A., PELLEGRINI G.B., BARONI C., BOLLETTINARI G., DEL LONGO M., LANARO A., LESO M., MARCATO E., RIGATTI G. (2008) – Carta Geologica d'Italia, Foglio 058 M. Adamello (scala 1:50.000). APAT- Dipartimento Difesa del Suolo, Servizio Geologico d'Italia Progetto CARG.

DAVIES, B.E (1980) - Applied soil trace elements. J. Wiley&Sons, Chichester,U.K., 482 pp.

DE BERNARDIN A., WACHTLER M. (2009) – La Città di Ghiaccio. La Grande Guerra nelle viscere della montagna, Ed. Athesia, pp. 344.

DECRETO LEGISLATIVO 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale".

DE GUIO A. (2002) – Archeologi in guerra. In LEONI D., MARCHESONI P., RASTELLI A. (a cura di) La macchina di sorveglianza, Trento, Museo Storico in Trento onlus, 88-103.

DICKIN A.P. (2005) – Radiogenic Isotope Geology, Cambridge University Press.

DIRETTIVA EUROPEA 98/83/EC Qualità delle acque destinate al consumo umano.

DONALD W. HARDISON JR., LENA Q. MA, LUONGO T., HARRIS W. G. (2004) - Lead contamination in shooting range soils from abrasion of lead bullets and subsequent weathering. Science of the Total Environment 328, 175–183.

DUPUY C., DOSTAL J. And FRATTA, M. (1982) – Geochemistry of the Adamello Massif (N. Italy). Contributions to Mineralogy and Petrology, 80: 41-48.

DUFOSSE T., TOURON P. (1998) - Comparison of bullet alloys by chemical analysis: use of ICP–MS method. Forensic Science International 91, 197–206.

Eglia M., Mirabella A., Sartori G., Fitze P. (2003) - Weathering rates as a function of climate: results from a climosequence of the Val Genova (Trentino, Italian Alps). Geoderma 111, 99–121.

EREL Y, DUBOWSKI Y, HALICZ L, EREZ J, KAUFMAN A. (2001) - Lead concentrations and isotopic ratios in the sediments of the sea of Galilee. Environ Sci Technol;35:292–9.

ETTLER V., MIHALJEVIČ M., ŠEBEK O., MOLEK M., GRYGAR T., ZEMAN J., (2006) – Geochemical and Pb isotopic evidence for sources and dispersal of metal contamination in

stream sediments from the mining and smelting district of Příbram, Czech Republic. *Environmental Pollution* 142 409-417

FAURE G. (1986) - *Principles of Isotope Geology*, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York, N.T. 589p.

FOREGS (2005) - SALMINEN R., BATISTA M.J., BIDOVEC M., DEMETRIADES A., DE VIVO B., DE VOS W. et al., *Geochemical Atlas of Europe. Part 1: Background Information, Methodology and Maps*. Geological Survey of Finland, www.gtk.fi/publ/foregsatlas.

FORSTNER U., SALOMONS W. (1984) - *Metals in the hydrocycle*. New York, Springer-Verlag, pp 349.

FANTELLI U., MAGRIN G., PERETTI G. (2008) - *Battaglie per il San Matteo. Le battaglie più alte della storia*. Ed. Alpinia, Bormio, pp. 232.

FARMER JG, EADES LJ, GRAHAMMC, BACON JR. (2000) - The changing nature of the Pb-206/Pb-207 isotopic ratio of lead in rainwater, atmospheric particulates, pine needles and leaded gasoline in Scotland, 1982–1998. *J Environ Monit*;2:49–57.

GABRIELLI P; COZZI G; TORCINI S; CESCONE P.; BARBANTE C. (2008) - Trace elements in winter snow of the Dolomites (Italy): a statistical study of natural and anthropogenic contributions. *Chemosphere* 72, 1504-1509.

GUPTA SK., VOLLMER M.K., KREBS R. (1996) - The importance of mobile, mobilisable and pseudo total heavy metal fractions in soil for three-level risk assessment and risk management *The Science of the Total Environment* 178 11-20.

HEM, J.D., (1992) - *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. United States Geological Survey Water Supply Paper 2254, Third Edition, 263 pp.

Hopper, J.F., Ross, H.B., Sturges, W.T. e Barrie, L.A., 1991. Regional source discrimination of atmospheric aerosols in Europe using the isotopic composition of lead. *Tellus*, 43, 45-60.

HOROWITZ A.J. (1991), *A primer on sediment trace element chemistry*. Ed. Lewis Publishers. pp. 136.

HUPY J.P., SCHAETZL R.J. (2008) - Introducing“ bombturbation” a singular type of soil disturbance and mixing. *Soil Science* 171 (11), 823 –836.

ISO Standard 11466 (1995), *Soil quality - Extraction of trace elements soluble in aqua regia*.

KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. (2001) - Trace element in soils and plants. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 413 pp.

KING W.C. (2001) - Forward. In: Ehlen, J., Harmon, R.S. (Eds.), The Environmental Legacy of Military Operations. Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, Boulder, Co, pp. ix- x.

KOMÁREK M., ETTLER V., CHRASTNÝ V., MIHALJEVIČ M. (2008) – Lead isotopes in environmental sciences: A review, Environ. Int. 34, 562–577.

KULEFF I., ILIEV I., PERNICKA E., GERGOVA D. (2006) – Chemical and lead isotope compositions of lead artefacts from ancient Thracia (Bulgaria). J. Cult. Herit. 7, 244–256.

LANGES G. (1991) - La guerra fra rocce e ghiacci. La guerra mondiale 1915-1918 in alta montagna, Ed. Athesia, pp. 247.

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, vol. I, II, III. A cura del CNR e Giunta Provinciale di Trento, pp.737-752.

LONG L. (1999) – Lead isotopes, in: Marshall, C.P., Fairbridge, R.W. (Eds.), Encyclopedia of Geochemistry. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 363–368.

LORING D.H., RANTALA R. (1992) - Manual for geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. Earth Sci. Rev., 32, 235-83.

MATTANA U. (1995) – Il Ghiacciaio della Marmolada-Aspetti geomorfologici della fronte centrale, Rivista Geografica Italiana, vol.102, pp. 113-127.

MARSON L. (1906) – Sui ghiacciai dell'Adamello-Presanella (alto bacino del Sarca-Mincio). Boll. Soc. Geogr. It. Ser IV, 7,6, 565-568.

MARTINELLI V., POVINELLI D. (1997) – Guerra alpina sull'Adamello 1915-1918. Ed. Pressing-Bolzano, pp. 735.

MAYER A., CORTIANA G., DAL PIAZ G.V., DELOULE E., DE PIERI R., JOBSTRAIBIZER P. (2003) – U/Pb single zircon ages of the Adamello batholith, Southern Alps. Mem Sc Geol. Padova, 55, 151-167

MARCUZZO B. (2011), Shrapnel. L' idea e l'evoluzione, il disuso e il reimpiego, nell'arco di due secoli. Ed. Saisera, pp. 79.

MIELKE J.E. (1979) - Composition of the Earth's crust and distribution of the elements. In: F. R. Siegel(Ed.), Review of research on modern problems in geochemistry.

International Association for Geochemistry and Cosmochemistry. Earth Science Series No. 16. UNESCO Report SC/GEO/544/3, Paris, 13-37.

MEERSCHMAN E., COCKX L., ISLAM M. M., MEEUWS F., VAN MEIRVENNE M. (2010), "Geostatistical Assessment of the Impact of World War I on the Spatial Occurrence of Soil Heavy Metals", *Ambio* 2011 40(4): 417-424.

MONNA F., AIUPPA A., BARRICA D. E DONGARRA G. (1999) - Pb isotope composition in lichens and aerosols from Eastern Sicily: insights into the regional impact of volcanoes on the environment. *Environ. Sci. Technol.* 33, 2517-2523.

MÖTZ J. (1996), *The Small Arms Ammunitions of the Habsburg Empire and Austrian Armed Forces from 1866 to 1954. Austrian Military Cartridges.* Verlagsbuchhandlung Stöhr, Wien, Austria Vol. 1, p. 440.

NICOLIS F., GIANNI C., DE GUIO A. (a cura di) (2011) - *Archeologia della Grande Guerra. Atti del Convegno Internazionale 23/24.06.2006, Luserna (TN).* Soprintendenza per i Beni librari, archivistici e archeologici- Settore Beni archeologici. Provincia autonoma di Trento, pp. 344.

PENNACCHIONI G., DI TORO G., BRACK P., MENEGON L., VILLA I.M. (2006)- *Brittle-ductile-brittle deformation during cooling of tonalite (Adamello, Southern Italian Alps).* *Tectonophysics* 427 171-197.

PIRC S., BUDKOVIC T. (1996) - *Remains of World War I geochemical pollution in the landscape.* *Environmental Xenobiotics.* Ed. M. Richardson, Taylor & Francis, London, 375-418.

PORTA G., MATERZANINI A. (1996) - *I giorni della guerra sull'Adamello,* Ed. Grafo, p. 195.

REIMAN C., DE CARITAT P. (2005) - *Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors,* *Sciences of Total Environment,* 337,91-107.

REIMANN C. DE CARITAT P. (1998) - *Chemical Elements in the Environment. Factsheets for the Geochemist and Environmental Scientist.* *Elderfield Geological Magazine* 2000; 137: 596.

RANZI R., GROSSI G., GITTI A., TASCHNER S. (2010) - *Energy and mass balance of the Mandrone Glacier (Adamello, Central Alps).* *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* 33, 45-60.

- RONCHI Q. (1927) – La guerra sull'Adamello. S. Daniele. Ed. Tobacco, pp. 203.
- ROSMAN KJR, LY C, VAN DE VELDE K, BOUTRON CF. (2000) - A two century of lead isotopes in high altitude Alpine snow and ice. *Earth Planet Sci Lett*;176:413–24.
- ROSS V. (2011)- Caratterizzazione chimica ed isotopica di residuati bellici della prima guerra mondiale, Tesi di Laurea Magistrale in Scienze Chimiche per la Conservazione ed il Restauro Università Ca' Foscari – Venezia, Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali.
- SANGSTER, D.F., OUTRIDGE, P.M., DAVIS, W.J. (2000) - Stable lead isotope characteristics of lead ore deposits of environmental significance. *Environmental Reviews* 8, 115–147.
- SAURO U. (1987) –The impact of man in the karstic environment of the Venetian Prealps, *Karst and Man*, University of Ljubljana Study Group on Man's Impact on Karst. Proceedings of the International Symposium on Human Influence on Karst, Postojna, Yugoslavia, 241-254.
- SCHAUMANN W. (1988) – Storia e itinerari nella località della guerra: Dolomiti Occidentali. Ed. Ghidina & Tassoni, pp.270.
- SCHWARTZ C., FLORENTIN L., MOREL JL. (2003) – Impact d'activités militaires de la première Guerre Mondiale sur la qualité des sols”. Vandoeuvre-lès-Nancy, unpublished.
- SCHWIKOWSKI M.; BARBANTE C.; DRING T.; GELER H. W.; BOUTRON C.; SCHOTTERER U.; TOBLER L.; VAN DE VELDE K.; FERRARI C.; COZZI G.; ROSMAN K.; CESCO P. (2004) – Post 17th century changes of European lead emissions recorded in high-altitude Alpine snow and ice. *Environmental science & technology*, 38, 957-964.
- SALOMON W. (1989) – Die Adamellogruppe, ein alpines Zentralmassiv, und seine Bedeutung für die Gebirgsbildung und unsere Kenntnis von dem Mechanismus der Intrusionen. *Abh. der K.K. Geologischen Reichsanstalt*, 21, 1-2. Traduzione italiana di Silvio Romano, Quaderni Camuni, 535 pp.
- STAL C. , BOURGEOIS J., DE MAEYER P., DE MULDER G., DE WULF A., GOOSSENS R., NUTTENS T., STICHELBAU B. (2010) - Kimmelberg (Belgium) case study: comparison of DTM analysis methods for the detection of relicts from the First World War. *Remote Sensing for Science, Education, and Natural and Cultural Heritage* Rainer Reuter (Editor) EARSeL.
- SARTORI, G., MANCABELLI, A., WOLF, U., (2005) - Atlante dei suoli del Parco Naturale Adamello-Brenta. *Suoli e Paesaggi*, Museo Tridentino di Scienze Naturali, Trento. 64 pp.

- Sartori, G., Corradini, F., Mancabelli, A., Wolf, U., (1997).- Principali tipi di suoli forestali nella provincia di Trento. Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol. 72, 41– 54
- S.G.L (1992) – Servizio Glaciologico Lombardo Ghiacciai in Lombardia. Nuovo catasto dei ghiacciai Lombardi. Bolis, Bergamo, 367pp.
- SOUVENT P., PIRC S. (2001) – Pollution caused by metallic fragments introduced into soils because of World War I activities. Environmental Geology 40, 317-323.
- STATO MAGGIORE DELL'ESERCITO ITALIANO (1920-1940) – L'esercito Italiano nella Grande Guerra (1915-1918), vol. IV, Tomo 1-ter (gennaio-maggio 1917).
- STEFANI, M. AND CAPUTO, R. (1998) - Stratigrafia Triassica e tettonica alpina nel gruppo Marmolada-Costabella (Dolomiti centrali).Soc. Geol. Ital. Mem., 53,263-293.
- STICHELBAUT B. (2011) - The First Thirty Kilometres of the Western Front 1914^1918: an Aerial Archaeological Approach with Historical RemoteSensing Data. Archaeol. Prospect.18, 57–66
- STUPIAN G.W. (1975) – Lead Isotope Ratio Measurements: A Potential Method for Bullet Identification, J. Forensic Sci. Soc. 15, 161–164.
- STUPIAN G.W., IVES N.A., MARQUEZ N. & MORGAN B.A. (2001) – The Application of Lead Isotope Analysis to Bullet Individualization in Two Homicides, J. Forensic Sci. Soc. 46, 1342–1351.
- STRIFFLER R. (1992) – 1917 Guerra di mine nelle Dolomiti. Marmolada – Colbricon – Buse dell'Oro, Ed. Panorama, pp. 253.
- TAYLOR H.E (2001) – Inductively Coupled Plasma - Mass spectrometry: practices and techniques, Academic Press, San Diego, CA, USA.
- TAYLOR S.R, and MCLENNAN S.M. (2001) – Chemical Composition and element distribution in the Earth's Crust. In Encyclopedia of Physical Sciences and Technology. Academic Press, vol.2, pp.697-719.
- TOMMASINI S., DAVIES G. E ELLIOTT T. (2000) – Lead isotope composition of tree rings as bio-geochemical tracers of heavy metal pollution: a reconnaissance study from Firenze, Italy. Appl. Geochem. 15, 891-900.
- URE A.M. & BERROW, M.L. (1982) – The elemental constituents of soils. In: H.J.M. Bowen (Ed.), Environmental chemistry. Royal Society of 451 Chemistry Special Report Series, London, Volume 2, 94-204.

ULRICH, A., MOOR, C., VONMONT, H., JORDI, H. R., LORY, M., (2004) - ICP-MS trace element analysis as a forensic tool, *Anal. Bioanal. Chem.* 378, 1059–1068.

US EPA (1996) – Acid digestion of sediments, sludges and soils, SW-846 Method 3050B, Test Method for Evaluating Solid Waste, Washington.

VEYSSEYRE AM, BOLLHÖFER AF, ROSMAN K JR, FERRARI CP, BOUTRON CF. (2001) - Tracing the origin of pollution in French Alpine snow and aerosols using lead isotopic ratios. *Environ Sci Technol*;35:4463–9.

VAN DE VELDE K.; BELLOMI T.; BARBANTE C.; BOUTRON C.; FERRARI C.; BOLSHOW M; RUDNEV S. (1998), Seasonal Variations Of Heavy Metals In The 1960s Alpine Ice: Sources Versus Meteorological Parameters, *Earth And Planetary Science Letters*, Volume 164, Pp. 521-533.

VAN DE VELDE K.; C. BARBANTE; G. COZZI; MORET I.; T. BELLOMI; C. FERRARI; C. BOUTRON (2000), Changes In The Occurrence Of Silver, Gold, Platinum, Palladium And Rhodium In Mont Blanc Ice And Snow Since The 18th Century, *Atmospheric Environment*, Volume 34, Pp. 3117-3127.

VAN MEIRVENNE M. MEKLIT T., VERSTRAETE S., DE BOEVER M., TACK F.(2008) – Could shelling in the First World War have increased copper concentrations in the soil around Ypres?. *European Journal of Soil Science* 59, 372–379.

VIAZZI L., CAVACIOCCHI A. (1996) – L’impresa dell’Adamello, Ed. Nordpress, pp. 92.

VIAZZI L. (1997) – La guerra alpini sul fronte Ortles-Cevedale (1915-1918), collana “Libri della Prima Guerra Mondiale”, Ed. Nordpress, pp. 197.

VIAZZI L. (1998) – Guerra sulle vette. Ortles-Cevedale: 1915-1918. Ed. Mursia, pp. 269.

VON LICHEM H. (1993) – Il fronte trentino e dolomitico da Rovereto al Passo Monte Croce Comelico, la guerra in montagna 1915-1918, vol II. Ed. Athesia, Bolzano, pp.337.

VON LICHEM H. (1994) – Ortles, Adamello, Giudicarie, Garda Ovest. La guerra in montagna 1915-1918, vol I. Ed. Athesia, Bolzano, pp.325.

WEDEPOHL K.H. (1978) -Handbook of geochemistry. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.

WEDEPOHL K.H. (1995) - The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, 1217-1232.

WESTING A.H. (1980) – Warfare in a Fragile World: Military Impact on the Human Environment. Taylor & Francis, London. 249 pp.

WORBOYS M. & DUCKHAM M. (2004) – GIS: A Computing Perspective, CRC Press, Boca Raton.

WORLD GLACIER MONITORING SERVICE WGMS (1989) – World glacier inventory - Status 1988. Haeberli, W., Bösch, H., Scherler, K., Østrem, G. and Wallén, C. C. (eds.), IAHS (ICSU) / UNEP / UNESCO, World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland: 458 pp. http://nsidc.org/data/docs/noaa/g01130_glacier_inventory/

IUSS Working Group WRB (2006) – World reference base for soil resources 2006. 2nd edition. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.

ZEICHNER A., EHRLICH S., SHOSHAI E. (2006) – Application of lead isotope analysis in shooting incident investigations, Forens. Sci. Int. 158, 52–64.

Siti internet consultati

www.pcn.minambiente.it/GN

Comitato Glaciologico Trentino della Sat (C.G.T., 1994)

www.sat.tn.it/sns/17/ghiacciai_elenco.htm

CATASTO DEI GHIACCIAI ITALIANI (CGI-CNR, 1959-62), www.glaciologia.it

www.guerrabianca.org

www.gsf.fi/publ/foregsatlas/

www.lagrandeguerra.net

www.siggmi.it

www.igmi.org

www.parcoadamello.it

www.museopejo.it

www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportale

www.idt.regione.veneto.it

www.territorio.provincia.tn.it

APPENDICE A

Tabella I Descrizione campioni acqua.

SIGLA	GRUPPO MONTUOSO	GHIACCIAIO	
MARM 2	MARMOLADA	Gh. MARMOLADA	ACQUA
MARM 6	MARMOLADA	Gh. MARMOLADA	NEVE
MARM 11	MARMOLADA	Gh. MARMOLADA	ACQUA
MARM 16	MARMOLADA	Gh. MARMOLADA	ACQUA
MARM 18	MARMOLADA	Gh. MARMOLADA	ACQUA
MARM 23	MARMOLADA	Gh. MARMOLADA	ACQUA
MARM 25	MARMOLADA	Gh. MARMOLADA	ACQUA
MARM 28	MARMOLADA	Gh. MARMOLADA	ACQUA
MARM 31	MARMOLADA	Gh. MARMOLADA	ACQUA
LEV 6	ADAMELLO-PRESANELLA	GH. ADAME', CIMA DI LEVADE	ACQUA
LEV 9	ADAMELLO-PRESANELLA	GH. ADAME', CIMA DI LEVADE	NEVE
LEV 11	ADAMELLO-PRESANELLA	GH. ADAME', SORGENTI DEL POIA	ACQUA
LEV 13	ADAMELLO-PRESANELLA	GH. ADAME', SORGENTI DEL POIA	ACQUA
AVIO 4	ADAMELLO-PRESANELLA	GH. VENEROCOLO, VAL D'AVIO	ACQUA
AVIO 6	ADAMELLO-PRESANELLA	GH. VENEROCOLO, VAL D'AVIO	ACQUA
PRES 1a	ADAMELLO-PRESANELLA	GH. PRESANELLA	ACQUA
PRESA 10	ADAMELLO-PRESANELLA	GH. PRESANELLA	ACQUA
PRESA 12	ADAMELLO-PRESANELLA	GH. PRESANELLA	ACQUA
PRESA 15	ADAMELLO-PRESANELLA	GH. PRESANELLA	ACQUA
PRESA 17	ADAMELLO-PRESANELLA	GH. PRESANELLA	ACQUA
PRESA 19	ADAMELLO-PRESANELLA	GH. PRESANELLA	ACQUA
PRESA 21	ADAMELLO-PRESANELLA	GH. PRESANELLA	ACQUA
PRESA 23	ADAMELLO-PRESANELLA	GH. PRESANELLA	ACQUA
PRESA 25	ADAMELLO-PRESANELLA	GH. PRESANELLA	ACQUA
PRESA 28	ADAMELLO-PRESANELLA	GH. PRESANELLA	ACQUA
PRE 02	ADAMELLO-PRESANELLA	GH.PRESENA	ACQUA
PRE 06	ADAMELLO-PRESANELLA	GH.PRESENA	ACQUA
PRE 09	ADAMELLO-PRESANELLA	GH.PRESENA	ACQUA
PRE 13	ADAMELLO-PRESANELLA	GH.PRESENA	ACQUA
PRE 15	ADAMELLO-PRESANELLA	GH.PRESENA	ACQUA
PRE 17	ADAMELLO-PRESANELLA	GH.PRESENA	ACQUA
PRE 20	ADAMELLO-PRESANELLA	GH.PRESENA	ACQUA
PRE 22	ADAMELLO-PRESANELLA	GH.PRESENA	ACQUA
PRE 25	ADAMELLO-PRESANELLA	GH.PRESENA	ACQUA
MANDR 1a	ADAMELLO-PRESANELLA	GH.DEL MANDRONE, VAL DI GENOVA	ACQUA
MANDR 8a	ADAMELLO-PRESANELLA	GH.DEL MANDRONE, VAL DI GENOVA	ACQUA
MAND 2	ADAMELLO-PRESANELLA	GH.DEL MANDRONE, VAL DI GENOVA	ACQUA
MAND 5	ADAMELLO-PRESANELLA	GH.DEL MANDRONE, VAL DI GENOVA	ACQUA
MAND 7	ADAMELLO-PRESANELLA	GH.DEL MANDRONE, VAL DI GENOVA	ACQUA
LSCU 6	ADAMELLO-PRESANELLA	LAGOSCURO	ACQUA
LSCU 8	ADAMELLO-PRESANELLA	LAGOSCURO	ACQUA
LSCU 11	ADAMELLO-PRESANELLA	LAGOSCURO	ACQUA
LSCU 13	ADAMELLO-PRESANELLA	LAGOSCURO	ACQUA
LMAN 2	ADAMELLO-PRESANELLA	LAGO MANDRON	ACQUA
LMAN 4	ADAMELLO-PRESANELLA	LAGO MANDRON	ACQUA
FOR5	ORTLES-CEVEDALE	GH. DEI FORNI	ACQUA
FOR9	ORTLES-CEVEDALE	GH. DEI FORNI	ACQUA
FOR11	ORTLES-CEVEDALE	GH. DEI FORNI	ACQUA
FOR14	ORTLES-CEVEDALE	GH. DEI FORNI	ACQUA
FOR17	ORTLES-CEVEDALE	GH. DEI FORNI	ACQUA
FOR20	ORTLES-CEVEDALE	GH. DEI FORNI	ACQUA
FOR22	ORTLES-CEVEDALE	GH. DEI FORNI	ACQUA
FOR24	ORTLES-CEVEDALE	GH. DEI FORNI	ACQUA

DOS 8	ORTLES-CEVEDALE	GH. DOSEGU'	ACQUA
DOS 9	ORTLES-CEVEDALE	GH. DOSEGU'	ACQUA
DOS 12	ORTLES-CEVEDALE	GH. DOSEGU'	ACQUA
DOS 22	ORTLES-CEVEDALE	GH. DOSEGU'	ACQUA
SFORZ 5	ORTLES-CEVEDALE	GH. SFORZELLINA	ACQUA
SFORZ 11	ORTLES-CEVEDALE	GH. SFORZELLINA	ACQUA
SFORZ 14	ORTLES-CEVEDALE	GH. SFORZELLINA	ACQUA
SFORZ 18	ORTLES-CEVEDALE	GH. SFORZELLINA	ACQUA
SFORZ 20	ORTLES-CEVEDALE	GH. SFORZELLINA	ACQUA
SFORZ 24	ORTLES-CEVEDALE	GH. SFORZELLINA	ACQUA
SFORZ 28	ORTLES-CEVEDALE	GH. SFORZELLINA	ACQUA
SFORZ 30	ORTLES-CEVEDALE	GH. SFORZELLINA	ACQUA
SFORZ 31	ORTLES-CEVEDALE	GH. SFORZELLINA	ACQUA
SFORZ 33	ORTLES-CEVEDALE	GH. SFORZELLINA	ACQUA
SFORZ 35	ORTLES-CEVEDALE	GH. SFORZELLINA	ACQUA
SFORZ 37	ORTLES-CEVEDALE	GH. SFORZELLINA	ACQUA
SFORZ 39	ORTLES-CEVEDALE	GH. SFORZELLINA	ACQUA
SFORZ 41	ORTLES-CEVEDALE	GH. SFORZELLINA	ACQUA
SFORZ 43	ORTLES-CEVEDALE	GH. SFORZELLINA	ACQUA
SFORZ 45	ORTLES-CEVEDALE	GH. SFORZELLINA	ACQUA
SFORZ 47	ORTLES-CEVEDALE	GH. SFORZELLINA	ACQUA
SFORZ 49	ORTLES-CEVEDALE	GH. SFORZELLINA	ACQUA

Tabella II Descrizioni campioni sedimenti, suoli, roccia

SIGLA	GRUPPO MONTUOSO	LOCALITA'	DESCRIZIONE	PROFONDITA' (cm)
MARM5	MARMOLADA	Gh. Marmolada	Till sopragliaciale	
MARM14	MARMOLADA	Gh. Marmolada	Till di ablazione	
MARM26	MARMOLADA	Gh. Marmolada	Sedimento crioconitico	
MARM32	MARMOLADA	Gh. Marmolada	Suolo-top	
DOS1-I*	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Dosegù	Till di ablazione	0-2
DOS2-II	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Dosegù	Till di alloggiamento	2-7
DOS3-III**	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Dosegù	Till di ablazione	7-20
DOS4**	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Dosegù	Till di ablazione	
DOS6	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Dosegù	Till sopragliaciale	
DOS13**	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Dosegù	Till di ablazione	
DOS14**	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Dosegù	Till di ablazione	
DOS15	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Dosegù	Till sopragliaciale	
DOS17	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Dosegù	Till basale (endogliaciale)	
DOS18**	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Dosegù	Till di ablazione	
DOS19**	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Dosegù	Till di alloggiamento	
DOS20	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Dosegù	Till di alloggiamento	
DOS23	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Dosegù	Till di alloggiamento	
DOS24	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Dosegù	Till di alloggiamento	
FOR1	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Forni	Till di ablazione, LIA morena	-60cm PC
FOR2	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Forni	Kame deposit-top	
FOR3	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Forni	Kame deposit	
FOR6	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Forni	Till di alloggiamento	
FOR12	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Forni	Till di ablazione	
FOR15	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Forni	Till di ablazione	
FOR18	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Forni	Till di alloggiamento	
SFORZ1	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Sforzellina	Till di ablazione, Moraine 1987	
SFORZ2	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Sforzellina	Till di ablazione, Moraine 1987	
SFORZ3	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Sforzellina	Till di ablazione, Moraine 1987	
SFORZ6	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Sforzellina	Till sopragliaciale	
SFORZ8	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Sforzellina	Sedimento fluvioglaciale	
SFORZ9	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Sforzellina	Till basale	
SFORZ12	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Sforzellina	Till basale	
SFORZ15	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Sforzellina	Till sopragliaciale	
SFORZ16	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Sforzellina	Till di ablazione, Moraine 1987	
SFORZ21	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Sforzellina	Flow till, in suolo C-LIA Morena	-80
SFORZ22	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Sforzellina	Till di ablazione, in suolo R-LIA Morena	-5m
SFORZ25	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Sforzellina	Till di ablazione, Pleistocene	
SFORZ26	ORTLES-CEVEDALE	Gh. Sforzellina	Till di ablazione, Pleistocene	
MAND3	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Mandrone	Till sopragliaciale	
MAND8	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Mandrone	Till di ablazione	
MAND9**	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Mandrone	Till di ablazione	
PRE3	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Presena	Till di ablazione	
PRE7	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Presena	Sedimento glaciolacustri	
PRE18	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Presena	Till basale	
PRE23	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Presena	Sedimento glaciolacustri	
PRE26	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Presena	Sedimento glaciolacustri	
PRE 10	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Presena	Sedimento crioconitico	
PRE 11	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Presena	Sedimento crioconitico	
PRESA5-I	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Presanella	Till di ablazione, post LIA Morena	0-5

PRESA6-II	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Presanella	Till di ablazione, post LIA Morena	-20
PRESA7	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Presanella	Till di ablazione, post LIA Morena	5-10
PRESA13	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Presanella	Till basale	
PRESA26	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Presanella	Till endoglaciale	
LEV2	ADAMELLO-PRESANELLA	Valle Adamè	Suolo-top A	0-2
LEV3	ADAMELLO-PRESANELLA	Valle Adamè	Suolo-AC	2-7
LEV4	ADAMELLO-PRESANELLA	Valle Adamè	Suolo C	7-20
MAND10-I	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Mandrone	Suolo top-AC su till	0-3
MAND11-II	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Mandrone	Suolo C su till	8-10
PRE27-I	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Presena	Suolo top-A1 su till, LIA Morena	0-3
PRE28-II	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Presena	Suolo AC su till, LIA Morena	3-7
PRE29-I**	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Presena	Suolo top A1 su till	0-3
PRE30-II	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Presena	Suolo AC su till	3-7
PRESA1-I	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Presanella	Suolo top A1 su till, LIA Morena	0-2
PRESA2-II	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Presanella	Suolo B3 su till, LIA Morena	2-5
PRESA3-III	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Presanella	Suolo C su till, LIA Morena	5-10
PRESA4-IV	ADAMELLO-PRESANELLA	Gh. Presanella	Till di ablazione, in suolo R	-5/6m
CAST1-I	ADAMELLO-PRESANELLA	P.sso del Castellaccio	Suolo antropico-top A1	0-2
CAST2-II	ADAMELLO-PRESANELLA	P.sso del Castellaccio	Suolo antropico	5-7
CAST3-III	ADAMELLO-PRESANELLA	P.sso del Castellaccio	Suolo antropico-bottom	15-18
CAST4-I	ADAMELLO-PRESANELLA	P.sso del Castellaccio	Suolo antropico-top A1	0-2
CAST5-II	ADAMELLO-PRESANELLA	P.sso del Castellaccio	Suolo antropico-sub	8-10
CAST6-III	ADAMELLO-PRESANELLA	P.sso del Castellaccio	Suolo antropico-sub	18-25
CAST7-IV	ADAMELLO-PRESANELLA	P.sso del Castellaccio	Suolo antropico-bottom	25-30
CAST8-I	ADAMELLO-PRESANELLA	P.sso del Castellaccio	Suolo antropico-top A1	0-4
CAST9-II	ADAMELLO-PRESANELLA	P.sso del Castellaccio	Suolo antropico-bottom	8-10
LSCU3**	ADAMELLO-PRESANELLA	Lagoscuro	Suolo antropico-top	0-2
LSCU1**	ADAMELLO-PRESANELLA	Lagoscuro	Suolo antropico-top	0-2
LSCU2**	ADAMELLO-PRESANELLA	Lagoscuro	Suolo antropico-top	0-2
LSCU4**	ADAMELLO-PRESANELLA	Lagoscuro	Suolo antropico-top	0-2
LSCU9**	ADAMELLO-PRESANELLA	Lagoscuro	Suolo antropico-top	0-2
LSCU14-I**	ADAMELLO-PRESANELLA	Lagoscuro	Suolo antropico-top	0-3
LSCU15-II	ADAMELLO-PRESANELLA	Lagoscuro	Suolo antropico-sub	8-10
LSCU16-III	ADAMELLO-PRESANELLA	Lagoscuro	Suolo antropico-bottom	15-18
LEV7	ADAMELLO-PRESANELLA	Adamello-Presanella	Tonalite roccia	
PRE4	ADAMELLO-PRESANELLA	Adamello-Presanella	Tonalite roccia	
AVIO2	ADAMELLO-PRESANELLA	Adamello-Presanella	Tonalite roccia	
PRESA8	ADAMELLO-PRESANELLA	Adamello-Presanella	Tonalite roccia	
CAST10	ADAMELLO-PRESANELLA	Adamello-Presanella	Tonalite roccia	
FOR7	ORTLES-CEVEDALE	Ortles-Cevedale	Fillade roccia	
SFORZ7	ORTLES-CEVEDALE	Ortles-Cevedale	Micascisto roccia	
MARM9	MARMOLADA	Marmolada	Calcare roccia	

* LAYER DIVERSI DISTINTI DAI NUMERI ROMANI A SECONDA DELLA PROFONDITA'

** PRESENZA DI RESTI BELLICI

Tabella III Descrizioni campioni bellici

SIGLA	DESCRIZIONE	ORIGINE	PROVENIENZA
1	Shrapnel		Marmolada (BL)
3	Shrapnel		Marmolada (BL)
4	Shrapnel		Marmolada (BL)
5	Shrapnel		Marmolada (BL)
12	Shrapnel		Marmolada (BL)
13	Shrapnel		Marmolada (BL)
14	Shrapnel		Marmolada (BL)
15	Shrapnel		Trentino Alto Adige
16	Shrapnel		Trentino Alto Adige
17	Shrapnel		Trentino Alto Adige
18	Shrapnel		Trentino Alto Adige
19	Shrapnel		Trentino Alto Adige
20	Shrapnel		Trentino Alto Adige
21	Shrapnel		Trentino Alto Adige
22	Shrapnel		Trentino Alto Adige
23	Shrapnel		Trentino Alto Adige
24	Shrapnel		Trentino Alto Adige
25	Shrapnel		Trentino Alto Adige
26	Shrapnel		Trentino Alto Adige
27	Shrapnel		Trentino Alto Adige
51	Shrapnel per proietto shrapnel calibro 75 mm, Proietto risalente al 1875	ITALIANA	Museo di Rovereto
52	Shrapnel per proietto shrapnel calibro 75 mm Proietto risalente al 1875	ITALIANA	Museo di Rovereto
53	Shrapnel per proietto shrapnel calibro 75 mm Proietto risalente al 1875	ITALIANA	Museo di Rovereto
54	Shrapnel per proietto shrapnel calibro 120 mm Proietto risalente al 1875	ITALIANA	Museo di Rovereto
55	Shrapnel per proietto shrapnel calibro 120 mm Proietto risalente al 1875	ITALIANA	Museo di Rovereto
56	Shrapnel per proietto shrapnel calibro 120 mm Proietto risalente al 1875	ITALIANA	Museo di Rovereto
57	Shrapnel per proietto shrapnel calibro 75 mm Proietto risalente ai primi anni del '900. Modello copiato da disegni di fine '800.	ITALIANA	Museo di Rovereto
58	Shrapnel per proietto shrapnel calibro 75 mm Proietto risalente ai primi anni del '900. Modello copiato da disegni di fine '800.	ITALIANA	Museo di Rovereto
59	Shrapnel per proietto shrapnel calibro 75 mm Proietto risalente ai primi anni del '900. Modello copiato da disegni di fine '800.	ITALIANA	Museo di Rovereto
60	Shrapnel per proietto shrapnel Pancani 105 mm Proietto risalente al 1917	ITALIANA	Museo di Rovereto
61	Shrapnel per proietto shrapnel Pancani 105 mm Proietto risalente al 1917	ITALIANA	Museo di Rovereto
62	Shrapnel per proietto shrapnel Pancani 105 mm Proietto risalente al 1917	ITALIANA	Museo di Rovereto
63	Shrapnel per proietto shrapnel calibro 15 cm Proietto risalente al 1875	AUSTRIACA	Museo di Rovereto
64	Shrapnel per proietto shrapnel calibro 15 cm Proietto risalente al 1875	AUSTRIACA	Museo di Rovereto
65	Shrapnel per proietto shrapnel calibro 15 cm Proietto risalente al 1875	AUSTRIACA	Museo di Rovereto
66	Shrapnel per proietto shrapnel calibro 75 mm Proietto risalente ai primi anni del '900. Modello copiato da disegni di fine '800.	AUSTRIACA	Museo di Rovereto
67	Shrapnel per proietto shrapnel calibro 75 mm Proietto risalente ai primi anni del '900. Modello copiato da disegni di fine '800.	AUSTRIACA	Museo di Rovereto
68	Shrapnel per proietto shrapnel calibro 75 mm Proietto risalente ai primi anni del '900. Modello copiato da disegni di fine '800.	AUSTRIACA	Museo di Rovereto

69	Shrapnel per proietto shrapnel 10 cm M15 Brisant Granate Proietto risalente al 1917. Di produzione tedesca.	AUSTRIACA	Museo di Rovereto
70	Shrapnel per proietto shrapnel 10 cm M15 Brisant Granate Proietto risalente al 1917. Di produzione tedesca.	AUSTRIACA	Museo di Rovereto
71	Shrapnel per proietto shrapnel 10 cm M15 Brisant Granate Proietto risalente al 1917. Di produzione tedesca.	AUSTRIACA	Museo di Rovereto
29	Cartuccia 8 mm Mannlicher (fucile Mannlicher M95)	AUSTRIACA	Museo di Rovereto
31	Proiettile per cartuccia 8 mm Mannlicher	AUSTRIACA	Museo di Rovereto
32	Cartuccia 6.5 mm Carcano (Mannlicher - Carcano M91 fucile)	ITALIANA	Museo di Rovereto
33	Cartuccia 6.5 mm Carcano (Mannlicher - Carcano M91 fucile)	ITALIANA	Museo di Rovereto
34	Cartuccia per fucile	ITALIANA	Museo di Rovereto
35	Cartuccia per fucile	ITALIANA	Museo di Rovereto
36	Cartuccia 6.5 mm Carcano (Mannlicher - Carcano M91 fucile)	ITALIANA	Museo di Rovereto
38	Cartuccia 10.4 mm (Vetterli fucile)	ITALIANA	Museo di Rovereto
39	Cartuccia 10.4 mm (Vetterli fucile)	ITALIANA	Museo di Rovereto
40	Cartuccia 10.4 mm (Vetterli fucile)	ITALIANA	Museo di Rovereto
42	Cartuccia 8 mm Mannlicher (Mannlicher M95 fucile)	AUSTRIACA	Museo di Rovereto
47	Cartuccia 10.4 mm Glisenti (Glisenti rivoltella)	ITALIANA	Museo di Rovereto
48	Cartuccia 9 mm Glisenti (Glisenti rivoltella)	ITALIANA	Museo di Rovereto
49	Cartuccia 9 mm Glisenti (Glisenti rivoltella)	ITALIANA	Museo di Rovereto
50	Cartuccia 9 mm Steyr pistola	AUSTRIACA	Museo di Rovereto

APPENDICE B

Tabella IV Risultati dell'analisi multielementare per i campioni di palline di *shrapnel* e proiettili

SIGLA	Li (mg/g)	Mg (mg/g)	Al (mg/g)	Ti (mg/g)	V (mg/g)	Cr (mg/g)	Mn (mg/g)	Fe (%)	Ni (%)	Cu (%)	Zn (%)	Ga (mg/g)	As (mg/g)	Rb (mg/g)	Sr (mg/g)	Mo (mg/g)	Ag (mg/g)	Cd (mg/g)	Sn (mg/g)	Sb (%)	Cs (mg/g)	Ba (mg/g)	Tl (mg/g)	Pb (%)	U (mg/g)
1	0,04	2,09	<d.l.	0,90	0,44	2,12	0,55	<d.l.	0,29	0,19	0,07	0,01	7,39	0,67	0,02	2,17	0,61	0,33	1,41	5,5	0,19	5,99	0,31	91	0,10
3	0,02	1,73	<d.l.	0,70	0,38	1,87	0,48	<d.l.	0,25	0,09	0,07	0,01	3,03	0,58	0,01	1,87	0,55	0,28	0,08	1,6	0,19	5,33	0,29	96	0,10
4	0,01	1,92	<d.l.	0,70	0,37	1,84	0,46	<d.l.	0,26	0,14	0,08	0,01	2,26	0,57	0,01	1,80	0,53	0,26	0,08	0,90	0,18	5,32	0,30	97	0,10
5	0,01	2,56	<d.l.	0,71	0,36	1,76	0,45	<d.l.	0,25	0,08	0,08	0,01	2,09	0,55	0,01	1,74	0,49	0,26	0,08	1,5	0,17	4,98	0,30	96	0,10
12	0,18	2,01	2,36	1,44	0,63	0,44	0,98	<d.l.	0,41	0,37	0,19	0,48	2,93	0,75	0,52	0,01	0,95	0,26	0,08	2,0	0,24	0,77	<d.l.	97	0,15
13	0,13	2,32	1,62	1,33	0,56	0,40	0,88	<d.l.	0,44	0,49	0,19	0,44	12,49	0,68	0,47	0,01	0,93	0,26	1,50	4,7	0,21	0,86	<d.l.	92	0,11
14	0,12	1,95	1,79	1,26	0,52	0,37	0,81	<d.l.	0,39	0,54	0,37	0,40	3,65	0,64	0,47	0,01	0,84	0,07	0,42	0,64	0,20	0,64	<d.l.	97	0,10
15	0,79	6,55	18,39	1,35	0,53	0,86	<d.l.	<d.l.	0,09	0,15	0,64	2,11	2,04	0,79	0,90	0,20	0,01	0,86	11,64	4,2	0,31	12,69	<d.l.	89	0,16
16	0,75	4,24	13,38	1,29	0,49	0,81	<d.l.	<d.l.	0,07	0,14	0,45	1,80	1,67	0,74	0,81	0,21	0,01	0,80	3,62	0,24	0,26	10,58	<d.l.	95	0,15
17	0,73	5,12	13,41	1,23	0,49	0,77	<d.l.	<d.l.	0,06	0,14	0,45	1,74	1,60	0,71	0,81	0,15	0,02	0,78	0,68	0,15	0,34	9,95	<d.l.	95	0,14
18	0,84	4,22	15,03	1,34	0,53	0,87	<d.l.	<d.l.	0,07	0,15	0,49	1,96	1,83	0,80	0,88	0,20	0,01	0,88	2,00	1,0	0,28	11,21	<d.l.	94	0,18
19	0,83	11,68	14,95	1,34	0,56	0,91	<d.l.	<d.l.	0,06	0,17	0,60	1,88	1,76	0,83	0,93	0,18	0,03	0,91	6,65	1,5	0,32	10,88	<d.l.	92	0,17
20	0,58	4,80	12,58	1,00	0,39	0,64	<d.l.	<d.l.	0,06	0,12	0,42	1,55	1,35	0,59	0,67	0,11	0,01	0,64	7,21	2,0	0,22	9,19	<d.l.	93	0,24
21	0,56	2,69	10,67	0,94	0,36	0,62	<d.l.	<d.l.	0,04	0,12	1,10	1,43	1,15	0,54	0,61	0,11	0,03	0,60	2,31	4,7	0,18	8,27	<d.l.	91	0,11
22	0,58	3,72	10,44	0,99	0,39	0,62	<d.l.	<d.l.	0,04	0,10	0,37	1,42	2,02	0,57	0,64	0,07	0,01	0,63	0,09	1,4	0,19	8,22	<d.l.	95	0,12
23	0,57	3,17	8,93	0,95	0,37	0,60	<d.l.	<d.l.	0,03	0,10	0,32	1,25	1,12	0,56	0,61	0,09	0,01	0,61	0,06	2,0	0,18	7,21	<d.l.	95	0,11
24	0,52	4,52	11,75	1,79	1,03	0,85	<d.l.	97	0,06	0,19	0,36	1,39	1,45	0,52	0,59	0,07	0,00	0,57	0,09	0,03	0,16	8,16	<d.l.	n.d.	0,10
25	0,63	4,32	13,96	2,21	1,50	1,11	<d.l.	95	0,07	0,16	0,44	1,57	1,69	0,61	0,70	0,09	0,00	0,68	0,14	0,03	0,19	9,08	<d.l.	n.d.	0,12
26	0,58	4,13	12,39	1,58	1,47	1,04	<d.l.	96	0,07	0,12	0,45	1,73	1,62	0,57	0,69	0,07	0,01	0,66	0,03	0,03	0,18	10,35	<d.l.	n.d.	0,12
27	0,54	3,58	9,57	0,91	1,04	0,87	<d.l.	90	0,16	0,17	0,34	1,33	1,38	0,52	0,58	0,07	0,01	0,57	0,07	0,03	0,21	7,44	<d.l.	7	0,11
51	0,14	1,63	<d.l.	1,80	<d.l.	<d.l.	0,66	<d.l.	0,29	0,13	0,10	0,03	2,51	0,66	0,03	1,77	0,55	0,19	0,04	7,7	0,21	0,09	0,26	91	0,13
52	0,12	2,14	<d.l.	1,40	<d.l.	<d.l.	0,52	<d.l.	1,83	0,09	0,09	0,03	2,05	0,50	0,03	1,37	0,42	0,16	0,01	6,9	0,15	0,10	0,22	90	0,10
53	0,13	1,84	0,45	1,67	<d.l.	<d.l.	0,58	<d.l.	0,30	0,13	0,10	0,03	2,53	0,60	0,03	1,62	0,50	0,19	0,03	7,2	0,19	0,16	0,24	91	0,12
54	0,12	2,42	0,45	1,58	<d.l.	<d.l.	0,56	<d.l.	0,26	0,11	0,08	0,03	2,54	0,55	0,04	1,47	0,47	0,18	0,03	3,1	0,17	0,07	0,22	95	0,11
55	0,10	2,69	0,50	1,44	0,01	<d.l.	0,52	<d.l.	0,26	0,10	0,11	0,04	2,59	0,52	0,04	1,39	0,45	0,17	0,06	12,6	0,16	0,43	0,23	86	0,10
56	0,13	4,72	11,35	1,62	0,01	<d.l.	0,66	<d.l.	0,12	0,12	0,42	0,25	2,22	0,61	0,15	1,63	0,51	0,20	0,31	12,4	0,19	5,84	0,24	84	0,12
57	0,12	2,44	d.l.	1,58	0,01	<d.l.	0,52	<d.l.	0,14	0,13	0,09	0,04	2,09	0,56	0,03	1,48	0,47	0,18	0,18	3,3	0,17	0,16	0,26	95	0,11
58	0,14	4,48	11,15	1,50	0,01	<d.l.	0,66	<d.l.	0,08	0,16	0,38	0,25	1,76	0,58	0,20	1,47	0,49	0,22	0,36	3,7	0,19	5,51	0,25	93	0,11
59	0,10	4,29	9,81	1,29	0,01	<d.l.	0,52	<d.l.	0,06	0,14	0,33	0,23	1,39	0,47	0,13	1,23	0,40	0,16	0,41	2,9	0,14	5,06	0,23	94	0,09
60	0,11	4,38	8,10	1,45	0,01	<d.l.	0,58	<d.l.	0,12	0,10	0,34	0,23	1,44	0,52	0,12	1,38	0,43	0,18	0,06	6,6	0,16	5,15	0,21	90	0,10
61	0,10	4,63	10,38	1,39	d.l.	<d.l.	0,55	<d.l.	0,06	0,10	0,36	0,23	1,37	0,50	0,13	1,35	0,42	0,16	0,03	2,4	0,15	5,07	0,23	94	0,10
62	0,11	5,77	9,77	1,50	0,03	<d.l.	0,64	<d.l.	0,04	0,11	0,38	0,24	1,44	0,55	0,16	1,45	0,47	0,19	0,07	10,0	0,17	5,10	0,23	88	0,13
63	0,11	4,25	12,57	1,61	d.l.	0,09	0,59	<d.l.	0,04	0,16	0,41	0,35	3,60	0,55	0,14	1,55	0,51	0,18	0,28	3,2	0,17	6,42	0,32	94	0,17
64	0,12	4,56	12,00	1,54	0,01	0,03	0,59	<d.l.	0,05	0,16	0,44	0,26	3,70	0,55	0,13	1,47	0,50	0,18	0,06	3,7	0,17	5,83	0,25	94	0,11
65	0,12	3,88	10,05	1,41	0,01	<d.l.	0,56	<d.l.	0,03	0,16	0,34	0,22	3,33	0,53	0,15	1,35	0,49	0,19	0,03	3,1	0,17	4,81	0,23	95	0,13
66	0,11	4,51	11,80	1,46	0,01	<d.l.	0,58	<d.l.	0,03	0,12	0,38	0,25	1,49	0,53	0,13	1,42	0,45	0,18	0,06	4,8	0,17	5,61	0,25	93	0,11
67	0,11	3,82	10,34	1,44	0,01	<d.l.	0,58	<d.l.	0,03	0,11	0,37	0,27	1,39	0,52	0,14	1,36	0,43	0,17	0,04	4,3	0,16	5,96	0,23	93	0,10
68	0,09	3,96	12,44	1,32	0,01	<d.l.	0,52	<d.l.	0,03	0,11	0,38	0,29	1,37	0,48	0,14	1,24	0,39	0,16	0,03	4,1	0,15	6,97	0,24	92	0,09
69	0,11	3,37	8,79	1,50	0,02	<d.l.	0,59	<d.l.	0,03	0,18	0,33	0,23	1,40	0,55	0,18	1,42	0,49	0,19	0,84	2,3	0,17	4,73	0,24	95	0,11
70	0,11	6,61	15,97	1,43	0,01	<d.l.	0,59	<d.l.	0,03	0,14	0,45	0,27	1,11	0,53	0,16	1,37	0,45	0,19	2,80	2,0	0,16	6,10	0,23	94	0,10
71	0,11	4,33	11,19	1,60	d.l.	<d.l.	0,66	<d.l.	0,04	0,16	0,39	0,26	1,50	0,56	0,16	1,43	0,47	0,18	1,68	2,0	0,17	5,67	0,24	94	0,11

SIGLA	Li (mg/g)	Mg (mg/g)	Al (mg/g)	Ti (mg/g)	V (mg/g)	Cr (mg/g)	Mn (mg/g)	Fe (%)	Ni (%)	Cu (%)	Zn (%)	Ga (mg/g)	As (mg/g)	Rb (mg/g)	Sr (mg/g)	Mo (mg/g)	Ag (mg/g)	Cd (mg/g)	Sn (mg/g)	Sb (%)	Cs (mg/g)	Ba (mg/g)	Tl (mg/g)	Pb (%)	U (mg/g)	
<i>Proiettili interno</i>																										
29a	0,58	3,34	10,68	1,01	0,39	0,65	<d.l.	<d.l.	0,03	0,10	0,37	1,38	1,11	0,58	0,66	0,04	0,01	0,65	0,03	1,51	0,18	7,95	<d.l.	95	0,12	
31a	0,58	3,96	9,75	1,06	0,38	0,63	<d.l.	<d.l.	0,03	0,10	0,36	1,39	1,08	0,57	0,64	0,06	0,01	0,63	0,03	1,54	0,18	7,99	<d.l.	95	0,11	
32a	0,46	3,29	11,24	0,78	0,30	0,51	<d.l.	<d.l.	0,03	0,09	0,32	1,18	0,80	0,46	0,55	0,08	0,0001	0,50	0,03	0,03	0,14	6,91	<d.l.	97	0,09	
33a	0,67	4,13	15,40	1,20	0,45	0,75	<d.l.	<d.l.	0,18	1,03	0,43	1,44	1,18	0,67	0,73	0,06	0,01	0,72	0,04	0,03	0,20	8,18	<d.l.	95	0,14	
34a	0,51	4,17	13,14	0,92	0,34	0,56	<d.l.	<d.l.	0,18	0,97	0,39	1,39	0,92	0,51	0,61	0,02	0,001	0,56	0,02	0,03	0,16	8,15	<d.l.	95	0,12	
35a	0,50	2,94	11,31	0,92	0,33	0,56	<d.l.	<d.l.	0,12	0,56	0,46	1,10	0,89	0,50	0,54	0,03	0,001	0,55	0,02	0,03	0,15	6,17	<d.l.	96	0,10	
36a	0,61	4,11	16,11	1,03	0,41	0,70	<d.l.	<d.l.	0,05	0,26	0,48	1,69	1,20	0,60	0,69	0,01	0,01	0,67	0,06	0,04	0,18	9,72	<d.l.	95	0,12	
38a	0,58	4,09	11,38	1,03	0,40	0,65	<d.l.	<d.l.	0,03	0,12	0,37	1,48	1,05	0,58	0,66	0,01	0,01	0,65	0,04	0,03	0,18	8,42	<d.l.	96	0,12	
39a	0,49	4,85	13,60	0,93	0,33	0,56	<d.l.	<d.l.	0,03	0,10	0,39	1,33	0,86	0,49	0,56	0,01	0,01	0,53	0,03	0,02	0,15	7,86	<d.l.	96	0,10	
40a	0,47	3,66	11,20	0,78	0,32	0,57	<d.l.	<d.l.	0,03	0,34	0,47	1,37	0,83	0,47	0,55	0,02	0,01	0,50	0,03	0,03	0,15	7,97	<d.l.	96	0,13	
42a	0,46	3,11	10,82	0,76	0,30	0,53	<d.l.	<d.l.	0,02	0,10	0,33	1,23	0,88	0,46	0,52	0,01	0,01	0,50	0,11	1,53	0,14	7,30	<d.l.	95	0,09	
47a	0,15	1,57	<d.l.	1,61	0,01	<d.l.	0,61	<d.l.	0,24	0,13	0,10	0,04	2,17	0,62	0,03	1,70	0,51	0,21	0,04	0,003	0,21	<d.l.	0,24	98	0,12	
48a	0,17	2,49	<d.l.	1,92	0,01	<d.l.	0,70	<d.l.	0,25	0,15	0,13	0,04	2,47	0,72	0,05	1,92	0,60	0,26	0,08	0,001	0,23	0,02	0,26	98	0,14	
49a	0,20	3,48	<d.l.	2,41	0,01	<d.l.	0,90	<d.l.	0,34	0,20	0,15	0,06	3,23	0,91	0,06	2,42	0,75	0,31	0,05	0,01	0,30	0,46	0,30	98	0,18	
50a	0,16	1,70	<d.l.	1,56	<d.l.	<d.l.	0,59	<d.l.	0,23	0,20	0,09	0,04	2,13	0,59	0,06	1,53	0,51	0,20	0,18	1,61	0,24	0,32	0,26	97	0,11	
<i>Proiettili esterno</i>																										
29b	0,08	<d.l.	12,5	0,05	0,16	0,94	<d.l.	71	0,1	0,2	0,34	0,63	1,7	0,7	0,11	1,82	0,51	0,17	0,15	0,55	0,39	6,02	<d.l.	25	0,13	
31b	0,04	<d.l.	14,5	0,07	0,16	1	<d.l.	56	0,08	0,2	0,36	0,65	1,67	0,73	0,11	1,88	0,51	0,16	0,11	0,79	0,24	6,39	<d.l.	40	0,13	
32b	0,06	<d.l.	8,6	0,03	0,14	0,68	<d.l.	<d.l.	15	86	0,24	0,44	1	0,53	0,08	1,36	0,41	0,13	0,02	0,02	0,35	4,07	<d.l.	<d.l.	0,09	
33b	0,03	<d.l.	17,9	0,1	0,15	0,92	<d.l.	<d.l.	18	102	0,5	0,68	1,26	0,68	0,11	1,78	0,5	0,14	0,04	0,03	0,22	8,03	<d.l.	<d.l.	0,13	
34b	0,04	<d.l.	10,9	0,04	0,12	0,72	<d.l.	<d.l.	16	94	0,28	0,51	0,99	0,56	0,08	1,43	0,4	0,11	0,04	0,02	0,17	5,2	<d.l.	<d.l.	0,1	
35b	0,03	<d.l.	15,2	0,04	0,12	0,7	<d.l.	<d.l.	14	85	0,39	0,53	0,92	0,55	0,11	1,4	0,4	0,12	0,04	0,02	0,22	6,01	<d.l.	<d.l.	0,1	
36b	0,04	<d.l.	19,2	0,11	0,14	0,9	<d.l.	<d.l.	15	85	0,54	0,68	1,19	0,69	0,1	1,79	0,5	0,34	0,09	0,03	0,21	7,62	<d.l.	<d.l.	0,12	
38b	0,03	<d.l.	12,8	0,02	0,13	0,76	<d.l.	<d.l.	0,08	74	33	0,54	1,06	0,59	0,08	1,49	0,53	0,25	0,35	0,02	0,24	5,73	<d.l.	<d.l.	0,1	
39b	0,04	<d.l.	12,9	0,05	0,14	0,84	<d.l.	<d.l.	0,26	0,2	0,33	0,59	1,18	0,65	0,1	1,67	0,48	0,13	0,08	0,03	0,2	5,66	<d.l.	97	0,12	
40b	0,02	<d.l.	10,6	0,01	0,14	0,84	<d.l.	<d.l.	0,04	69	36	0,54	1,05	0,66	0,08	1,66	0,59	0,28	0,02	0,03	0,2	4,68	<d.l.	<d.l.	0,12	
42b	0,03	<d.l.	12,2	0,11	0,16	0,99	<d.l.	108	0,05	0,5	0,34	0,67	1,53	0,76	0,11	1,91	0,54	0,15	0,04	0,09	0,24	6,25	<d.l.	<d.l.	0,13	
47b	0,03	<d.l.	9,4	0,08	0,13	0,72	<d.l.	<d.l.	0,04	67	35	0,52	0,91	0,55	0,08	1,4	0,4	0,26	0,03	0,02	0,17	5,22	<d.l.	<d.l.	0,1	
48b	0,02	<d.l.	10,8	0,01	0,11	0,68	<d.l.	<d.l.	0,03	71	26	0,46	0,87	0,54	0,08	1,33	0,4	0,88	0,04	0,02	0,18	4,14	<d.l.	1	0,1	
49b	0,03	<d.l.	13,7	0,06	0,13	0,77	<d.l.	<d.l.	0,04	70	33	0,59	0,98	0,59	0,1	1,52	0,45	0,47	0,08	0,02	0,18	6,68	<d.l.	<d.l.	0,11	
50b	0,02	<d.l.	14,2	0,04	0,13	0,87	<d.l.	99	0,26	0,2	0,36	0,65	1,04	0,62	0,1	1,55	0,43	0,12	0,08	0,24	0,19	8	<d.l.	<d.l.	0,11	

a, parte interna proiettile

b, parte esterna proiettile

Tabella V Risultati dell'analisi multielementare per i campioni di sedimento, suolo e litologia.

CAMPIONI	%Na	%Al	%Mg	%K	%Ca	%Fe	Ba ppm	Ti ppm	V ppm	Cr ppm	Mn ppm	Ni ppm	Cu ppm	Zn ppm	Sn ppm	Sb ppm	Pb ppm	Cd ppm	Co ppm	As ppm	Mo ppm	Ag ppm	Li ppm	Ga ppm	Rb ppm	Sr ppm	Cs ppm	Tl ppm	U ppm
MARM5	0,008	0,33	2,87	0,07	33,4	0,99	13	42	12	7	992	12	15	61	1	0,44	131	0,08	4	7	0,42	0,08	3,3	1	4	257	0,52	0,25	0,59
MARM14	0,017	1,59	2,76	0,31	24,4	2,76	66	65	41	37	1388	37	49	295	10	2	720	0,59	12	9	1,36	0,59	17	4	21	216	2,41	0,73	1,21
MARM26	0,035	3,99	1,93	0,89	6,8	5,66	220	203	95	86	1442	73	135	514	26	5	1633	1,57	24	14	3,28	1,57	43	11	58	104	5,7	1,22	3,31
MARM32	0,008	1,3	0,91	0,26	29,8	2,16	41	53	34	14	1115	18	27	336	1	0,42	476	0,1	10	7	0,34	0,1	11	2	18	225	2,03	0,47	0,76
DOS1-I*	0,03	4,92	2,78	0,68	0,58	10,97	355	2561	89	96	757	85	110	266	1,58	0,71	52	0,32	30	21	3,27	0,23	90	17	65	89	8	0,38	7,39
DOS2-II	0,01	3,45	2,03	0,36	0,44	8,25	199	1852	61	66	551	61	99	222	0,84	0,62	47	0,27	23	22	2,33	0,25	62	10	35	59	5	0,18	5,04
DOS3-III**	0,02	4,18	2,5	0,47	0,49	10,38	258	2317	75	84	681	83	109	259	1,15	0,78	64	0,25	31	20	3,19	0,26	77	12	45	72	7	0,23	7,19
DOS4**	0,01	4,31	2,85	0,4	0,33	12,42	222	1566	77	118	605	91	120	258	1,51	0,84	60	0,21	29	31	4,04	0,3	81	12	46	43	7	0,29	6,55
DOS6	0,01	3,61	2,36	0,28	0,5	8,88	175	1669	60	71	648	117	108	233	0,71	0,64	45	0,33	43	12	2,72	0,25	71	9	28	56	5	0,18	5,86
DOS13**	0,01	3,31	2,18	0,4	0,35	8,43	199	1459	64	68	490	72	91	217	0,85	0,56	42	0,22	25	14	3,67	0,22	63	9	50	45	6	0,34	5,91
DOS14**	0,01	3,35	2,02	0,38	0,3	8,27	212	1485	64	66	476	60	81	204	0,59	0,5	40	0,2	21	17	2,98	0,22	59	9	46	44	6	0,29	5,57
DOS15	0,01	3,46	2,15	0,41	0,31	8,45	213	1340	67	69	584	94	104	235	2,52	0,55	43	0,32	40	12	3,58	0,16	68	10	48	52	6	0,37	6,65
DOS17	0,02	4,08	2,23	0,58	0,48	8,83	311	1884	79	78	669	104	96	233	1,19	0,51	50	0,33	42	12	3,21	0,19	73	13	60	79	7	0,44	7,99
DOS18**	0,01	3,02	1,79	0,38	0,27	7,02	209	1192	59	60	421	72	80	192	0,52	0,43	26	0,2	25	11	2,56	0,16	56	9	43	41	5	0,27	5,45
DOS19**	0,01	2,98	1,75	0,33	0,27	7,17	174	1104	57	58	406	55	66	184	2,51	0,57	52	0,14	19	12	2,59	0,17	52	8	38	39	5	0,26	4,62
DOS20	0,01	2,94	1,92	0,31	0,2	7,73	175	959	56	61	368	56	71	191	0,43	0,47	29	0,16	19	15	3,03	0,18	54	8	42	27	5	0,25	4,86
DOS23	0,01	2,26	1,41	0,22	0,24	6,18	91	716	42	46	317	55	80	161	n.d	0,5	44	0,11	18	13	2,03	0,18	41	6	27	25	4	0,15	4,49
DOS24	0,01	2,77	1,4	0,38	0,27	5,74	228	1196	53	50	398	66	65	168	0,57	0,39	20	0,19	26	9	2,06	0,11	48	9	37	44	5	0,21	4,8
FOR1	0,01	2,24	1,24	0,19	0,13	5,62	78	850	39	41	364	46	64	143	0,92	0,41	36	0,18	19	28	2,13	0,16	43	5	24	30	4	0,25	4,31
FOR2-I	0,01	2,24	1,26	0,16	0,16	5,44	76	686	38	38	360	38	47	140	0,35	0,34	20	0,15	16	18	1,67	0,11	44	5	19	25	4	0,21	4,54
FOR3-II	0,01	1,31	0,64	0,18	0,36	3,77	62	916	25	22	397	19	66	69	0,37	0,48	27	0,16	8	35	1,11	0,19	22	3	19	31	3	0,2	2,57
FOR6	0,02	2,5	1,34	0,42	0,28	5,17	176	1158	46	44	425	60	55	146	0,54	0,32	18	0,2	23	10	1,7	0,14	47	7	46	37	5	0,4	3,78
FOR12	0,01	2,31	1,43	0,23	0,31	5,68	103	1105	43	45	415	68	71	165	1,02	0,38	23	0,25	27	18	1,87	0,18	45	6	29	40	4	0,27	4,34
FOR15	0,01	2,12	1,26	0,29	0,33	6,17	144	1105	44	41	431	64	89	156	0,55	0,61	51	0,2	24	28	2,37	0,28	42	6	37	47	5	0,34	5,9
FOR18	0,01	2,48	1,33	0,33	0,27	5,09	195	1338	47	47	348	37	49	129	0,55	0,26	16	0,13	13	13	1,46	0,13	41	7	33	44	3	0,26	3,49
SFORZ1	0,02	2,57	1,67	0,84	0,48	6,29	200	1642	64	90	870	91	61	162	0,84	0,66	80	0,33	30	25	1,41	0,21	85	9	87	39	19	0,67	8,7
SFORZ2	0,02	2,85	1,91	0,96	0,49	6,9	240	1852	72	94	916	92	71	191	0,95	0,73	117	0,36	35	28	1,72	0,19	87	10	97	40	18	0,75	9,2
SFORZ3	0,02	2,57	1,73	0,74	0,51	5,66	228	1522	71	69	790	54	53	121	0,71	0,5	88	0,25	29	16	1,44	0,18	76	9	65	40	11	0,52	4,6
SFORZ6	0,03	3,23	2,26	0,67	0,8	6,85	218	2237	103	91	931	53	56	161	0,66	0,44	53	0,32	32	16	1,43	0,14	97	10	60	51	11	0,47	4,68
SFORZ8	0,02	1,28	0,75	0,33	0,54	3,18	76	1116	33	28	509	35	46	79	n.d	1,43	21	0,19	18	22	1,49	0,1	28	4	32	45	4	0,34	4,7
SFORZ9	0,03	3,54	2,32	0,98	0,62	7,6	327	2346	95	93	790	81	79	192	1,33	0,7	50	0,28	38	18	2,19	0,18	104	15	86	61	17	0,66	8,53
SFORZ12	0,02	3,07	2,12	0,82	0,4	7,66	284	1710	79	86	741	94	85	207	0,34	0,86	50	0,28	39	16	2,63	0,15	92	11	79	43	12	0,63	8,3
SFORZ15	0,02	1,96	1,25	0,58	0,52	5,89	164	551	48	55	925	62	39	132	1,35	2,77	60	0,22	23	14	1,43	0,07	86	7	60	56	21	0,46	17,24
SFORZ16	0,02	2,07	1,15	0,72	0,37	6,59	179	1420	55	68	1225	87	57	213	2,6	1,88	153	0,58	31	22	1,62	0,16	85	8	81	50	25	0,7	10,76
SFORZ21	0,01	1,41	0,77	0,42	0,45	3,45	79	1308	33	35	501	42	38	82	0,98	0,4	28	0,15	15	11	0,85	0,04	38	5	47	40	6	0,38	7,03
SFORZ22	0,02	2,07	1,32	0,63	0,43	5,46	159	1750	49	59	687	68	57	149	1,38	0,74	63	0,21	26	20	1,21	0,11	63	8	71	42	10	0,56	7,96
SFORZ25	0,01	1,81	1,14	0,24	0,23	4,13	50	1068	34	33	302	44	50	123	0,42	0,38	12	0,16	18	5	0,99	0,01	38	4	31	31	5	0,27	3,08
SFORZ26	0,01	3,2	1,36	0,96	0,12	6,56	278	1891	51	47	704	65	75	176	2,28	0,65	48	0,21	25	26	1,31	0,01	64	10	126	34	20	0,92	8,22

* LAYER DIVERSI DISTINTI DAI NUMERI ROMANI A SECONDA DELLA PROFONDITA'
 ** PRESENZA DI RESTI BELLICI

continua

MAND3	0,14	2,04	0,63	0,57	0,88	2,16	114	1403	51	15	520	7	6,5	48	2,18	0,14	15	0,03	5,7	1,81	0,33	0,03	33	10	38	43	3	0,2	6,37
MAND8	0,21	2,81	0,92	0,91	1,04	2,89	170	2263	67	14	804	5	4,1	62	2,81	0,07	9,9	0,04	7,7	1,52	0,16	0,03	51	15	60	56	4	0,32	7,65
MAND9**	0,27	3,66	1,34	1,42	1,22	4,2	302	3415	106	20	1118	7	7,4	91	3,72	0,14	13	0,06	11	1,77	0,23	0,03	66	22	90	67	6	0,47	7,59
PRE3	0,23	3,68	1,51	0,74	1,25	4,01	231	2595	114	21	772	7	6,7	94	1,29	0,05	11	0,1	14	1,35	0,08	0,04	50	18	49	77	5	0,28	1,5
PRE7	0,32	5,45	1,79	0,54	2,29	4,91	214	2922	126	27	985	9	8,9	114	1,31	0,09	11	0,1	16	3,29	0,1	0,05	56	23	35	118	4	0,2	4,63
PRE18	0,32	5,77	2,8	1,16	2,06	6,83	284	4341	207	25	1572	7	18	158	2,35	0,15	28	0,11	23	1,3	0,18	0,1	82	26	80	123	8	0,41	2,43
PRE23	0,11	1,89	0,74	0,22	0,82	1,96	86	1114	57	7	445	2	7,5	47	0,8	0,08	19	0,04	6,9	0,71	0,06	0,03	25	8	16	55	2	0,08	2,02
PRE26	0,28	5,02	2,05	0,73	1,8	5,31	261	3494	155	22	1175	7	15	130	4,34	1,68	40	0,15	18	1,91	0,17	0,09	64	23	54	125	6	0,28	3,5
PRE11	0,14	3,74	1,78	0,84	0,85	4,85	251	2951	133	27	863	14	26	181	6,95	1,28	44	0,16	17	3,11	1,07	0,16	55	20	61	64	7	0,38	1,84
PRE10	0,16	3,54	1,47	0,66	1,19	3,98	203	2570	108	21	695	10	15	96	4,35	0,86	24	0,07	13	1,88	0,66	0,06	44	17	41	65	4	0,23	2,12
PRESA5-I	0,34	5,41	2,35	0,99	1,78	6,32	308	4530	144	20	1381	7	12	133	2,64	1,03	13	n.d	22	4,03	0,27	n.d	80	27	82	111	6	0,37	5,99
PRESA6-II	0,28	4,52	1,94	0,78	1,54	5,13	241	3542	115	16	1121	6	11	109	2,86	1,13	9,2	n.d	18	3,52	0,16	n.d	67	22	63	93	5	0,27	5,23
PRESA7	0,17	2,46	0,94	0,35	0,98	2,57	137	1802	59	10	572	4	8,7	75	1,4	0,03	15	n.d	8,8	5,07	0,16	n.d	36	12	33	62	3	0,14	6,45
PRESA13	0,2	3,62	1,46	0,47	1,41	3,96	187	2536	83	14	845	5	10	88	1,55	0,06	13	n.d	14	2,8	0,15	n.d	54	17	39	95	4	0,16	4,98
PRESA26	0,19	2,71	0,99	0,52	1,13	2,78	171	2085	67	9	590	3	9	59	1,02	0	8,1	n.d	9,4	5,88	0,19	n.d	42	14	41	61	3	0,16	4,76
LEV2**	0,08	2,56	1,0	0,65	0,77	3,94	431	2028	92	32	819	17	26	176	6,11	1,18	346	0,52	10	5,64	1,36	0,26	45	15	71	74	6	0,79	17,15
LEV3	0,13	2,92	1,38	1,25	0,95	4,59	609	3492	95	18	1426	9	10	126	2,26	0,19	40	0,17	13	1,82	0,33	0,05	69	19	118	103	7	0,7	16,84
LEV4	0,15	3,46	1,62	1,64	0,97	5,12	711	4300	111	19	1514	10	11	113	2,09	0,03	16	0,05	15	1,53	0,26	0,05	82	23	154	111	9	0,83	19,24
MAND10-I	0,16	1,81	0,46	0,42	0,75	1,52	84	1219	36	8	418	3	2,9	43	1,56	0,07	8,9	0,08	4	1,3	0,13	0,03	27	8	29	41	2	0,16	3,66
MAND11-II	0,22	2,5	0,65	0,6	1,01	2,03	119	1774	48	11	593	4	2,5	47	4,67	1,85	6,6	0,12	5,6	1,35	0,09	0,03	37	12	40	57	3	0,3	4,87
PRE27-I	0,28	5,29	2,04	0,68	1,66	5,58	335	3146	148	30	1131	13	18	234	5,23	1,3	59	0,33	20	4,86	0,43	0,12	67	27	56	113	6	0,36	2,76
PRE28-II	0,32	5,45	2,3	0,88	1,73	6,06	355	4035	169	28	1225	10	13	122	2,38	0,33	25	0,12	21	2,94	0,2	0,07	74	28	74	117	7	0,42	2,04
PRE29-I	0,28	5,73	2,32	0,67	1,75	6,75	413	3240	166	35	1470	16	140	374	47,1	2,04	179	0,62	22	6,24	0,74	0,23	70	31	58	129	6	0,43	2,66
PRE30-II	0,18	3,19	1,31	0,49	1,06	3,55	226	2273	98	17	740	6	20	103	3,97	0,26	27	0,1	12	1,98	0,15	0,06	44	17	42	77	4	0,25	1,41
PRESA1-I	0,2	3,07	1,05	0,23	1,09	2,88	134	1542	67	15	634	7	12	123	14	32	56	0,25	10	3,8	0,44	0,13	35	14	27	68	3	0,19	5
PRESA2-II	0,11	1,68	0,61	0,17	0,62	1,7	83	866	38	9	418	5	8,8	78	3,06	0,83	35	0,13	6,3	2,42	0,21	n.d	22	8	19	40	2	0,12	3,05
PRESA3-III	0,27	4,13	1,71	0,72	1,42	4,6	227	3311	106	14	1024	5	10	103	2,13	0,34	10	n.d	16	3,4	0,13	n.d	61	20	63	88	5	0,29	5,69
PRESA4-IV	0,24	4,08	1,77	0,71	1,33	4,66	223	3087	104	15	1037	7	12	102	1,81	0,07	9,7	n.d	17	3,12	0,15	n.d	61	20	59	84	5	0,26	3,57
CAST1-I	0,15	6,76	1,59	0,93	2,25	5,23	473	2798	98	32	1354	16	80	227	26	9	1808	0,21	16	3,7	0,26	0,15	70	30	70	247	13	0,44	4,79
CAST2-II	0,16	7,28	1,69	0,99	2,47	5,53	532	2979	105	34	1456	16	97	231	27	8	1595	0,16	16	3,58	0,3	0,19	75	33	73	267	13	0,45	5,13
CAST3-III	0,14	7,6	1,76	1,02	2,5	5,69	539	2832	107	35	1531	15	84	236	24	8	1273	0,16	17	3,47	0,27	0,18	79	34	75	291	14	0,47	5,32
CAST4-I	0,13	5,85	1,27	0,76	1,92	4,27	551	1964	79	29	1246	17	75	185	22,96	1,96	400	0,35	13	3,44	0,41	0,19	59	30	69	275	12	0,44	4,73
CAST5-II	0,11	5,16	1,14	0,68	1,68	3,59	386	1652	65	22	1036	10	50	397	15,19	1,66	362	0,27	11	1,63	0,16	0,12	56	23	58	190	11	0,34	4,79
CAST6-III	0,12	5,64	1,28	0,69	2,03	4,06	472	1956	75	25	1098	11	63	156	17,73	0,98	223	0,09	13	2,09	0,23	0,12	62	27	55	250	11	0,32	3,87
CAST7-IV	0,08	3,71	0,8	0,49	1,37	2,59	270	1286	49	15	668	7	36	89	8,28	0,44	151	0,01	7,9	1,1	0,11	0,05	40	17	37	148	8	0,22	3,09
CAST8-I	0,21	6,43	2,28	1,56	1,52	8,15	5366	4147	155	62	1665	40	997	1827	147,11	9,58	1416	1,42	23	11	0,98	0,63	88	236	127	230	12	0,75	4,05
CAST9-II	0,16	5,88	1,61	0,91	1,38	5,82	1736	2609	106	44	1401	25	329	620	76,45	3,66	625	0,59	17	10	0,72	1,07	68	67	83	282	11	0,6	6,02
LSCU3**	0,07	5,01	0,77	0,25	0,26	3,49	125	1140	72	26	322	18	70	136	2,7	10,87	2210	0,21	9,1	10	1,26	0,15	28	10	30	32	5	0,67	2,82
LSCU1**	0,05	1,79	0,61	0,18	0,58	11,8	1001	348	55	85	n.d	80	377	616	903,45	16,34	2494	2,02	16	13	1,7	0,44	19	31	20	53	4	0,76	1,78
LSCU2**	0,07	4,17	0,85	0,34	0,34	5,06	417	884	69	39	415	37	187	206	36,74	6,23	470	0,32	12	14	1,32	0,2	32	15	42	46	5	0,47	3,07
LSCU4**	0,04	3,33	0,68	0,26	0,27	3,33	412	518	63	52	310	22	98	183	15,66	1,77	466	0,4	8,5	5,6	1,29	0,21	28	14	28	39	4	0,47	1,92
LSCU9**	0,06	4,28	0,96	0,35	0,7	3,26	299	1117			451	14	53	172	18,33	0,61	241	0,36	10	10	0,72	1,04	34	20	33	92	6	0,38	2,14
LSCU14-I**	0,02	1,86	0,34	0,1	0,24	1,97	220	74	32	20	161	14	149	151	76,14	4,58	376	0,17	4,3	6,39	0,99	0,22	13	13	13	23	2	0,21	1,13
LSCU15-II	0,01	2,25	0,46	0,14	0,11	2,0	94	307	41	18	179	14	24	63	2,01	2,15	55	0,08	5,9	6,46	0,83	0,09	18	11	17	15	3	0,24	1,55
LSCU16-III	0,02	3,81	0,44	0,12	0,1	2,12	72	511	44	17	176	12	18	50	1,1	1,69	19	0,06	5,8	5,94	0,87	0,09	17	13	17	15	3	0,22	2,45
LEV7	0,36	3,15	1,31	1,58	0,85	3,59	445	3241	100	12	1093	6	2,1	73	2,48	2,33	5,6	n.d	11	4,67	0,17	n.d	64	24	111	74	5	1,72	5,06
PRE4	0,3	3,2	1,3	0,93	1,15	3,38	247	2726	98	13	668	4	0,6	57	1,57	0,82	4,3	n.d	11	0,47	0,07	n.d	42	17	51	68	2	0,23	0,9
AVIO2	0,2	2,48	0,85	1,11	0,67	2,77	362	2417	56	10	784	5	16	65	4,8	3,69	6,9	n.d	7,1	3,57	0,13	n.d	62	21	72	46	3	0,58	0,8
PRESA8	0,35	3,79	1,33	1,44	1,2	4,15	621	3677	96	13	891	5	5	84	2,62	6,09	8,5	0,18	12	6,14	0,27	0,09	74	31	104	72	8	0,94	5,99
CAST10	0,18	2,44	1,02	1,46	0,53	3	301	2678	74	17	741	6	6,6	65	2,77	1,26	4,5	n.d	8,7	3	0,19	n.d	43	17	87	35	5,72	1,04	0,48

Tabella VI Risultati dell'analisi multielementare per i campioni di acqua.

CAMPIONI	Na ppb	Mg ppb	Al ppb	K ppb	Ca ppb	Fe ppb	Ba ppt	Ti ppt	V ppt	Cr ppt	Mn ppt	Cu ppt	Zn ppt	Sb ppt	Pb ppt	Cd ppt	Co ppt	Mo ppt	Li ppt	Ga ppt	Rb ppt	Sr ppt	Cs ppt	Tl ppt	U ppt
MARM2	108	258	2,5	472	4557	1,6	560	631	89	93	148	1418	1107	88	111	106	14	88	33	86	241	4295	9,117	12,1	20
MARM4	57	288	8,1	125	7835	1,6	422	27	70	76	1142	600	975	35	22	4	19	30	28	80	97	5753	1,355	4,0	14
MARM6	82	30	2,6	116	813	3,2	283	455	23	96	1156	792	3767	25	129	80	9,2	17	15	39	88	667	5,306	4,1	4
MARM11	23	320	3,3	110	6677	1,5	295	16	37	166	367	319	129	20	6	6	9,8	17	24	56	74	5007	0,9257	3,8	11
MARM16	85	1087	4,6	202	6390	1,8	359	50	72	84	586	577	446	45	12	2,9	18	38	37	71	137	5955	1,303	3,5	26
MARM18	90	84	9,3	821	4136	3	889	457	159	116	1507	990	2447	94	170	76	19	59	32	149	207	3574	7,99	10,2	10
MARM23	53	315	8,5	737	4832	3	271	195	72	81	514	522	44	29	11	4,2	11	37	26	51	148	4135	1,733	3,1	13
MARM25	71	347	10	751	5805	1,3	412	25	173	99	1742	753	140	48	32	1,6	19	65	28	79	191	4795	2,075	5,1	14
MARM28	62	959	4,8	175	8225	2,7	465	85	116	100	438	339	285	41	6	3,6	14	64	41	92	127	8763	1,505	5,2	36
MARM31	75	732	17	908	11360	2,1	713	75	139	100	779	725	1035	66	30	3,8	19	69	40	132	187	10440	2,022	10,1	39
LEV6	306	46	2,8	1188	886	3,6	343	202	337	97	569	386	373	28	14	13	8,1	319	230	66	677	906	3,255	2,5	74
LEV9	160	32	14	167	154	6,6	274	295	199	222	1424	546	805	35	36	5,3	37	45	56	47	110	300	2,246	1,4	11
LEV11	295	58	28	435	517	31	511	3023	393	153	2535	643	1795	26	38	12	22	122	332	95	479	1149	7,51	1,8	65
LEV13	277	50	10	998	498	11	296	953	467	95	1424	407	768	24	13	4	13	218	274	56	533	1004	3,707	1,1	43
AVIO6	387	141	223	1399	818	270	1517	26240	1517	171	5835	589	938	16	68	4	95	456	1000	354	839	815	43,63	3,2	108
AVIO4	595	266	365	1893	575	458	3555	54290	1696	303	17420	1422	2542	29	118	25	177	140	2513	766	1627	1466	76,72	7,9	307
PRES1a	525	164	199	1730	415	248	2144	30490	1495	187	11480	623	922	22	45	3,1	96	179	2389	452	1126	1179	44,71	4,4	223
PRESA10	174	60	6,5	895	828	7,3	245	431	311	140	761	363	609	17	26	29	9,6	453	256	55	538	921	2,825	0,8	6
PRESA12	149	59	25	341	1082	20	293	1372	293	143	1463	367	1255	23	60	22	14	140	240	71	313	980	6,282	0,8	34
PRESA15	270	74	10	1478	1317	5	150	300	463	121	1251	518	28	28	2	5,3	9,5	414	392	44	640	1159	4,786	1,1	45
PRESA17	279	67	14	1535	1548	6,8	140	550	561	137	1260	402	495	19	2	3,6	16	329	457	1,3	561	991	5,46	1,1	55
PRESA19	298	142	141	600	1712	180	1047	21780	1345	157	4266	247	555	22	44	6	68	284	839	244	737	1305	34,58	2,2	69
PRESA21	45	6,5	5,97	281	14	11	36	732	60	126	229	271	509	6,1	21	9,3	8,9	8,7	54	10	87	85	2,575	0,2	6
PRESA23	72	5,8	3,8	913	36	6,3	48	516	87	135	446	465	528	14	57	11	15	27	124	10	160	105	3,619	0,7	17
PRESA25	256	101	97	833	909	130	956	15130	688	146	5551	306	1081	13	44	19	59	312	792	212	584	936	22,52	2,2	33
PRESA28	447	188	248	1284	1226	333	1785	42400	1522	202	7009	266	583	18	54	5,3	117	558	1222	415	1094	1066	53,06	3,7	129
PRE02	164	59	4,6	962	1341	5,3	286	138	142	140	1822	747	22440	40	31	40	15	41	134	59	302	1007	6,111	1,6	23
PRE06	450	156	82	760	1904	83	449	6098	930	153	2495	339	1981	15	31	12	38	115	491	130	288	1272	10,42	1,0	745
PRE09	720	263	109	1120	3198	112	719	10210	1497	196	2433	563	2277	20	148	34	49	220	813	186	381	1975	14,98	1,4	1625
PRE13	91	38	18	549	1133	4,9	247	244	144	101	409	346	133	23	11	8	8,6	31	146	61	221	709	3,391	0,6	72
PRE15	42	18	2,9	177	479	3,5	75	88	32	106	434	226	561	17	23	7	6,4	15	106	19	154	289	4,242	0,5	4
PRE17	243	100	37	605	1559	34	275	2652	521	109	1341	287	463	29	29	6	17	61	331	74	275	941	6,356	0,6	171
PRE20	53	32	8,7	136	450	10,3	1131	371	197	126	2343	605	3333	93	62	27	12	30	113	277	65	466	1,342	0,2	5
PRE22	133	50	4,8	645	1773	4,5	119	228	515	103	442	191	37	26	0,4	2,9	5,6	24	113	29	150	675	1,176	0,4	29
PRE25	255	97	9,3	1152	2899	7,0	208	379	821	118	750	426	615	43	30	7,6	9,8	46	300	73	325	1135	2,619	0,6	64

continua

MANDR1a	105	16	42	992	40	35	255	3326	338	111	1390	560	440	12	59	6,2	16	43	375	58	195	142	7,497	1,2	89
MANDR8a	311	72	94	1518	457	94	701	9206	602	156	3507	998	699	24	61	4,2	35	243	623	161	686	727	15,95	1,6	91
MAND2	66	2,7	3,2	641	0,4	3,4	52	128	45	123	129	370	871	15	14	11	11	17	160	12	123	65	0,7809	0,2	14
MAND5	633	103	154	673	347	169	1260	16540	949	223	7704	908	3463	25	100	24	79	107	809	298	671	891	27,55	2,6	128
MAND7	256	86	155	1110	227	167	1191	17730	679	172	7035	547	2117	24	83	17	63	102	882	274	666	588	29,18	2,5	122
LSCU6	447	115	1,1	552	2080	2,2	770	24	284	110	918	411	2766	64	14	10	11	24	43	150	772	3609	3,549	2,5	0,3
LSCU8	287	60	2,6	844	1036	3,2	525	92	218	118	455	621	1698	39	51	20	9,2	23	40	103	459	1989	1,956	1,8	0,5
LSCU11	288	77	4,0	1243	1429	1,6	396	66	240	115	171	555	909	36	14	10	8,0	31	50	79	563	1850	2,092	1,1	0,4
LSCU13	243	62	2,0	436	1130	1,8	336	55	193	106	149	328	250	35	1,4	2,5	9,5	17	32	74	380	1420	1,706	0,9	1
LMAN2	991	140	2,9	685	4089	2,3	1025	98	1301	113	1466	260	857	47	11	5,7	16	597	89	220	812	3537	6,413	2,7	127
LMAN4	503	103	7,9	1081	2451	2,4	796	154	463	111	845	472	1215	41	13	4,1	12	135	51	171	743	2903	4,865	2,2	47
FOR5	255	2853	17	818	8753	23	2154	318	47	146	36460	418	413	33	9,2	3,1	326	38	2220	483	837	43500	28,45	4,5	65
FOR9	401	4351	10	1364	9806	14	3011	287	31	149	86300	608	649	42	6,9	17	1098	60	4471	635	1574	49310	36,16	8,4	73
FOR11	291	2576	7,3	1079	8199	8,5	2656	130	23	165	43960	688	4155	17	20	20	995	27	1533	636	681	41460	8,3	3,8	48
FOR14	106	341	4,2	1004	964	6,0	451	140	11	137	25470	795	3122	11	3,1	23	2120	11	928	88	885	4068	29,91	8,8	2,7
FOR17	375	3906	9,2	1187	9381	8,7	3585	130	35	151	41820	522	1306	51	7,6	13	364	93	3127	711	1282	50150	16,81	8,6	102
FOR20	436	3590	34	1967	10790	49	4488	950	78	200	41170	706	708	65	16	14	482	135	4278	868	2022	56250	24,47	10,3	38
FOR22	286	2108	29	589	6160	32	1896	403	48	187	29380	474	1095	28	39	6,1	272	38	1735	443	771	29890	12,91	4,1	53
FOR24	264	2862	61	1226	8538	81	2148	1441	94	222	43250	625	446	24	52	4,7	359	86	2310	485	1055	39110	37,8	5,8	99
DOS8	73	151	18	983	307	32	427,8	439	38	167	21160	488	628	16	7,9	6,8	509	17	962	93	401	1925	9,682	3,2	5
DOS9	68	302	24	708	597	36	541	505	43	178	30230	410	668	17	21	8,5	632	17	1211	123	443	3562	11,78	4,0	5
DOS12	249	1824	117	2294	4443	134	1850	5758	263	306	10020	1019	851	58	392	2,3	230	268	3578	409	2386	22050	64,73	11,6	70
DOS22	118	331	78	1994	513	111	707	2065	141	256	13650	821	782	27	40	6,4	293	61	1731	169	970	3128	31,9	7,5	12
SFORZ5	271	1226	29	2099	2805	36	1554	1290	101	180	8374	714	312	41	73	0,2	88	131	2555	334	944	11970	16,44	3,4	184
SFORZ11	337	1525	141	1703	5441	190	2873	5381	314	445	20710	688	1148	15	65	3,9	201	202	3075	630	1179	18150	78,15	6,1	430
SFORZ14	475	3742	17	1418	6030	16	1526	429	56	161	6898	944	717	35	19	2,5	69	162	4878	304	1081	42120	38,99	3,7	1406
SFORZ18	255	1537	73	1256	4060	102	3154	3784	187	263	12780	406	251	21	36	0,7	176	101	3022	659	1898	18370	48,57	6,0	95
SFORZ20	999	5004	4,2	2133	10500	5,8	4466	265	69	147	1392	1373	406	28	14	0,3	47	439	6169	893	2652	54680	18,19	3,6	178
SFORZ24	882	4388	21	1779	8702	31	4140	1265	104	198	2765	676	842	30	28	5,8	75	361	5149	848	2542	44880	28,56	3,9	207
SFORZ28	309	1146	49	1376	4075	64	1911	2734	197	221	2187	553	179	17	26	1,5	79	111	1817	390	2237	17450	42,73	4,8	69
SFORZ30	1254	5022	5,4	2713	10080	7,1	4762	288	74	160	2331	872	458	31	8,6	1,9	85	342	3351	970	4140	48810	24,22	5,5	138
SFORZ31	488	4802	40	1220	11350	51	5958	1872	150	206	13970	367	501	27	36	5,4	117	160	6286	1372	2046	62710	43,04	6,3	868
SFORZ33	44	178	5,7	758,3	906	8	326	234	23	158	1232	406	1139	11	36	13	27	22	279,6	70	458	3348	48	3,7	13
SFORZ35	41	76	8,7	586	372	2,8	141	40	23	144	266	368	522	7,5	42	1,5	13	14	95	35	194	1268	14,17	1,2	24
SFORZ37	1011	10090	23	4101	14230	23	4431	439	90	182	11450	1615	1187	82	42	7,4	83	262	11310	903	2868	83600	90,18	9,3	1013
SFORZ39	492	4024	81	1674	7729	112	4647	4898	236	295	11770	551	3185	31	80	6,1	170	167	5941	966	1629	41100	59,85	5,4	800
SFORZ41	114	793	72	536	2267	89	1456	2467	188	251	6183	410	1577	18	117	3,7	106	38	1380	361	986	11270	33,39	3,3	56
SFORZ43	729	4580	70	2249	8576	95	4716	3085	250	254	9536	522	527	34	51	3,7	135	282	6139	1022	2003	43320	44,79	5,3	514
SFORZ45	735	4399	117	2282	10120	166	5718	6066	381	357	12550	701	605	33	79	3,5	209	302	6543	1182	3228	48630	82,75	8,9	440
SFORZ47	687	4096	37	2217	10190	39	5482	1482	190	196	10040	524	838	35	56	2,8	104	298	5956	1107	3088	49090	31,02	7,5	414
SFORZ49	1401	5922	26	4013	11330	33	6701	1294	131	195	6904	1039	257	32	18	5,2	132	340	4277	1367	5373	54470	41,59	9,3	312

Tabella VI Risultati analisi isotopica dei rapporti $^{208/207}\text{Pb}$ e $^{206/207}\text{Pb}$, relativa SD, nei campioni bellici.

campioni	208/207	SD	206/207	SD	campioni	208/207	SD	206/207	SD
1	2,4690	0,0067	1,1800	0,0021	61	2,4510	0,0035	1,1610	0,0025
3	2,4703	0,0045	1,1810	0,0018	62	2,4430	0,0063	1,1580	0,0031
4	2,4593	0,0055	1,1703	0,0025	63	2,4750	0,0048	1,1920	0,0020
5	2,4537	0,0056	1,1717	0,0019	64	2,4730	0,0091	1,1870	0,0042
12	2,4713	0,0057	1,1807	0,0026	65	2,4770	0,0045	1,1930	0,0043
13	2,4740	0,0054	1,1857	0,0017	66	2,4630	0,0060	1,1730	0,0040
14	2,4513	0,0059	1,1607	0,0019	67	2,4640	0,0059	1,1730	0,0015
15	2,4360	0,0038	1,1490	0,0019	68	2,4600	0,0033	1,1750	0,0033
16	2,4300	0,0055	1,1430	0,0025	69	2,4600	0,0064	1,1750	0,0022
17	2,4360	0,0059	1,1480	0,0024	70	2,4560	0,0056	1,1740	0,0040
18	2,4310	0,0068	1,1480	0,0039	71	2,4590	0,0075	1,1710	0,0024
19	2,4360	0,0060	1,1500	0,0028	29a	2,4410	0,0057	1,1510	0,0019
20	2,4330	0,0027	1,1490	0,0038	31a	2,4350	0,0020	1,1460	0,0031
21	2,4520	0,0072	1,1760	0,0016	32a	2,4400	0,0032	1,1520	0,0028
22	2,4480	0,0029	1,1700	0,0013	33a	2,4520	0,0091	1,1640	0,0031
23	2,4470	0,0058	1,1600	0,0017	34a	2,4460	0,0087	1,1570	0,0035
51	2,4360	0,0093	1,1520	0,0042	35a	2,4380	0,0060	1,1560	0,0018
52	2,4420	0,0057	1,1570	0,0027	36a	2,4530	0,0084	1,1660	0,0036
53	2,4290	0,0079	1,1550	0,0037	38a	2,4340	0,0043	1,1430	0,0021
54	2,4680	0,0084	1,1880	0,0018	39a	2,4440	0,0072	1,1500	0,0033
55	2,4720	0,0056	1,1810	0,0030	40a	2,4480	0,0038	1,1530	0,0012
56	2,4650	0,0065	1,1780	0,0029	42a	2,4460	0,00537	1,1550	0,00228
57	2,4480	0,0044	1,1670	0,0022	47a	2,4540	0,0092	1,1710	0,0046
58	2,4560	0,0084	1,1740	0,0024	48a	2,4560	0,0074	1,1630	0,0018
59	2,4550	0,0070	1,1680	0,0035	49a	2,4390	0,0114	1,1570	0,0017
60	2,4480	0,0072	1,1570	0,0033	50a	2,4470	0,0042	1,1560	0,0015

Tabella VII Risultati analisi isotopica dei rapporti $^{208/207}\text{Pb}$ e $^{206/207}\text{Pb}$ e relativa SD, nei campioni di sedimento, suolo e litologia.

Campioni	208/207	SD 208/207	206/207	SD 206/207	Campioni	208/207	SD 208/207	206/207	SD 206/207	Campioni	208/207	SD 208/207	206/207	SD 206/207
MARM5	2,442	0,0061	1,162	0,0017	SFORZ12	2,492	0,0115	1,207	0,0055	PRE29-I	2,444	0,0070	1,168	0,0057
MARM14	2,436	0,0047	1,155	0,0021	SFORZ15	2,488	0,0040	1,217	0,0014	PRE30-II	2,449	0,0098	1,166	0,0048
MARM26	2,437	0,0093	1,161	0,0030	SFORZ16	2,460	0,0080	1,178	0,0045	PRESA1-I	2,462	0,0091	1,178	0,0037
MARM32	2,464	0,0057	1,173	0,0040	SFORZ21	2,508	0,0025	1,226	0,0044	PRESA2-II	2,447	0,0079	1,161	0,0040
DOS1-I*	2,500	0,0072	1,204	0,0042	SFORZ22	2,481	0,0046	1,208	0,0055	PRESA3-III	2,461	0,0038	1,174	0,0027
DOS2-II	2,493	0,0124	1,195	0,0033	SFORZ25	2,515	0,0060	1,223	0,0015	PRESA4-IV	2,473	0,0033	1,187	0,0015
DOS3-III**	2,496	0,0074	1,193	0,0037	SFORZ26	2,501	0,0076	1,209	0,0021	CAST1-I	2,446	0,0045	1,171	0,0029
DOS4**	2,491	0,0125	1,197	0,0059	MAND3	2,457	0,0088	1,178	0,0024	CAST2-II	2,469	0,0041	1,183	0,0041
DOS6	2,500	0,0157	1,201	0,0042	MAND8	2,477	0,0042	1,194	0,0027	CAST3-III	2,442	0,0121	1,160	0,0035
DOS13**	2,499	0,0128	1,211	0,0066	MAND9**	2,463	0,0090	1,183	0,0038	CAST4-I	2,452	0,0026	1,169	0,0014
DOS14**	2,506	0,0067	1,205	0,0064	PRE3	2,472	0,0021	1,186	0,0017	CAST5-II	2,445	0,0059	1,163	0,0018
DOS15	2,511	0,0160	1,211	0,0045	PRE7	2,478	0,0051	1,193	0,0039	CAST6-III	2,450	0,0034	1,167	0,0029
DOS17	2,500	0,0135	1,206	0,0061	PRE18	2,472	0,0061	1,190	0,0040	CAST7-IV	2,484	0,0051	1,200	0,0049
DOS18**	2,509	0,0053	1,213	0,0029	PRE23	2,469	0,0059	1,183	0,0010	CAST8-I	2,470	0,0051	1,198	0,0049
DOS19**	2,482	0,0106	1,190	0,0021	PRE26	2,464	0,0116	1,179	0,0035	CAST9-II	2,445	0,0048	1,165	0,0034
DOS20	2,511	0,0131	1,212	0,0057	PRE11	2,444	0,0095	1,165	0,0042	LSCU3**	2,450	0,0090	1,168	0,0050
DOS23	2,492	0,0130	1,198	0,0033	PRE10	2,443	0,0101	1,167	0,0023	LSCU1**	2,447	0,0082	1,166	0,0011
DOS24	2,502	0,0048	1,211	0,0019	PRESA5-I	2,479	0,0047	1,196	0,0042	LSCU2**	2,447	0,0058	1,164	0,0045
FOR1	2,504	0,0087	1,199	0,0044	PRESA6-II	2,736	0,0064	1,165	0,0033	LSCU4**	2,445	0,0057	1,164	0,0019
FOR2-I	2,507	0,0100	1,204	0,0018	PRESA7	2,466	0,0023	1,185	0,0030	LSCU9**	2,452	0,0066	1,163	0,0027
FOR3-II	2,498	0,0091	1,200	0,0032	PRESA13	2,473	0,0069	1,189	0,0031	LSCU14-I**	2,452	0,0062	1,166	0,0037
FOR6	2,510	0,0100	1,207	0,0032	PRESA26	2,481	0,0031	1,192	0,0029	LSCU15-II	2,450	0,0080	1,165	0,0065
FOR12	2,500	0,0055	1,205	0,0019	LEV2**	2,435	0,0060	1,159	0,0018	LSCU16-III	2,454	0,0127	1,163	0,0028
FOR15	2,498	0,0049	1,202	0,0068	LEV3	2,463	0,0110	1,183	0,0031	LEV7	2,483	0,0084	1,201	0,0019
FOR18	2,507	0,0023	1,209	0,0017	LEV4	2,475	0,0052	1,191	0,0025	PRE4	2,478	0,0106	1,194	0,0010
SFORZ1	2,476	0,0087	1,204	0,0036	MAND10-I	2,464	0,0069	1,183	0,0014	AVIO2	2,471	0,0105	1,184	0,0050
SFORZ2	2,465	0,0058	1,192	0,0018	MAND11-II	2,494	0,0054	1,205	0,0031	PRESA8	2,478	0,0084	1,198	0,0017
SFORZ3	2,462	0,0065	1,178	0,0045	PRE27-I	2,444	0,0062	1,159	0,0043	CAST10	2,480	0,0051	1,194	0,0027
SFORZ6	2,472	0,0043	1,190	0,0026	PRE28-II	2,460	0,0055	1,180	0,0040	FOR7	2,494	0,0025	1,188	0,0008
SFORZ8	2,491	0,0077	1,204	0,0027						SFORZ7	2,495	0,0061	1,194	0,0023
SFORZ9	2,487	0,0073	1,204	0,0037						MARM9	2,449	0,0111	1,198	0,0056

* LAYER DIVERSI DISTINTI DAI NUMERI ROMANI A SECONDA DELLA PROFONDITA' ** PRESENZA DI RESTI BELLICI