



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI SCIENZE MM. FF. NN.

Dipartimento di Geoscienze
Direttore Prof.ssa Cristina Stefani

TESI DI LAUREA MAGISTRALE
IN
GEOLOGIA E GEOLOGIA TECNICA

**IL RITIRO DEL GHIACCIAIO
DELLA MARMOLADA:
L'EVOLUZIONE DELLA FRONTE
DOPO LA PICCOLA ETÀ GLACIALE**

Relatore: Prof. Aldino Bondesan

Laureando: Stefano Benetton

ANNO ACCADEMICO 2015 / 2016

*Ai miei genitori,
ai miei fratelli,
ai nonni
ed a tutte le persone
che mi hanno aiutato a
crescere, facendomi
appassionare della vita
e di quanto essa di
bello propone.
Fra queste ringrazio i
professori che con
competenza e passione
mi hanno fatto
innamorare di questa
materia.*

Indice

1. Introduzione	pg. 7
2. Inquadramento geografico e storico	pg. 9
3. Inquadramento geologico	pg. 12
4. I Ghiacciai della Marmolada	pg. 19
4.1. I Ghiacciai	pg. 19
4.2. I Ghiacciai del gruppo della Marmolada	pg. 21
4.3. Il Ghiacciaio Principale della Marmolada	pg. 22
4.4. La Marmolada, da montagna inaccessibile, all'alpinismo, allo studio scientifico	pg. 25
5. Studi scientifici	pg. 27
5.1. Studi scientifici dalla fine dell'Ottocento ad oggi	pg. 27
5.2. Spessori e volumi	pg. 32
5.3. Velocità di scorrimento	pg. 34
5.4. Cartografia	pg. 35
5.5. Variazioni areali ed analisi GIS	pg. 37
6. Rilevamento delle fronti glaciali	pg. 60
6.1. Campagne glaciologiche e spostamenti frontali	pg. 60
6.2. Evoluzione delle fronti tra il 1902 ed il 1906	pg. 63
6.3. Evoluzione delle fronti tra il 1925 ed il 1938	pg. 67
6.4. Evoluzione delle fronti tra il 1951 ed il 1966	pg. 72
6.5. Evoluzione delle fronti tra il 1971 ed il 2015	pg. 79
6.6. Quota delle fronti	pg. 89
7. Archivio fotografico	pg. 93
7.1. Raccolta del materiale fotografico	pg. 93
7.2. Fronte orientale	pg. 96
7.3. Fronte centrale	pg. 103
7.4. Fronte occidentale	pg. 112
7.5. Confronti fotografici precedenti	pg. 121

7.6. Fotografie panoramiche	pg. 125
7.7. Flusso glaciale compreso tra Punta Rocca e Punta Penia e calotta sommitale di Punta Penia	pg. 140
7.8. Flusso glaciale proveniente dal versante nord-est di Punta Rocca	pg. 144
7.9. Costruzioni di ghiaccio	pg. 147
8. Conclusioni	pg. 152
9. Bibliografia	pg. 154
10. Ringraziamenti	pg. 160

1. Introduzione

Il seguente elaborato è stato ideato con l'intenzione di descrivere i mutamenti subiti dal Ghiacciaio Principale della Marmolada, dopo la Piccola Età Glaciale. Per raggiungere tale obiettivo sono state analizzate le oscillazioni subite dalle fronti del Ghiacciaio Principale della Marmolada. A ciò è stato affiancato lo studio delle variazioni areali del Ghiacciaio Principale e del Ghiacciaio Occidentale della Marmolada, e la raccolta e seguente archiviazione del relativo materiale fotografico. Sono stati inoltre riportati gli studi compiuti relativamente alla velocità di scorrimento e alla modificazione degli spessori del ghiacciaio.

I dati relativi alle oscillazioni subite dalle fronti sono stati raccolti dalla "Rivista di fisica, matematica e scienze naturali" (Toniolo, 1907) e dai bollettini del Comitato Glaciologico Italiano (C.G.I.), in cui il Ghiacciaio Principale della Marmolada compare a partire dal 1902. Successivamente sono stati elaborati per la creazione di tabelle e grafici che potessero rappresentare sinteticamente l'evoluzione degli spostamenti frontali che hanno coinvolto tale corpo glaciale. Dallo studio delle variazioni frontali si è cercato poi di ricostruire l'evoluzione del ghiacciaio, considerando in particolare la modificazione della superficie glacializzata.

Le informazioni relative all'area occupata dal Ghiacciaio Principale e dal Ghiacciaio Occidentale della Marmolada sono state ricavate dalla cartografia e da foto aeree e satellitari che riprendono la superficie glacializzata occupata tra la fine dell'Ottocento ed oggi. Per l'elaborazione dei dati ed il calcolo delle aree è stato utilizzato il software ArcGIS.

La raccolta bibliografica e fotografica è avvenuta nella città di Padova nelle biblioteche di Geoscienze, di Geografia e del seminario vescovile della Facoltà Teologica, e nella città di Torino, nella quale è stato svolto lo stage, nella sede del Comitato Glaciologico Italiano (C.G.I.) ed in quella del Club Alpino Italiano (CAI). A questo materiale vanno aggiunte le raccolte personali che nell'elaborato verranno descritte.

2. Inquadramento geografico e storico

Il complesso della Marmolada è posizionato nella zona centrale delle Dolomiti, circondato da importanti gruppi montuosi, quali il Latemar, il Catinaccio, il Sasso Piatto ed il Sasso Lungo, il Sella, le Tofane, il Pelmo, il Civetta e le Pale di San Martino.

Questo massiccio si distingue sia per la rilevanza geologica e geomorfologica, sia per quella botanico-naturalistica, tanto che la Marmolada è stata definita “la Regina delle Dolomiti” e successivamente è stata riconosciuta dall’Unesco come “patrimonio dell’umanità”. L’imponente versante sud della Marmolada si innalza per quasi mille metri di dislivello dalla valle Ombretta, creando una delle pareti più maestose, per sviluppo verticale e laterale, di tutte le Alpi.

Considerato a livello geografico, il gruppo della Marmolada comprende l’insieme dei rilievi montuosi situati tra la val di Fassa ad ovest e la valle del Cordevole ad est, di cui le relative vallate laterali si uniscono a nord al passo Pordoi ed a sud al passo di San Pellegrino.

Le diverse denominazioni, Marmolada, Marmoleda, Marmolata, che talvolta possono determinare confusione, evidenziano in realtà un ricco crocevia di lingue e culture che, dalla colonizzazione medievale, hanno caratterizzato tale complesso montuoso. Nell’articolata vicenda storica che l’ha vista protagonista, emerge il ruolo svolto durante il primo conflitto mondiale. Il confine tra l’Italia e l’impero austro-ungarico, passante esattamente per questo massiccio, si trasformò in ostile frontiera. Per difendersi dal nemico italiano, venne ideata e creata, ad opera dell’ingegner Leo Handl, la “Città di Ghiaccio”, incredibile costruzione di gallerie, saloni, dormitori, baracche, mense, con un totale di oltre dodici chilometri complessivi di cunicoli posti integralmente all’interno dell’enorme massa glaciale.

Le dispute riguardo il confine continuarono però, in diversa forma, anche nella seconda metà del Novecento, stavolta nella contesa tra Veneto e Trentino, tra modelli di sviluppo contrapposti e tra avveniristici progetti idroelettrici e turistici, cause innescanti negli anni Ottanta di dure battaglie per la salvaguardia ambientale. A livello amministrativo, è servito arrivare al nuovo millennio per trovare un accordo tra le parti, risolvendo ufficialmente il contenzioso sulla linea di confine, mediante il Protocollo d'intesa firmato il 13 maggio 2002, nella stazione di Serauta, nel quale il Veneto ha ceduto la superficie del ghiacciaio alla Provincia di Trento.

Nelle immagini successive è possibile osservare la localizzazione della Marmolada, mediante una serie di ingrandimenti successivi. Le fotografie, scattate nel 2015, sono state tratte da Google Maps e da Bing Maps.

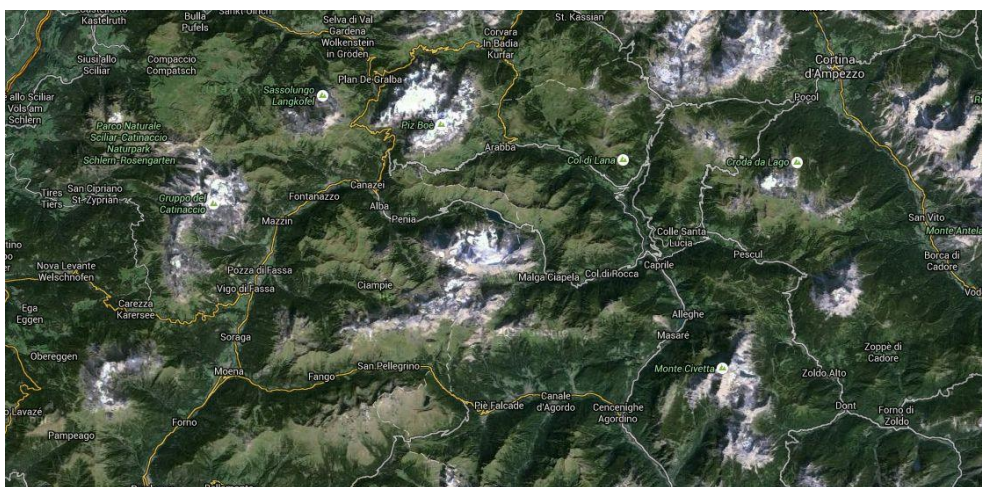


Fig. 2.1.: Immagine relativa al gruppo della Marmolada, circondata dalle principali vette dolomitiche.



Fig. 2.2.: Immagine relativa al massiccio della Marmolada e del Gran Vernel.

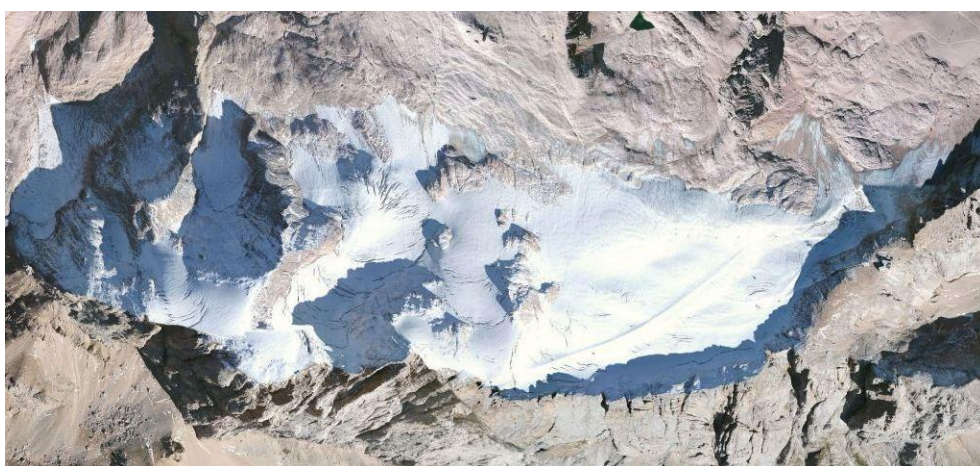


Fig. 2.3.: Immagine relativa al Ghiacciaio Principale ed al Ghiacciaio Occidentale della Marmolada.

3. Inquadramento geologico

La Marmolada racchiude quasi completamente la complessa evoluzione geologica delle Dolomiti, conservando nella sua sequenza stratigrafica la storia degli ambienti marini e continentali succedutisi, che le conferiscono l'aspetto attuale.

Il contrasto tra le chiare pareti rocciose calcaree, che poggiano sulle morbide ondulazioni delle scure formazioni vulcaniche, è uno degli elementi più caratteristici dello scenario dolomitico. Nella storia geologica dell'area si sono infatti susseguiti diversi paesaggi, dai vulcani paleozoici agli atolli tropicali triassici, che successivamente hanno dato forma ad una ricca fauna fossile, importante soprattutto per le ammoniti, i bivalvi, i gasteropodi ed i brachiopodi. Le ripetute oscillazioni del livello marino hanno determinato il sovrapporsi di processi che si realizzarono alternativamente in ambiente subacqueo e subaereo. I magmi vulcanici ladinici hanno ricoperto vastissime aree, penetrando dalla crosta profonda o dal mantello attraverso fratture presenti nelle rocce, e colmando depressioni e valli. Infine, le spinte di direzione opposta della placca adriatica ed euroasiatica, con le deformazioni, le faglie, le pieghe ed i sollevamenti, hanno modellato le cime ed impostato le tracce dei futuri solchi vallivi, generando paesaggi unici nel loro genere, costituenti un'attrazione per moltissimi punti di interesse, tra cui spiccano per importanza quello geologico, botanico-naturalistico, energetico e turistico.

Le formazioni rocciose qui presenti si sono formate in un arco temporale molto lungo, dal Permiano, all'Anisico medio-superiore, al Ladinico, come visibile rispettivamente in val Franzedaz, in valle Ombretta, sulla Marmolada e sul Sasso Vernale.

Le lave e le ignimbriti paleozoiche, formatesi nel Permiano tra 285 e 275 milioni di anni fa, costituiscono in assoluto le più antiche formazioni rocciose del gruppo della Marmolada. Queste rocce, caratterizzate dalla tipica colorazione rossastra-

violacea affiorano nel settore meridionale dell'area in analisi, ovvero sulla catena di Bocche, lungo il torrente Biois e sulla zona compresa tra il passo di San Pellegrino e Moena.

Le articolate morfologie delle vulcaniti furono rese più dolci dalla deposizione delle arenarie di val Gardena, nel Permiano superiore. Queste rocce, derivanti dall'erosione e dallo smantellamento dei porfidi e trasportate dai fiumi, si sono deposte in un ambiente continentale; esse sono costituite da conglomerati, arenarie da grossolane a fini, siltiti e peliti. Queste arenarie testimoniano una trasgressione marina, che ricoprì le aride pianure del Permiano a seguito di uno sprofondamento generalizzato che interessò tutta la regione. Il loro spessore varia nel gruppo della Marmolada tra i 40 ed i 100 metri.

Col passare del tempo, l'avanzamento del mare verso occidente determinò una transizione dall'originaria pianura alluvionale, ad un ambiente marino tropicale, caratterizzato da acque calde e poco profonde. Qui, nel Permiano superiore, si depositarono i gessi e le dolomie della formazione a Bellerophon, come conseguenza della forte evaporazione causata dal clima tropicale, fino a che, a seguito dell'innalzamento del livello del mare, fu possibile l'inizio della deposizione di formazioni carbonatiche caratteristiche di mari più profondi.

Continuando l'evoluzione della storia stratigrafica dell'area, la formazione di Werfen, appartenente al Triassico inferiore, testimonia il susseguirsi di almeno quattro regressioni e trasgressioni marine in ambiente di mare poco profondo, attraverso la caratteristica sequenza di rocce policromatiche fittamente stratificate, di natura terrigena e carbonatica. Il Werfen risulta pertanto essere un'unità particolarmente articolata, tanto da essere stata suddivisa in nove sottounità, visibili nella loro complessità e bellezza, negli affioramenti sotto le cime dell'Auta, del Col Ombert e del Col Becher. Il livello basale di questa formazione è detto Orizzonte di Tresero, e marca l'inizio dell'Era Mesozoica, risalente a 251 milioni di anni fa, mentre i membri superiori, caratterizzati da rocce sedimentarie di varia origine, registrano appunto una sequenza di trasgressioni e regressioni

marine. Nel gruppo della Marmolada il Werfen affiora in successioni complete a sud della cima di Costabella e nella valle del Biois.

All'inizio dell'Anisico, circa 245 milioni di anni fa, iniziò un periodo di differenziazione degli ambienti, come conseguenza di un'importante fase tettonica che coinvolse tutte le Dolomiti e ne causò la frammentazione in bacini profondi, alternati ad aree emerse ed a scogliere tropicali, laddove le condizioni ambientali lo rendevano possibile. Questi eventi generarono quindi una notevole differenziazione degli ambienti deposizionali. La formazione di Werfen, appena depostasi, fu interessata dall'erosione di alcuni dei suoi membri più recenti, i cui prodotti del disfacimento, trasportati da corsi d'acqua, in un ambiente semiarido, andarono a colmare, seppure in modo discontinuo, le depressioni e le valli presenti. La deposizione di questi ciottoli, derivanti da rocce di diversa origine, formò il conglomerato di Richthofen.

Alla fine dell'Anisico, i fondali marini subirono un veloce abbassamento, determinando un sostanziale cambiamento della geografia, con la formazione dei primi atolli tropicali, separati da bracci di mare poco profondo, che si innalzavano per centinaia di metri dai fondali marini. Le caratteristiche adatte al massimo sviluppo delle scogliere coralline, ovvero la presenza di acque calde, limpide e ben aerate, erano rispecchiate dalla nuova fase presente nell'area dolomitica. Per mantenere tali condizioni di profondità dal pelo dell'acqua, vista la continua subsidenza dell'area, le scogliere carbonatiche continuarono ad accrescersi pressoché verticalmente. Si tratta della formazione dello Sciliar, risalente all'Anisico-Ladinico, che forma, con svariate centinaia di metri di spessore, la notevole impalcatura dei più famosi gruppi dolomitici, tra cui la Marmolada, le Pale di San Martino, il Catinaccio e lo Sciliar. Nel gruppo della Marmolada le scogliere carbonatiche hanno conservato le strutture sedimentarie originali, costituendo siti di altissimo valore scientifico. Lungo il pendio nord della Marmolada, nei pressi del Pian dei Fiacconi, è possibile osservare la presenza di calcari con i resti fossilizzati degli organismi, tra i quali rivestono particolare

importanza gli ammonoidi, che trovavano il loro habitat sui fianchi delle piattaforme triassiche.

Durante lo stesso periodo, nei bacini si stavano depositando calcari nodulari grigi e sedimenti grossolani, insieme a sottili strati di ceneri vulcaniche, testimoniando una precedente antica attività eruttiva; tale unità assume la denominazione di formazione di Livinallongo.

Nel Ladinico superiore la ripresa dell'attività vulcanica sconvolse gli ambienti di scogliera, con la formazione di due nuovi vulcani, uno situato vicino a Predazzo e l'altro nei pressi della val San Nicolò, che portarono all'emissione di colate basaltiche, in ambiente prevalentemente subacqueo. Le colate furono spesso accompagnate da frane sottomarine di grandi dimensioni. Le lave, spesse anche centinaia di metri, hanno originato la formazione di Fernazza, mentre il materiale caotico ed eterogeneo contemporaneamente presente rappresenta la parte restante degli accumuli delle grandi frane sottomarine. L'attività vulcanica durò relativamente poco, imprimendo però un radicale cambiamento alla topografia regionale, seppellendo le scogliere carbonatiche sotto enormi volumi di rocce ignee, ricolmando i bacini che precedentemente separavano gli atolli. Tali depositi vulcanici e vulcanoclastici si sono conservati nell'originale complessità morfologica (Carton e Varotto, 2011).

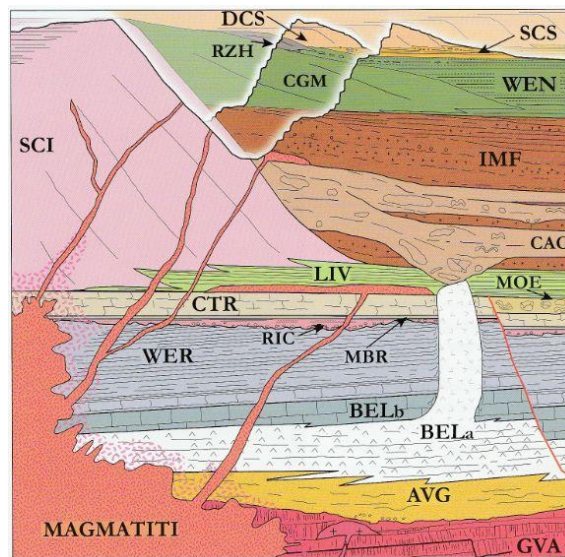
Nella fase successiva emersero le scogliere, i banchi carbonatici e gli edifici vulcanici, con lo smantellamento dei nuovi rilievi e la conseguente deposizione di grandi conoidi costituiti prevalentemente da ciottoli vulcanici. Tale materiale detritico grossolano si depositò nei bacini, formando il conglomerato della Marmolada, mentre i materiali più fini costituirono la formazione di Wengen. La demolizione delle vulcaniti è racchiusa nelle successioni stratigrafiche, visibili negli affioramenti del Padon, Piz Zorlet e Sasso Bianco. Attorno alle aree emerse, si andarono a formare piccole scogliere ricche di coralli e spugne, che crearono la formazione di Rotzhanne, apprezzabile al Col Rossi ed al Sass Beccè.

La successiva espansione delle piattaforme carbonatiche è testimoniata dalla dolomia Cassiana e dalla formazione di San Cassiano, formatesi nel Carnico inferiore, quando coralli, alghe e spugne divennero sempre più numerosi.

Una complessa e sviluppata tettonica condizionò fortemente la storia geologica del gruppo della Marmolada, incidendo sulla distribuzione dei bacini e delle scogliere, sullo sviluppo del magmatismo e sui meccanismi di sedimentazione. Il raccorciamento crostale dovuto alle ultime due più importanti fasi tettoniche, la Mesoalpina, compresa tra l'Eocene e l'Oligocene inferiore, e la Neoalpina, determinò la collisione tra le piattaforme della Marmolada e del Vernel che, piegate e deformate a causa degli sforzi compressivi, sovrascosero sulla scarpata deposizionale della piattaforma dell'Ombrettola, modificando profondamente l'originaria organizzazione paleogeografica triassica. Tra il Miocene superiore ed il Pliocene, un'ulteriore fase deformativa riattivò le antiche faglie e creò nuove fratture. Talvolta i raccorciamenti portarono a deformare i sedimenti interposti tra le piattaforme, come avvenne ai piegamenti ed ai raddoppi della successione sedimentaria alla base della parete sud della Marmolada e del Vernel.

L'ultimo assetto tettonico-strutturale ha governato l'evoluzione dei rilievi del gruppo della Marmolada durante tutto il periodo del Quaternario. La morfologia delle vallate è stata modellata ulteriormente dalla più recente azione erosiva compiuta dai ghiacciai; un eclatante esempio è costituito dalla valle Ombretta, valle glaciale sospesa che conserva la caratteristica forma ad U, e che si getta poi, mediante cascate, sulla sottostante val di Franzedaz. Nell'area in analisi, l'azione ad opera dei corsi d'acqua si può invece apprezzare in tutta la sua forza e bellezza, nelle profonde incisioni alla base delle scarpate degli antichi atolli, come lungo la forra dei Serrai di Sottoguda, in val Pettorina.

Nelle pagine seguenti sono rappresentati lo schema della successione stratigrafica affiorante nel gruppo della Marmolada, con la legenda delle varie formazioni presenti, la carta geologica con scala 1:50.000, ed il profilo geologico tra il passo di San Pellegrino ed il torrente Cordevole.



Schema della successione stratigrafica affiorante nel gruppo della Marmolada, lungo due ipotetici profili topografici: nel primo è rappresentata la successione in una sezione dalla Marmolada al Sasso Bianco (sezione circa ovest-est), nel secondo dalla Marmolada al Sass Beccè (sezione circa sud-nord). Sigle dall'unità stratigrafica più antica:

GVA Gruppo Vulcanico Atesino

AVG Arenarie di Val Gardena

BEL Formazione a Bellerophon a) facies evaporitica, b) facies carbonatica

WER Formazione di Werfen

RIC Conglomerato di Richtshofen

MBR Calcari scuri di Morbiac

CTR Formazione di Contrin

MOE Formazione di Moena

SCI Formazione dello Sciliar

LIV Formazione di Livinallongo (Buchenstein)

IMF Formazione di Fernazza

CAO "Caotico eterogeneo"

WEN Formazione di Wengen

CGM Conglomerato della Marmolada (WEN)

RZH Formazione di Rotzhänne

SCS Formazione di San Cassiano

DCS Dolomia Cassiana

Le magmatiti sono principalmente coeve alla IMF così come l'aureola metamorfica di contatto.

Fig. 3.1.: Schema della successione stratigrafica affiorante nel gruppo della Marmolada (Carton e Varotto, 2011).

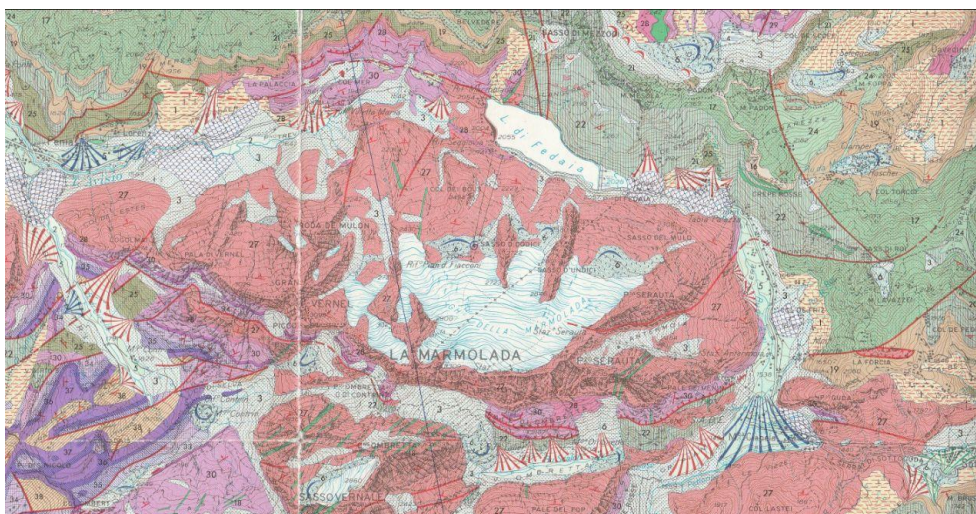


Fig. 3.2.: Carta geologica d'Italia (Brondi et al., 1977).

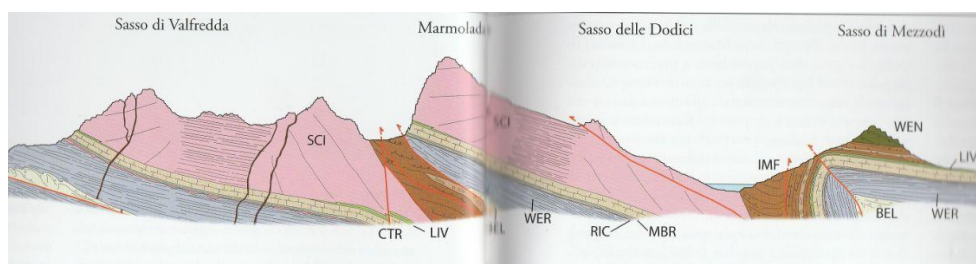


Fig. 3.3.: Profilo geologico tra il passo di San Pellegrino ed il torrente Cordevole (Carton e Varotto, 2011).

4. I Ghiacciai della Marmolada

4.1. I Ghiacciai

L'elemento fondamentale per la formazione di un ghiacciaio è la parziale permanenza, oltre la quota che rappresenta il *limite delle nevi permanenti*, della neve caduta durante la stagione fredda. La successione delle coltri nevose depositatesi nelle varie stagioni ed i complessi processi metamorfici che interessano la struttura cristallina e le proprietà fisico-meccaniche, portano la neve depositata a trasformarsi dapprima in *nevato*, materiale a struttura granulare dall'elevato peso specifico, e quindi in ghiaccio di ghiacciaio. Una caratteristica fondamentale per la formazione di un ghiacciaio è la presenza, oltre il limite delle nevi permanenti, di superfici che, dal punto di vista topografico e morfologico, siano idonee ad ospitarlo, come altipiani, conche, circhi, versanti con bassa pendenza. Queste morfologie spesso contraddistinguono la tipologia dei ghiacciai.

Raggiunta una certa massa, il materiale accumulatosi inizia a scendere verso valle, grazie alla forza di gravità, oltrepassando il limite delle nevi permanenti. Tali elementi costituiscono un *ghiacciaio*, sul quale si distingue una parte superiore, detta tecnicamente *zona di alimentazione*, ed una inferiore, detta *zona di ablazione*. Sulla parte superiore, posta sopra il limite delle nevi permanenti, detta per i ghiacciai *linea di equilibrio*, prevalgono fenomeni di accumulo della neve, mentre su quella inferiore, posta sotto tale limite, sono prevalenti fenomeni di fusione.

Un concetto fondamentale nella definizione di un ghiacciaio è il *bilancio di massa*; esso rappresenta la differenza tra i guadagni e le perdite di massa verificatesi in un'*annata di bilancio*, generalmente compresa tra l'inizio dell'autunno, con le prime precipitazioni nevose, ed il termine dell'estate successiva, in cui si verifica il culmine dell'ablazione. I guadagni di massa, o *accumuli*, rappresentanti l'*alimentazione diretta*, derivano essenzialmente dalle

precipitazioni nevose, dalla neve trasportata dal vento e dalle valanghe. Le perdite di massa, o *ablazione*, invece derivano in particolare dalla fusione, dall'asportazione di neve da parte del vento, dal distacco di masse di ghiaccio dalle fronti.

Alla fine dell'annata di bilancio, il bilancio può essere in *equilibrio* se i guadagni e le perdite di massa si equivalgono, *positivo* se prevalgono i guadagni, *negativo* se prevalgono le perdite. Le grandezze che concorrono a formare il bilancio e che vengono direttamente valutate sulla superficie glaciale, vengono espresse in *equivalenti in acqua*, e vengono misurati come volumi (m^3) e come altezza (mm). Al susseguirsi di bilanci positivi la massa glaciale incrementa, con un'*avanzata* della fronte, viceversa la massa si riduce, con un *ritiro* della fronte.

I ghiacciai, con tempi di reazione di diversa entità, tendono ad equilibrarsi col clima presente, variando conseguentemente la propria massa. Tale tendenza si rispecchia abitualmente con la variazione della posizione della fronte, che si può pertanto considerare un fedele indicatore climatico. Infatti è il clima il fattore determinante dell'esistenza e della conseguente dimensione dei ghiacciai.

4.2. I Ghiacciai del gruppo della Marmolada

Il gruppo della Marmolada possiede vari ghiacciai, di estensione e forma diverse. Il Catasto dei Ghiacciai stilato dal Comitato Glaciologico Italiano (Comitato Glaciologico Italiano, 1962) registrava nel 1962 la presenza di ben 8 ghiacciai: il Ghiacciaio Principale della Marmolada, il Ghiacciaio Occidentale della Marmolada detto anche Ghiacciaio del Vernel, i Ghiacciai Orientali del Vernel, il Ghiacciaio Settentrionale Inferiore del Vernel, il Ghiacciaio Settentrionale Superiore del Vernel, la Vedretta Vernale, il Ghiacciaio di Cima Cadina ed il Ghiacciaio dell'Uomo (Carton e Varotto, 2011). Il World Glacier Inventory (Comitato Glaciologico Italiano, 1982) e la Società Alpinisti Tridentini (SAT), ne indicano diversi numeri, per i diversi criteri adottati nella classificazione dei ghiacciai, e per le trasformazioni nel tempo innescate dalle variazioni del clima.

Nella recente storia, il periodo più favorevole all'espansione glaciale si è verificato durante la Piccola Età Glaciale (PEG), arco temporale che va dalla metà del XVI alla metà del XIX secolo, quando si verificò un abbassamento della temperatura media terrestre nell'emisfero settentrionale. Durante questo arco temporale venne registrato un graduale avanzamento dei principali ghiacciai e la formazione di nuovi corpi glaciali, che invece nel periodo precedente si erano notevolmente ritirati o erano scomparsi. Tali ghiacciai arrivarono al culmine della loro estensione intorno alla metà del XIX secolo, quando le temperature ripresero ad aumentare causando una nuova riduzione della massa dei ghiacci. Nell'ultimo secolo infatti la superficie del Ghiacciaio Principale e del Ghiacciaio Occidentale della Marmolada si è ridotta ad un terzo, dimezzandosi negli ultimi cinquanta anni, e continuando nella drastica accelerazione dei processi di ablazione dagli anni Novanta in poi, con valori record di temperatura registrati nelle annate 2003 e 2015.

4.3. Il Ghiacciaio Principale della Marmolada

Il Ghiacciaio Principale della Marmolada è il più importante ed esteso ghiacciaio dell'intero gruppo, catalogato con il numero 941 nel Catasto dei Ghiacciai Italiani (Comitato Glaciologico Italiano, 1962). Esso ricopre la porzione più elevata del versante settentrionale della Marmolada, sviluppandosi principalmente in larghezza, con una fronte frastagliata ed in continua veloce evoluzione, larga circa 2,5 chilometri, limitata ad est dalla lunga cresta del Serauta, ed a ovest dall'articolata cresta nord di punta Penia. La catalogazione del World Glacier Inventory (Comitato Glaciologico Italiano, 1984), definisce il ghiacciaio come un ghiacciaio di pendio e lo considera adagiato sulla superficie strutturale della formazione dello Sciliar, immergente verso nord, con una pendenza media del 53%.

La sua ragguardevole estensione, la posizione idrografica, la situazione nei confronti dei confini, la relativa facilità degli accessi ed il fascino dell'ambiente, hanno dato sin dall'Ottocento grande notorietà al Ghiacciaio della Marmolada.

Dal punto di vista idrografico il ghiacciaio appartiene a due bacini: ad ovest alimenta le sorgenti del torrente Avisio, affluente di sinistra dell'Adige, mentre ad est quelle del torrente Pettorina, confluyente nel Cordevole, affluente di destra del Piave.

Oltre alla tradizionale suddivisione del bacino ablatore del Ghiacciaio della Marmolada in tre lingue, nonostante oggi la sua fronte termini più a monte delle creste rocciose del Sass delle Undici e del Sass delle Dodici che le separavano, le valutazioni contenute nel World Glacier Inventory stabiliscono ulteriori delimitazioni del corpo glaciale. Infatti il Ghiacciaio Principale della Marmolada, sulla base della sua morfologia, dell'orografia e dei flussi di ghiaccio, è stato suddiviso in vari tratti.

Andando da occidente ad oriente, in seguito sono elencati i diversi settori presenti:

- il primo è racchiuso nel circo a nord di punta Penia;
- il secondo presenta un flusso glaciale che scende nel vallone compreso tra punta Penia e punta Rocca verso il Pian dei Fiacchi;
- il terzo è costituito dalla massa glaciale che proviene dal versante nord-est di punta Rocca, ormai frazionatosi in seguito alla comparsa di varie finestre rocciose, a causa della perdita volumetrica avvenuta anche nella parte alta del bacino glaciale;
- il quarto origina da punta Rocca e si dirige con direzione posta tra il Sass delle Dodici ed il Sass delle Undici, terminando però oramai prima dell'arrivo a queste creste rocciose;
- il quinto è alimentato dal ghiaccio proveniente dalle creste di Ombretta e Serauta, occupando la parte più elevata del vallone tra il Sasso delle Undici e la punta Serauta, continuando in forma di lembi di ghiaccio non sempre connessi tra loro, sotto la cresta di punta Serauta, sopravvivendo ancora in tale area grazie all'apporto valanghivo dato dalle cime soprastanti, ed alla copertura detritica, agente come isolante termico.

Il ghiacciaio occupa la base di numerosi circhi adiacenti, separati da creste rocciose, le cui estremità sono rappresentate dal Sass delle Undici e dal Sass delle Dodici. Il Piz Fedaiia invece separa il Ghiacciaio Principale della Marmolada dal Ghiacciaio Occidentale della Marmolada o del Vernel.

La zona di alimentazione è delimitata dall'orlo superiore della lunga cresta principale, che corona la parete meridionale, discostandosene solo nei pressi di punta Rocca e punta Penia. Pertanto il bacino di raccolta è generalmente ben definito, con alimentazione prevalentemente diretta, mentre sono trascurabili i contributi all'alimentazione del ghiacciaio dati dalle pareti rocciose circostanti.

L'assenza quasi totale delle morene superficiali e deposte, ritrovabili invece nel Ghiacciaio Occidentale o del Vernel, è dovuta al fatto che le fronti poggiano su ripidi pendii lungo i quali i detriti rotolano facilmente a valle. La mancanza di

molte ripide pareti aggettanti sul ghiacciaio rende inoltre molto scarso l'apporto detritico, materiale basilare per la formazione delle morene.

Attualmente il ghiacciaio si sviluppa tra le quote 2630 e 3300 metri circa. A livello altimetrico, oramai, il ghiacciaio non è più presente con continuità in tutta la sua larghezza, a causa delle tante finestre rocciose apertesesi negli ultimi decenni.

A differenza dello scorso secolo, quando il ghiacciaio continuava a mantenere una copertura nevosa anche durante il periodo estivo, ora il forte disequilibrio negativo che riguarda pressoché tutti i ghiacciai italiani, fa sì che nella seconda parte della stagione estiva l'intera superficie glaciale risulti scoperta dalla neve, fatta eccezione per piccoli settori, meno esposti all'irraggiamento solare o alimentati da valanghe. Tale situazione determina irraggiamento e ablazione diretta del ghiaccio vivo emerso.

4.4. La Marmolada, da montagna inaccessibile, all'alpinismo, allo studio scientifico

La Marmolada, col suo ghiacciaio, ha sempre alimentato un interesse particolare nelle popolazioni delle vallate circostanti; i contadini, i pastori ed i boscaioli la temevano e ammiravano la sua imponenza ed inaccessibilità. La presenza del ghiacciaio veniva considerata una punizione divina per il mancato sacro riposo festivo, inconscio riflesso della consapevolezza che ogni rottura dell'equilibrio tra la natura e lo spirito, il lavoro ed il riposo, conduce a sconvolgimenti catastrofici.

Ai primi dell'Ottocento non era ancora stata salita nessuna montagna dolomitica, fatta eccezione per le modeste vette di passaggio dei cacciatori di camosci. Il Romanticismo, con la nuova contrapposizione filosofico-artistica tra uomo e natura, diede un impulso all'azione ed al misurarsi con la natura, in particolare laddove appariva più imperiosa. Le montagne divennero pertanto la meta naturale di questa nuova visione. Dopo alcuni tentativi falliti, fra cui quello di Ball, bisognò giungere al 1862 per vedere la conquista di punta Rocca, grazie all'impresa di Grohmann, aiutato dalla guida Pellegrini. Analoga situazione si ripeté per la conquista di punta Penia, con il successo di Grohmann, aiutato dalle guide Dimai, che avevano scorto l'itinerario migliore dalla forcella del Padon; la capacità di studio preliminare dell'alpinista viennese fu infatti la chiave per il raggiungimento di moltissime vette. Un secolo e mezzo dopo, tale via alpinistica costituisce ancora la via normale di ascensione a punta Penia, e la catena del Padon è sfruttata per le stazioni fotografiche sull'intero ghiacciaio.

Grazie all'acquisizione di tale innovativa sensibilità nei confronti delle montagne, e nel caso in analisi della "Regina delle Dolomiti", in particolare dalla seconda metà dell'Ottocento vari pittori la dipinsero, permettendo, nei casi riprodotti con maggior fedeltà, di capire la reale morfologia della fronte glaciale. Di lì a poco iniziarono ad essere scattate anche fotografie sul ghiacciaio, elemento di estremo interesse, che inconfutabilmente permette una prima precisa comprensione dello stato del ghiacciaio e del suo evolversi. Verso la fine dell'Ottocento il ghiacciaio

iniziò ad essere considerato dal punto di vista scientifico, arrivando ad avere valutazioni quantitative, mediante misurazioni scientifiche della fronte, all'inizio del Novecento. Grazie al lavoro del Comitato Glaciologico Italiano, del CAI, e di altre associazioni sensibili alla tematica glaciale, dal nuovo secolo sono così presenti misurazioni sistematiche attuate con criteri scientifici, per quanto riguarda l'evoluzione delle fronti del ghiacciaio.

I primi dati sulle variazioni delle fronti, presenti nella "Rivista di fisica, matematica e scienze naturali" pubblicata nel marzo 1907, riguardano misurazioni compiute a partire dal 1902. Concatenando ai dati iniziali lo studio di tutti i bollettini del Comitato Glaciologico Italiano, che riportano valori scientifici a partire dal 1926, le misurazioni per il ghiacciaio in esame si possono riferire a quattro archi temporali, di cui segue la descrizione delle quattro serie di rilevamenti:

- la prima è stata compiuta tra il 1902 ed il 1906, grazie all'approccio delle prime attività di ricerca scientifica;
- la seconda è stata compiuta tra il 1925 ed il 1938, con campagne glaciologiche sistematiche, che annualmente hanno dato valori confrontabili tra loro;
- la terza è stata compiuta tra il 1951 ed il 1966, per volontà della SADE e dell'ENEL, con campagne glaciologiche con cadenza di pochi anni una dall'altra;
- la quarta è stata compiuta tra il 1971 ed il 2015, anno in corso, con campagne glaciologiche svolte con discreta continuità, che hanno comunque permesso uno studio costituito da raccolta, analisi ed interpretazione dei dati, con buon grado di accuratezza.

Sorprendenti sono i risultati dello studio della quota minima della fronte centrale del ghiacciaio, che nella seconda metà dell'Ottocento, secondo quanto acquisito da Trickler nel 1865 e da Richter nel 1888, si aggirava attorno ai 2370 metri, mentre oggi si trova ad una quota di circa 400 metri di dislivello più elevata, come visibile nel grafico nella sezione dedicata.

5. Studi scientifici

5.1. Studi scientifici dalla fine dell'Ottocento ad oggi

Le prime osservazioni ed informazioni relative al ghiacciaio risalgono alla seconda metà dell'Ottocento e, come precedentemente descritto, sono legate principalmente ad ascensioni alpinistiche. Così le prime notizie date con una buona precisione giungono dallo scritto di Grohmann (1877), che traversò il ghiacciaio nel 1862 e nel 1864, per raggiungere le due elevazioni principali del massiccio.

Il primo a compiere dei rilievi scientifici fu il tedesco Richter (1888). Egli ne valutò l'area complessiva, comprendente anche il Ghiacciaio Occidentale della Marmolada o del Vernel, catalogato col numero 942 (Comitato Glaciologico Italiano, 1962), in 495 ettari, una quota minima inferiore pari a 2400 metri, ed il rapporto 3:1 tra la zona di alimentazione e quella di ablazione, ponendo la linea di equilibrio a 2644 metri.

Nel 1902 iniziarono le ricerche di Marinelli, assistito da Toniolo dal 1906 (Toniolo, 1907). Questi studiosi furono tra i primi ad interessarsi di questo ghiacciaio, dando l'avvio ad una fase di ricerche fondamentali per la conoscenza dell'ultimo secolo di evoluzione di questo corpo glaciale. Le ricerche di Marinelli e dei suoi collaboratori miravano infatti ad identificare e classificare i sistemi glaciali delle Alpi Venete, insieme con la valutazione dei loro principali caratteri topografici, morfologici ed ambientali. Grazie ad essi vennero compiuti i primi rilievi degli spostamenti frontali del ghiacciaio.

Dopo la prima guerra mondiale, che vide come triste teatro anche il Ghiacciaio della Marmolada, ripresero controlli sistematici sulle variazioni frontali di tutto il ghiacciaio. Così nel 1925 si inserì l'opera del Comitato Glaciologico Italiano (C.G.I.), il cui primo compito fu quello di giungere ad una statistica numerica dei ghiacciai italiani. Questa si concretizzò dapprima nell'“Elenco dei Ghiacciai

Italiani” del 1925, a cura di Porro, e poi nell’“Atlante dei Ghiacciai Italiani” del 1927, a cura di Porro e Labus. Contemporaneamente ebbe inizio, sempre ad opera del C.G.I., il coordinamento delle campagne glaciologiche, nelle quali vennero controllate le variazioni frontali dei ghiacciai italiani.

Dopo i dati relativi ai primi anni del secolo, assunti da Marinelli, con maggior continuità fu acquisita la seconda serie di ricerche sistematiche, condotta tra il 1925 ed il 1938. Nel dettaglio, fino al 1932 furono condotte da Bruno Castiglioni, che seguì con continuità le fluttuazioni delle tre fronti, oltre ad effettuare misure di velocità del movimento al Pian dei Fiacconi, ed interessanti controlli sul livello dello spessore della calotta ghiacciata sommitale di punta Penia, mentre dal 1933 furono realizzate da Conci, che, come Castiglioni in precedenza, osservò un continuo ritiro. Le misurazioni di Castiglioni e Conci, raccolte nei bollettini delle campagne glaciologiche del C.G.I., rappresentano la prima serie temporale di dati scientifici acquisiti con continuità, riguardo l’evoluzione del movimento delle fronti del ghiacciaio della Marmolada. Tali dati, espressione delle variazioni frontali avvenute tra il 1925 ed il 1938, sono stati raccolti e disposti in forma cumulata nei successivi grafici relativi alle tre fronti.

Dopo un breve intervallo, dovuto anche al secondo conflitto mondiale in corso, i rilievi sul ghiacciaio furono ripresi dalla Società Adriatica di Elettricità (SADE) nel 1946, in occasione degli studi per la costruzione del bacino idroelettrico della Fedaià, stabilendo nuovi capisaldi, essendo i precedenti scomparsi o coperti. Dopo il 1951, successivamente all’esecuzione di rilievi aerofotogrammetrici, lo studio del ghiacciaio proseguì più organicamente. A partire dal 1963 le indagini sul ghiacciaio furono eseguite da parte dell’Ente Nazionale per l’Energia Elettrica (ENEL), interessando la morfologia, i rilievi di accumulo ed ablazione lungo profili prefissati, la dinamica, i principali elementi meteorologici ed idrologici dell’area, con collaborazioni di diversi enti ed università, in un quadro organico di programmi di ricerca unico nel suo genere per i ghiacciai del versante italiano della catena alpina, che fungono oggi da sostanziosa base per nuovi approfonditi studi (Zanon, 1990).

I valori dei ritiri frontali, ricavati dalla SADE e dall'ENEL, per l'arco temporale tra il 1951 ed il 1966, furono raccolti in un articolo pubblicato nel bollettino numero 15 del Comitato Glaciologico Italiano (Tonino e Rossi, 1965-1969). In esso emerse una fase di regressione accentuata del ghiacciaio fino al 1964, per avere poi invece una regressione più debole negli anni successivi, nei quali si verificarono addirittura alcuni deboli accumuli.

Si decise di completare tale studio con rilievi fotogrammetrici terrestri sistematici, di cui il primo fu eseguito nel 1966. Le basi di questo rilievo, individuate mediante capisaldi su roccia, furono ubicate nella catena del Padon, situata in privilegiata posizione frontale al ghiacciaio. Le due postazioni di rilievo consentono la visibilità di tutta la superficie glaciale, eccetto una modesta porzione situata nei pressi di punta Rocca, che avendo pendenza meno elevata rispetto alla porzione più a valle, viene impedita alla visuale.

Sul finire degli anni Cinquanta, tra il 1959 ed il 1962, la necessità di una maggior conoscenza del patrimonio glaciale italiano portò all'allestimento del "Catasto dei Ghiacciai Italiani" (Comitato Glaciologico Italiano, 1962). In esso sono elencati 838 ghiacciai *esistenti*, oltre a 190 *estinti* nell'ultimo cinquantennio.

All'inizio degli anni Ottanta iniziò anche in Italia una collaborazione internazionale che prevedeva la realizzazione di un catasto mondiale dei ghiacciai, denominato "*World Glacier Inventory*". L'iniziativa venne portata a compimento sotto il coordinamento del C.G.I. e grazie al contributo di Regioni e Province. L'inserimento di tutti i ghiacciai dolomitici nel *World Glacier Inventory* fu portato a termine tra il 1982 ed il 1984.

L'individuazione dei ghiacciai avvenne sfruttando il seguente materiale presente:

- la cartografia dell'Istituto Geografico Militare (IGM), con scala 1:25000;
- il Catasto dei Ghiacciai Italiani del 1959-1962;
- rilievi aerofotogrammetrici realizzati in precedenza.

A queste fonti furono integrate:

- l'osservazione aerea delle aree glacializzate;
- la ripresa di sequenze stereoprospectiche, operazioni svolte nel settembre 1982, momento al quale si riferisce quindi lo stato dei ghiacciai in catasto.

Questo lavoro di rilevamento portò all'individuazione di *unità glaciologiche*, ovvero masse glacializzate della superficie minima di 5 ettari. Oltre ai classici ghiacciai, tra le unità glaciologiche vennero considerati anche i *glacionevati*, ammassi più o meno omogenei di neve vecchia, nevato e ghiaccio, non dotati di movimento apparente e caratterizzati da una permanenza maggiore ai due anni. Le unità glaciologiche individuate sono comprese in *unità idrografiche* minime, delimitate in base a criteri orografici, idrografici e glaciologici, inseriti in un quadro mondiale nell'ambito delle normative previste per il World Glacier Inventory. Ogni unità idrografica è contraddistinta da un numero di codice che la identifica inequivocabilmente e che comprende i ghiacciai e i glacionevati inseriti nell'unità stessa. Ogni area considerata comprende uno o più bacini principali, che a loro volta comprendono unità idrografiche minime, al cui bacino fanno capo le unità glaciologiche presenti. La descrizione ed i parametri caratteristici delle varie unità glaciologiche inserite nel catasto, sono inseriti in apposite schede, accompagnate dalla relativa rappresentazione cartografica, su una sezione della relativa tavoletta IGM con scala 1:25000 (Zanon, 1990).

Dal 1971 sono presenti con buona continuità, sui bollettini del C.G.I., tutte le campagne glaciologiche relative al Ghiacciaio Principale della Marmolada. Per l'acquisizione di buone misurazioni si è resa necessaria la messa in posto di vari segnali, visto il notevole sviluppo laterale delle tre fronti. La direzione di misura di quasi tutti i segnali è esattamente verso sud, con l'ago della bussola diretto quindi verso N 180°. Inizialmente furono assunte misurazioni anche verso le direzioni N 90° e N 270°, ma furono presto dismesse perché, fatta eccezione per rari casi, non erano rappresentative del reale ritiro del ghiacciaio, essendo disposte perpendicolarmente alla direzione media del movimento della fronte. Gli operatori che si susseguirono in questo importante e delicato servizio furono: Rossi dal 1971 al 1981, Mattana dal 1985 al 2004, Varotto e Ferrarese dal 2005 ad oggi.

Infine, nel 2015, la rinnovata necessità di una maggior conoscenza del patrimonio glaciale italiano ha portato all'allestimento de "Il Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani" (Smiraglia e Diolaiuti, 2015). Questo catasto è un progetto realizzato dal

“Gruppo di Ricerca Glaciologia” del Dipartimento di Scienze della Terra “A. Desio” dell’Università degli Studi di Milano. In questo catasto i ghiacciai del massiccio della Marmolada sono stati suddivisi nel Ghiacciaio della Marmolada (Principale) catalogato col numero 941, nel Ghiacciaio della Marmolada Centrale catalogato col numero 941,1, ed infine nel Ghiacciaio della Marmolada Ovest catalogato col numero 942. Ai fini dello studio compiuto in questa tesi si è deciso, considerata la morfologia glaciale passata e le misurazioni effettuate, di seguire la più semplice suddivisione dei corpi glaciali forniti dal “Catasto dei Ghiacciai Italiani” (Comitato Glaciologico Italiano, 1962).

Riassumendo, i rilevatori che raccolsero i dati inerenti l’evoluzione della posizione della fronte, dal 1910 ad oggi, furono i seguenti, riportati in tabella:

Rilevatori	Periodo
Marinelli	1902 - 1910
Meusburger	1923 - 1928
Castiglioni	1925 - 1932
Conci	1933 - 1934
Del Buono e Della Giusta	1935
Conci	1936 - 1938
Morandini	1948 - 1949
Rossi	1971 - 1981
Mattana	1985 - 2004
Varotto e Ferrarese	2005 - 2015

Tab. 5.1.1.: Rilevatori glaciologici del Ghiacciaio Principale e del Ghiacciaio Occidentale della Marmolada.

5.2. Spessori e volumi

Per quanto riguarda gli spessori, anche questi risultavano essere molto maggiori di quelli odierni.

A tale proposito sono interessanti le osservazioni condotte sulla caverna-ricovero scavata tra il 1875 ed il 1877 sulla parete in sinistra idrografica del vallone discendente tra Punta Penia e Punta Rocca, dalla sezione di Agordo del Club Alpino Italiano. Tra il 1883 ed il 1900 Marinelli descrisse un aumento dello spessore glaciale nei pressi della caverna, ma già dal 1937 Ettore Castiglioni riferì come la caverna fosse diventata inservibile, essendo la sua apertura molti metri più in alto rispetto al ghiacciaio. Rispetto a tale struttura, ma anche riguardo altri punti del ghiacciaio, sono inoltre possibili considerazioni sullo spessore grazie al confronto tra foto scattate in diversi momenti, rispetto a punti di riferimento fissi.

Un altro dato sullo spessore del ghiacciaio proviene dagli scavi attuati per la realizzazione della Città di Ghiaccio da parte dei soldati austriaci durante la prima guerra mondiale. È stato descritto infatti che i soldati venivano alloggiati in gallerie poste fino a 40 metri sotto la superficie (Andreoletti e Viazzi, 1977), segno che il ghiacciaio doveva presentare uno spessore anche maggiore.

Informazioni più precise provengono dai rilievi geofisici; i primi risalgono al 1952, grazie ai quali fu misurata una profondità del fondo roccioso variabile tra i 25 ed i 55 metri, lungo il profilo condotto tra punta Rocca e punta Penia, e diretto al Pian dei Fiacchi. Tali valori furono confermati in altre prospezioni compiute nel 1967 tra il Pian dei Fiacchi ed il Pian dei Fiacconi, dove si registrarono spessori di 40-50 metri (Carton e Varotto, 2011).

Oltre alle misure frontali, nel periodo tra il 1951 ed il 1966 furono rilevate quattro sezioni disposte con diversa orientazione lungo il ghiacciaio. La sezione trasversale della lingua della fronte occidentale, e quella che collega indicativamente l'arrivo della funivia di punta Rocca ed il Pian dei Fiacconi, evidenziarono una riduzione dell'altezza della massa glaciale. La sezione disposta tra il monte Serauta e la terminazione della fronte centrale, e la sezione trasversale

della lingua della fronte orientale, ne evidenziarono invece una variazione complessivamente nulla (Tonini e Rossi, 1965-1969).

Nel 2005 l'Agencia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV) di Arabba misurò spessori massimi di 45 metri nel vallone discendente tra punta Rocca e punta Penia, e valori di 40 metri a sud del Sass delle Undici. In molti punti però, il ghiacciaio risultava raggiungere solo pochi metri di spessore. Il volume stimato sulla base delle misure condotte risultò pari a 29,5 milioni di metri cubi, contro i 59,6 milioni di metri cubi stimati nel 1963, rivelando un dimezzamento della massa glaciale in appena 40 anni (Pasta et al., 2005).

I sondaggi geofisici, da cui sono stati possibili tali osservazioni, hanno permesso all'ARPAV la costruzione della mappa rappresentativa degli spessori del Ghiacciaio Principale della Marmolada, visibile di seguito:

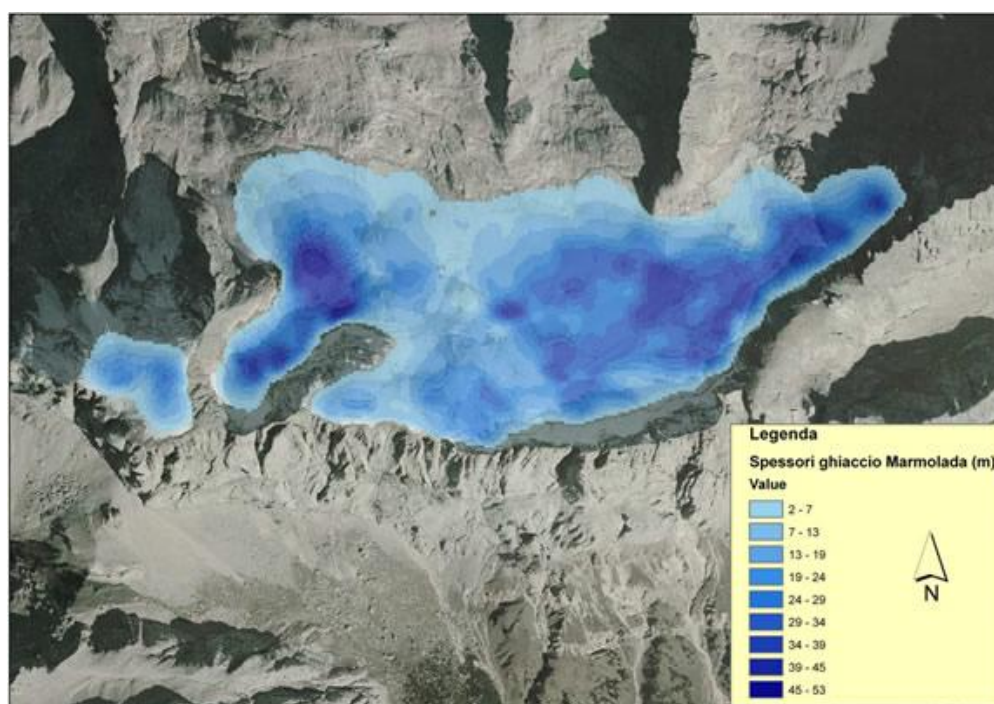


Fig. 5.2.1.: Mappa rappresentativa degli spessori del Ghiacciaio Principale della Marmolada (Pasta et al., 2005).

5.3. Velocità di scorrimento

I dati che riguardano la velocità di scorrimento del ghiacciaio sono numericamente scarsi. Inizialmente vennero sfruttati dei segnali, come lineamenti di pietre disposti accuratamente sulla superficie glaciale, sui quali vennero compiute misurazioni sul movimento relativo rispetto a punti di riferimento fissi. I primi dati di questo studio risalgono al 1908, con stima di 24 metri di movimento all'anno. Bruno Castiglioni nel 1937 misurò 6-7 metri di movimento all'anno. Nel 1959 la velocità registrata è di solo un metro all'anno. I dati considerati sono disomogenei rispetto alla mutevole direzione del flusso glaciale nel tempo, ma risulta lecito pensare che la progressiva riduzione della massa glaciale abbia determinato col passare del tempo una diminuzione della velocità di movimento (Carton e Varotto, 2011).

5.4. Cartografia

La morfologia del ghiacciaio è descritta dallo studio compiuto su diverse fonti, quali:

- “Karte der Dolomit Alpen von Enneberg, Höllenstein, Sexten, Buchenstein & Ampezzo”, scala 1:100.000 (Ritter von Wiedenmann, 1874);
- “IGM, Tavoleta F. 11 II N.E. La Marmolada”, scala 1:25.000 (IGM, 1888);
- “Übersichtskarte der Dolomiten”, in “Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins”, scala 1:100.000 (Freytag, 1903);
- “Karte der Marmolatagruppe”, in “Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins”, scala 1:25.000 (Aegerter, 1905);
- “IGM, Tavoleta F. 11 II N.E. La Marmolada”, scala 1:25.000 (IGM, 1959);
- “Ghiacciaio della Marmolada” in “Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano”, scala 1:25.000 (Rossi, 1971);
- “Foto aeree” (Regione Veneto, 1982);
- “Foto aeree” (Regione Veneto, 1996);
- “Foto aeree” (Regione Veneto, 2000);
- “Foto aeree” (Regione Veneto, 2003);
- “Foto aeree” (Regione Veneto, 2006);
- “Foto satellitare” (Bing Maps Platform, 2015).

Dallo studio di queste fonti, si è potuto tracciare il limite del ghiacciaio nei vari periodi considerati, mediante l'utilizzo del software ArcGIS, con la costruzione di poligoni corrispondenti alle aree glacializzate del complesso, togliendo quando presenti l'area delle finestre rocciose contenute nel ghiacciaio, e facendo infine una sommatoria di tutte le superfici glaciali. Queste ultime sono state successivamente inserite in un grafico che permette la facile comprensione dell'evoluzione areale del ghiacciaio dalla fine dell'Ottocento ad oggi. Il grado di affidabilità di tale lavoro, generalmente buono, è dipeso:

- per le carte, dal grado di accuratezza della riproduzione su carta delle reali dimensioni delle diverse componenti naturali presenti, quali montagne, valli,

elementi idrografici e così via, dalla scala e dalla precisione di rilevamento della superficie glacializzata, in particolare della fronte;

- per le foto aeree e la foto satellitare, dalla risoluzione, ombra, copertura nevosa, copertura detritica e presenza di nuvole nelle foto.

Nel dettaglio della “Karte der Marmolatagruppe (Aegerter, 1905) è possibile notare come le morene frontali deposte durante la Piccola Età Glaciale si trovino a poca distanza dalla fronte, segnale di un avvenuto lieve ritiro rispetto alla posizione della massima avanzata storica.

Si può inoltre constatare come all’inizio dello scorso secolo la superficie glacializzata fosse notevolmente maggiore rispetto ad ora, con lingue più ampie ed avanzate, con l’intero Pian dei Fiacconi completamente ricoperto da ghiaccio e la lingua della fronte centrale che scendeva notevolmente tra il Sass delle Undici ed il Sass delle Dodici.

5.5. Variazioni areali ed analisi GIS

Lo studio di questo capitolo è dedicato all'evoluzione areale del notevole complesso glaciale disposto nel versante nord del massiccio della Marmolada, comprendente il Ghiacciaio Principale ed il Ghiacciaio Occidentale della Marmolada. Lo studio dell'area viene svolto su entrambi questi ghiacciai, per le considerevoli dimensioni che presentano, perché fino a pochi decenni fa erano uniti dal ghiaccio attraverso la parete nord e perché la calotta sommitale discendente da Punta Penia fino agli anni Novanta dello scorso secolo era direttamente collegata col Ghiacciaio Occidentale.

È possibile osservare, nelle tabelle e nel grafico successivo, la notevole riduzione dell'area del Ghiacciaio Principale della Marmolada dopo la Piccola Età Glaciale, considerando e confrontando quanto riportato in bibliografia e quanto si evince dallo studio compiuto in quest'elaborato.

A livello bibliografico, alcune fonti comunemente adottate per confronti areali di tale ghiacciaio sono quelle riportate nella tabella sottostante. A queste sono state affiancate le differenze dei valori delle aree considerate tra rilevamenti successivi e la variazione media annua ricavata dal rapporto tra la differenza dell'area, rispetto quella precedente, ed il numero di anni intercorsi tra le due misurazioni.

Per quanto riguarda i valori ottenuti dai rilievi della SADE e dell'ENEL, questi risultano essere un rapporto interno inedito.

Utilizzando le fonti bibliografiche, la tabella che si ottiene è la seguente:

Fonte	Anno	Area (m²)	Differenza riferita al valore prec. (m²)	Variazione media annua (m²/anno)
Richter	1888	4.950.000		
Marinelli	1902	4.210.000	-740.000	-52.857
Aegerter	1905	4.100.000	-110.000	-36.666
Toniolo	1906	4.110.000	10.000	10.000
Marinelli	1910	3.920.000	-190.000	-47.500
SADE	1951	3.430.000	-490.000	-11.951
SADE	1955	3.300.000	-130.000	-32.500
Catasto dei Ghiacciai Italiani	1959	3.070.000	-230.000	-57.500
ENEL	1964	2.930.000	-140.000	-28.000
ENEL	1966	2.890.000	-40.000	-20.000
World Glacier Inventory	1982	2.980.000	90.000	5.625
Regione Veneto	1990	2.600.000	-380.000	-47.500
ARPAV	1999	2.170.000	-430.000	-47.777
ARPAV	2004	2.080.000	-90.000	-18.000
Ferrarese e Varotto	2006	1.700.000	-380.000	-190.000

Tab. 5.5.1.: Valori bibliografici della superficie glaciale (Tonini e Rossi 1965-1969; Carton e Varotto 2011).

Secondo quanto si evince dalla bibliografia, la diminuzione della superficie del ghiacciaio è stata di:

- 1,02 km² tra il 1888 ed il 1910, corrispondente al 20,6% della superficie iniziale;
 - 0,49 km² tra il 1910 ed il 1951, equivalente al 9,9% dell'estensione iniziale e corrispondente al 12,5% della superficie presente all'inizio dell'intervallo;
 - 0,54 km² tra il 1951 ed il 1966, equivalente al 10,9% dell'estensione iniziale e corrispondente al 15,7% della superficie presente all'inizio dell'intervallo;
 - 0,29 km² tra il 1966 ed il 1990, equivalente al 5,9% dell'estensione iniziale e corrispondente al 10,0% della superficie presente all'inizio dell'intervallo;
 - 0,90 km² tra il 1990 ed il 2006, equivalente al 18,2% dell'estensione iniziale e corrispondente al 34,6 % della superficie presente all'inizio dell'intervallo.
- Questo valore appare molto elevato, considerando l'esiguo arco temporale preso in esame.

I valori di diminuzione areale, considerando i successivi ritiri rispetto al primo dato riguardante la superficie glacializzata, risalente al 1888 per quanto acquisito attraverso la bibliografia, sono riassunti nella seguente tabella:

Periodo	% riduzione rispetto al 1888
1888-1910	20,6
1910-1951	9,9
1951-1966	10,9
1966-1990	5,9
1990-2006	18,2
area residua post 2006	34,5

Tab. 5.5.2.: Valori di diminuzione percentuale areale rispetto al 1888.

Il grafico a torta relativo alla tabella soprastante è il seguente:

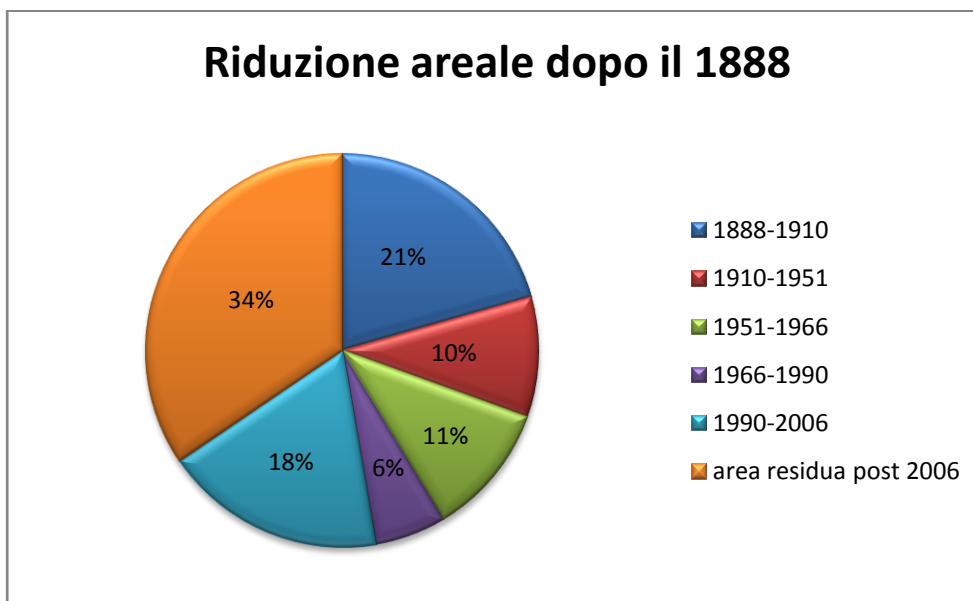


Fig. 5.5.1.: Valori di diminuzione percentuale areale rispetto al 1888.

Uno dei punti nodali di quest'elaborato è stato il calcolo ed il confronto delle aree. Infatti comparando le prime misurazioni, compiute da Richter (1888), con i dati più recenti, riportati da Ferrarese e Varotto (2006), si può constatare un ritiro della superficie glaciale pari a 3,25 km², equivalente al 65,5% dell'estensione iniziale. Per realizzare tali valutazioni e confronti è stato necessario reperire innanzitutto la cartografia e le foto aeree e satellitari.

Riguardo la cartografia, essa si differenzia per la scala, dei valori di 1:100.000 ed 1:25.000, per la precisione nel rilevamento del ghiacciaio, per le possibili deformazioni spaziali presenti rispetto alle reali dimensioni. Tali carte, in formato digitale, sono state importate nel software ArcGIS, dove sono state referenziate rispetto al sistema di coordinate di Monte Mario 1. Successivamente è avvenuta la georeferenziazione, utilizzando come base la carta IGM del 1959, facendo corrispondere preferibilmente i punti trigonometrici delle vette presenti in entrambe le due carte. Per la georeferenziazione di ogni carta sono stati utilizzati

almeno quattro punti. In base alla deformazione delle carte, maggiore per quelle antiche, praticamente assente tra quelle recenti, cambia il valore dello scarto quadratico medio RMS, che indica l'errore medio che un punto sulla carta georeferenziata può avere rispetto alla carta base e quindi alla realtà. All'occorrenza sono stati fissati un numero maggiore di punti, oppure ne è stato tolto uno in caso di incertezza, o in ultima istanza il procedimento è stato nuovamente ripetuto, per ottenere un valore di scarto quadratico medio inferiore.

A tale operazione segue la digitalizzazione del tracciato planimetrico della fronte, attraverso la creazione di uno shape file, delineato nelle carte topografiche in esame.

È innanzitutto fondamentale verificare se la carta in analisi è una prima edizione, o se il frutto di aggiornamenti e ricognizioni parziali, che nell'esperienza maturata, configurano spesso non essere realizzati per la componente glaciale, ma principalmente per quella urbanistica ed infrastrutturale. Per tale ragione è stata svolta una raccolta ed uno studio di alcune carte, che poi però non sono state utilizzate ai fini di questo elaborato, presentando identici rilievi a livello glaciale. Un esempio è la tavoletta IGM del 1959, avente copertura di fotografie aeree risalente al 1954; anche l'edizione successiva, pubblicata nel 1986, presenta lo stesso margine glaciale e di conseguenza non è stata presa in considerazione. Attraverso l'impiego del GIS è stato possibile calcolare la dimensione delle aree glacializzate pertinenti ciascuna carta digitalizzata.

Il procedimento di georeferenziazione è stato svolto per:

- “Karte der Dolomit Alpen von Enneberg, Höllenstein, Sexten, Buchenstein & Ampezzo”, scala 1:100.000 (Ritter von Wiedenmann, 1874);
- “Tavoletta F. 11 II N.E. La Marmolada”, scala 1:25.000 (IGM, 1888);
- “Übersichtskarte der Dolomiten”, in “Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins”, scala 1:100.000 (Freitag, 1903);
- “Ghiacciaio della Marmolada” in “Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano”, scala 1:25.000 (Rossi, 1971);

Gli shape file riguardanti la “Karte der Marmolatagruppe” (Aegerter, 1905), la “Tavoletta F. 11 II N.E. La Marmolada” (IGMI 1959) e le “Foto aeree” (Regione Veneto, 1982) sono state gentilmente fornite per questo studio dal dottor Ferrarese.

La deformazione presente in alcune carte meno recenti non è stata volutamente modificata con l’apposito strumento del software, mantenendo in tal modo il dato di input originale e presentando i limiti dati dalla relativa qualità della cartografia e del rilievo glaciale.

Le foto aeree, in formato digitale e già georeferenziate, sono state inserite in ArcGIS. Le foto aeree del 1982, 1996, 2000, 2003 e 2006, sono state eseguite dalla Regione Veneto, che nell’ultimo ventennio ha iniziato ad acquisire queste importanti informazioni con cadenza di tre anni. Le foto aeree del 1982 e del 1996 sono in bianco e nero; quella del 1996 presenta una leggera copertura nevosa che però non impedisce di identificare il limite glaciale. Le foto aeree del 2000, 2003 e 2006, hanno le fronti perfettamente scoperte, anche se quella del 2003 presenta nella parte sommitale una leggera copertura nevosa, elemento che risulta essere poco determinante, in quanto la variazione principale della morfologia avviene in corrispondenza delle terminazioni inferiori del corpo glaciale. Le foto aeree del 2009 e del 2012 sono invece inutilizzabili in quanto la cospicua copertura nevosa ricopre le fronti. Infine la foto aerea del 2015 non è ancora disponibile, in quanto non è terminata l’elaborazione dei relativi dati da parte della Regione Veneto.

Utile per avere informazioni recenti è la foto satellitare del 2015, tratta dalla piattaforma “Bing Maps Platform”. Mantenendo attiva la connessione internet, è infatti possibile, come per le foto aeree, inserire in ArcGIS la foto in formato digitale e già georeferenziata, seguendo successivamente lo stesso procedimento descritto per le carte topografiche e per le foto aeree.

Tutte le fonti utilizzate per il lavoro descritto sono le seguenti:

Fonte	Anno	Scala
Ritter von Wiedenmann	1874	1:100.000
IGM, Tavoleta F. 11 II N.E.	1888	1:25.000
Freytag	1903	1:100.000
Aegerter	1905	1:25.000
IGM, Tavoleta F. 11 II N.E.	1959	1:25.000
Rossi	1971	1:25.000
Regione Veneto, foto aeree	1982	
Regione Veneto, foto aeree	1996	
Regione Veneto, foto aeree	2000	
Regione Veneto, foto aeree	2003	
Regione Veneto, foto aeree	2006	
Bing Maps Platform	2015	

Tab. 5.5.3.: Fonti utilizzate per la determinazione della superficie glaciale.

La tabella con i valori degli scarti quadratici medi, risultanti dal processo di georeferenziazione sopra descritto è la seguente:

Fonte	Anno	Scala	Numero punti georiferiti	RMS (m)
Ritter von Wiedenmann	1874	1:100.000	7	75,3
IGM, Tavoleta F. 11 II N.E.	1888	1:25.000	6	13,6
Freytag	1903	1:100.000	7	80,3
Rossi	1971	1:25.000	4	0,4

Tab. 5.5.4.: Valori degli scarti quadratici medi risultanti dal processo di georeferenziazione delle carte.

Ulteriore materiale cartografico e fotografico studiato, di cui non è stato però possibile l'utilizzo per le motivazioni sopra descritte, è il seguente:

Fonte	Anno	Scala
IGM, Tavoleta F. 11 II N.E.	1986	1:25.000
Regione Veneto, foto aeree	2009	
Regione Veneto, foto aeree	2012	

Tab. 5.5.5.: Fonti visionate ma non utilizzate per la determinazione della superficie glaciale.

Di seguito sono riportati tutti gli shape file, sovrapposti sulla Tavoletta F. 11 II N.E. (IGM, 1959), che rappresentano l'evoluzione areale del Ghiacciaio Principale e del Ghiacciaio Occidentale della Marmolada. È particolarmente interessante osservare: la modificazione della forma delle fronti, che col passare del tempo si sono notevolmente ritirate, l'apertura di svariate finestre rocciose, fenomeno dovuto alla perdita di spessore del ghiacciaio, ed il distacco di lembi glaciali che hanno determinato, in alcuni settori, il rapido ritiro del corpo glaciale sopra gli sbalzi rocciosi che ne hanno causato il distacco.

Esempi molto evidenti di tali distacchi di lembi glaciali sono avvenuti:

- nella fronte centrale, che, confrontata con le altre fronti glaciali, ha registrato l'arretramento maggiore;
- nella separazione tra la calotta sommitale di punta Penia ed il sottostante bacino glaciale del Ghiacciaio Occidentale della Marmolada;
- nella parete nord di punta Penia, che ha completamente perso la propria copertura glaciale, determinando il distacco tra la calotta sommitale della vetta ed il circo glaciale sottostante;
- nella parte basale del circo glaciale posto a nord di punta Penia, dove è avvenuto il distacco tra la terminazione di questo ed il ghiaccio che discende verso nord-ovest dal Pian dei Fiacchi.

A causa di tali distacchi, la calotta sommitale di punta Penia ed il circo glaciale a nord della medesima vetta appaiono attualmente isolati, con frazionamento tipico dei ghiacciai in regresso.

Nelle pagine successive è possibile apprezzare distacchi di lembi glaciali, apertura di finestre rocciose e cambiamenti della morfologia delle fronti, attraverso un accurato studio delle immagini.

Innanzitutto viene riportata la sezione della Tavoleta F. 11 II N.E. (IGM, 1959), utilizzata come base secondo quanto sopra descritto, e centrata sul Ghiacciaio Principale e sul Ghiacciaio Occidentale della Marmolada.

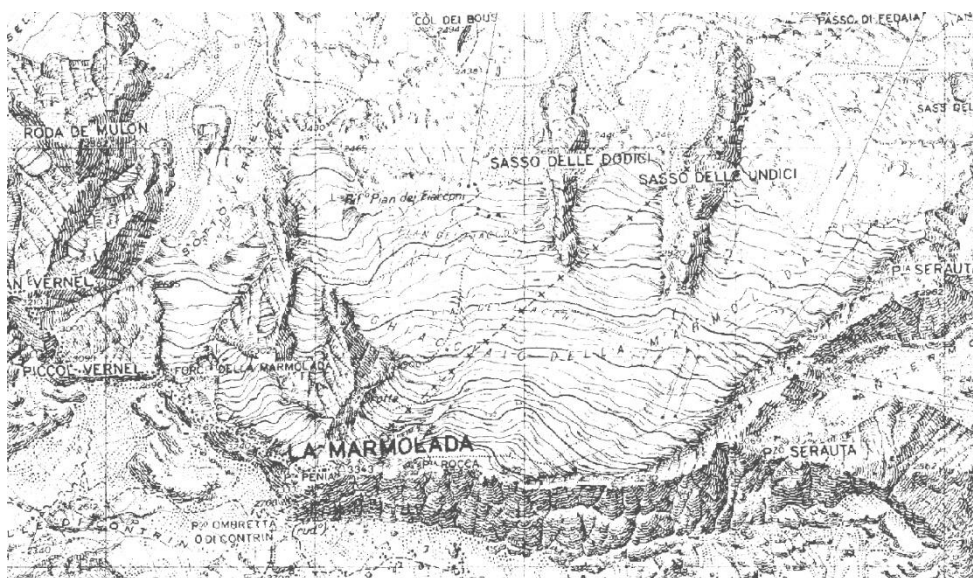


Fig. 5.5.2.: Sezione base dell'area interessata dalla copertura glaciale, "Tavoleta F. 11 II N.E. La Marmolada", 1:25.000 (IGM, 1959).

Nella figura soprastante è possibile osservare la sezione della Tavoleta F. 11 II N.E. (IGM, 1959), alla quale sono stati imposti valori di contrasto, luminosità e trasparenza adeguati, applicando la scala di grigi, per migliorare la comprensibilità delle linee tracciate, relative al margine glaciale, visibili nelle pagine seguenti. Nelle figure successive le linee che delimitano l'area occupata dal ghiacciaio, saranno impostate progressivamente una dopo l'altra, permettendo di osservare l'evoluzione del ghiacciaio descritta nella didascalia, confrontata con le diverse posizioni assunte dal ghiacciaio durante le annate considerate in precedenza.

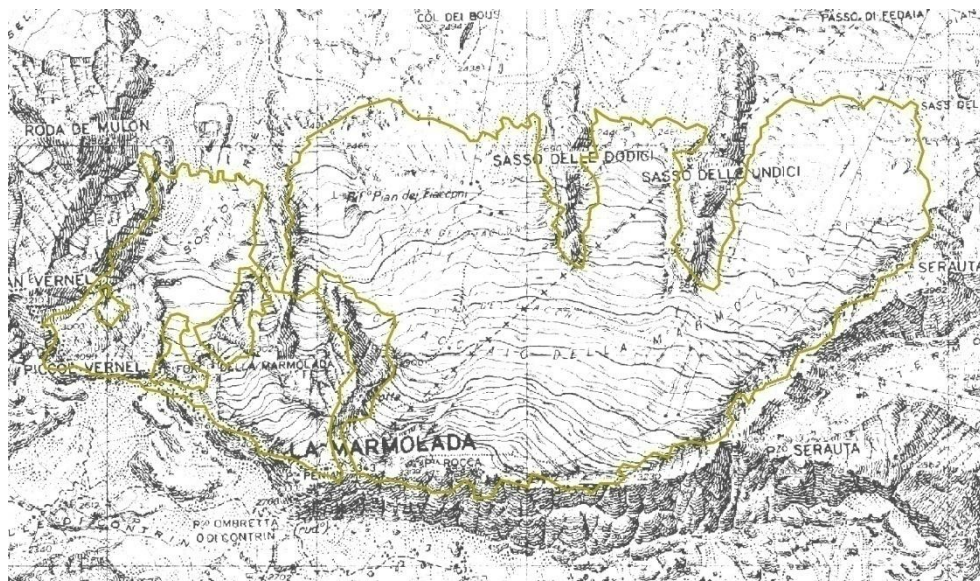


Fig. 5.5.3.: Rappresentazione del ghiacciaio nella “Karte der Dolomit Alpen“ (Ritter von Wiedenmann, 1874), indicata dalla linea verde oliva.

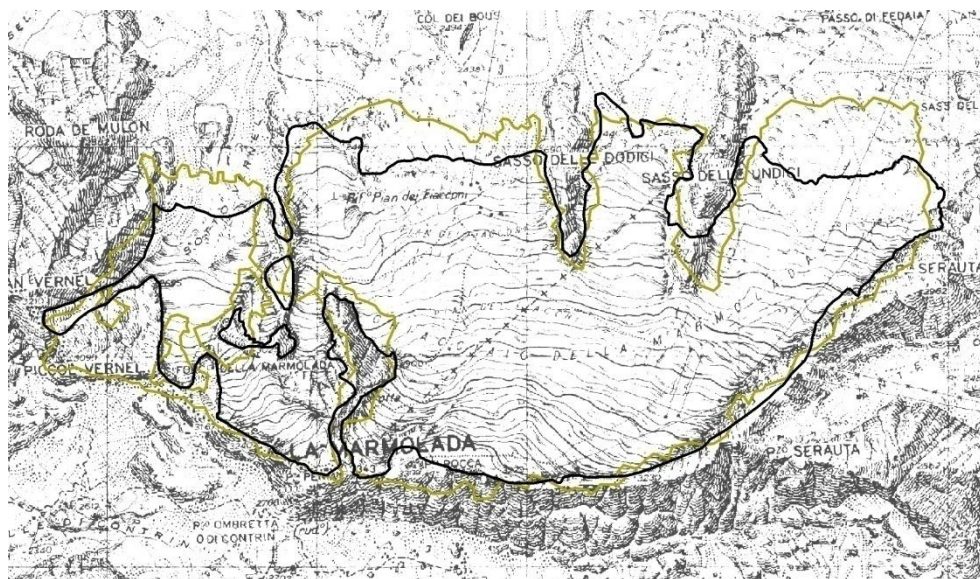


Fig. 5.5.4.: Rappresentazione del ghiacciaio nella “Tavoletta F. 11 II N.E. La Marmolada”, 1:25.000 (IGM, 1888), indicata dalla linea nera.

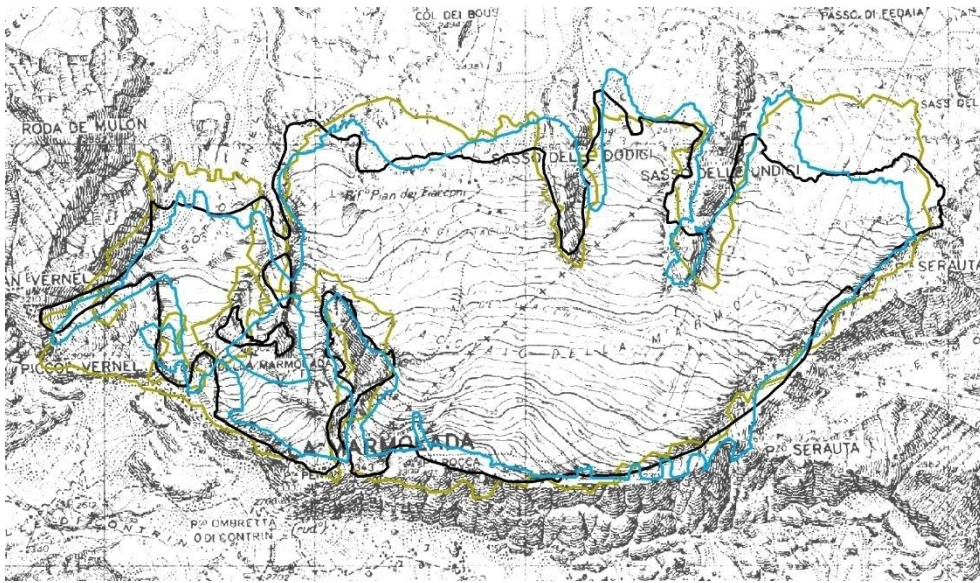


Fig. 5.5.5.: Rappresentazione del ghiacciaio nella “Übersichtskarten der Dolomiten” (Freytag, 1903), indicata dalla linea celeste.

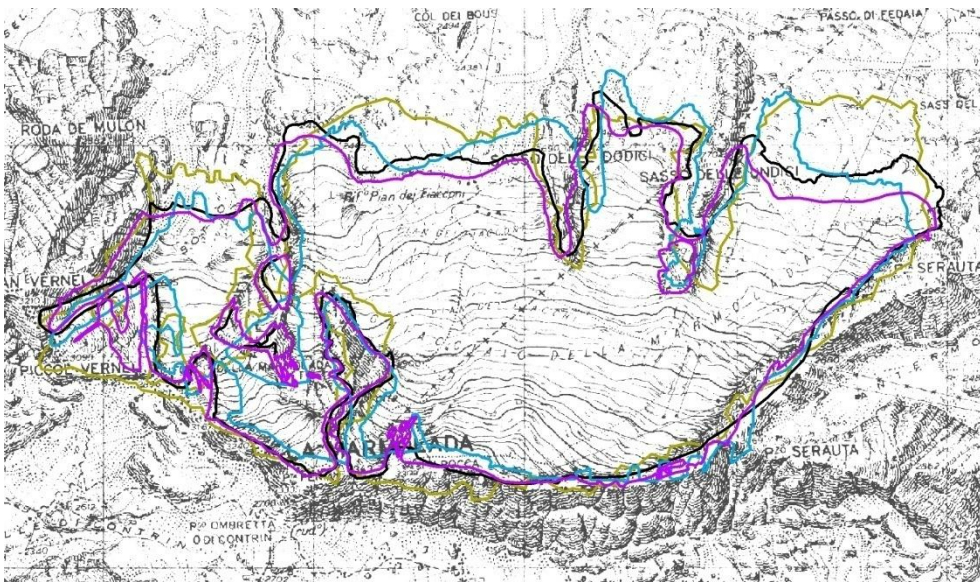


Fig. 5.5.6.: Rappresentazione del ghiacciaio nella “Karte der Marmolatagruppe” (Aegerter, 1905), indicata dalla linea viola.

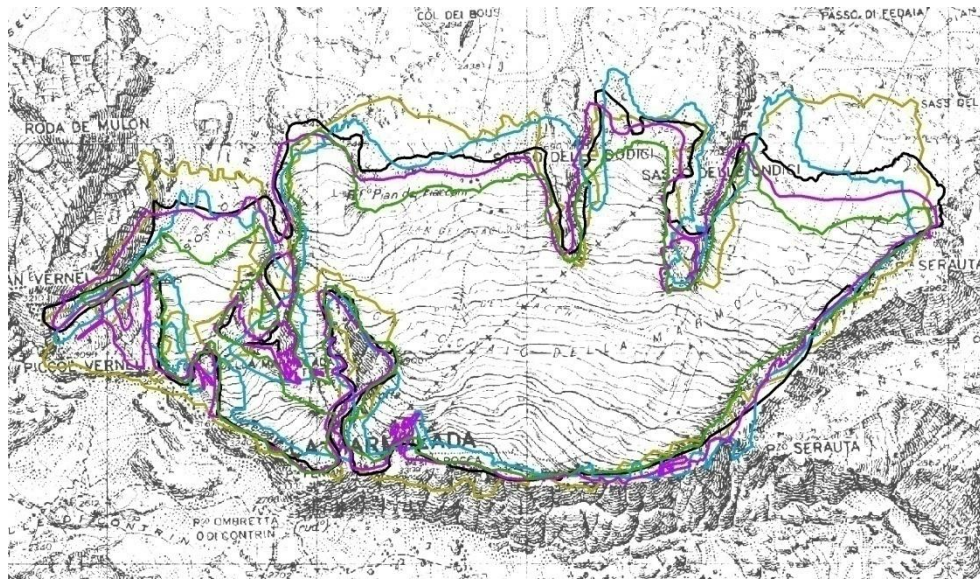


Fig. 5.5.7.: Rappresentazione del ghiacciaio nel 1954, nella “Tavoletta F. 11 II N.E. La Marmolada”, 1:25.000 (IGM, 1959), indicata dalla linea verde scuro.

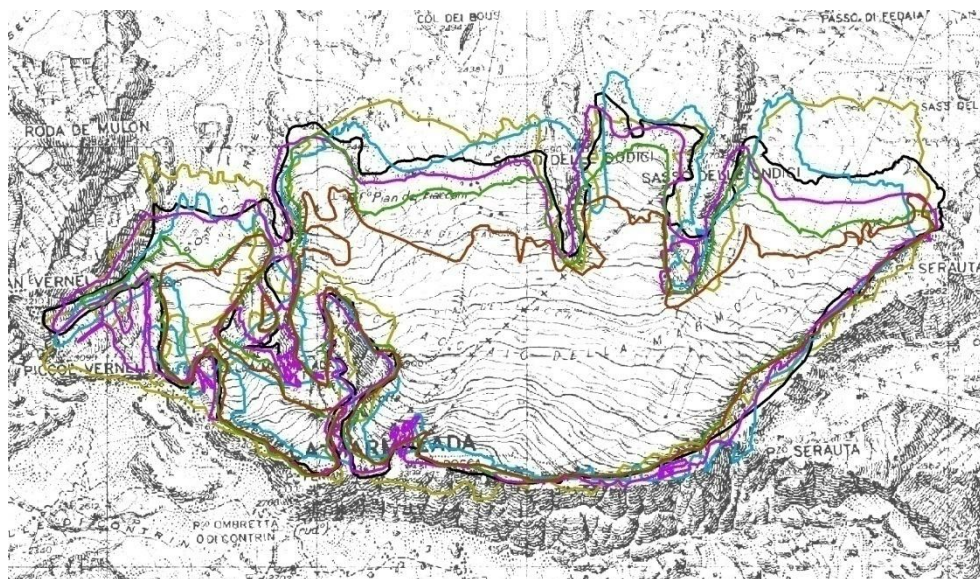


Fig. 5.5.8.: Rappresentazione del ghiacciaio nel “Ghiacciaio della Marmolada” (Rossi, 1971), indicata dalla linea marrone.

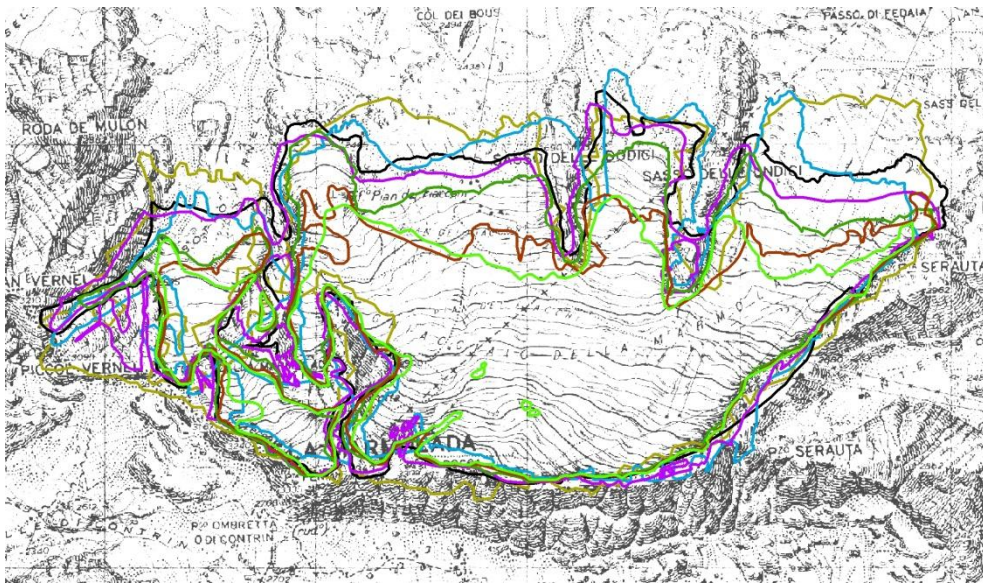


Fig. 5.5.9.: Rappresentazione del ghiacciaio nelle foto aeree (Regione Veneto, 1982), indicata dalla linea verde chiaro.

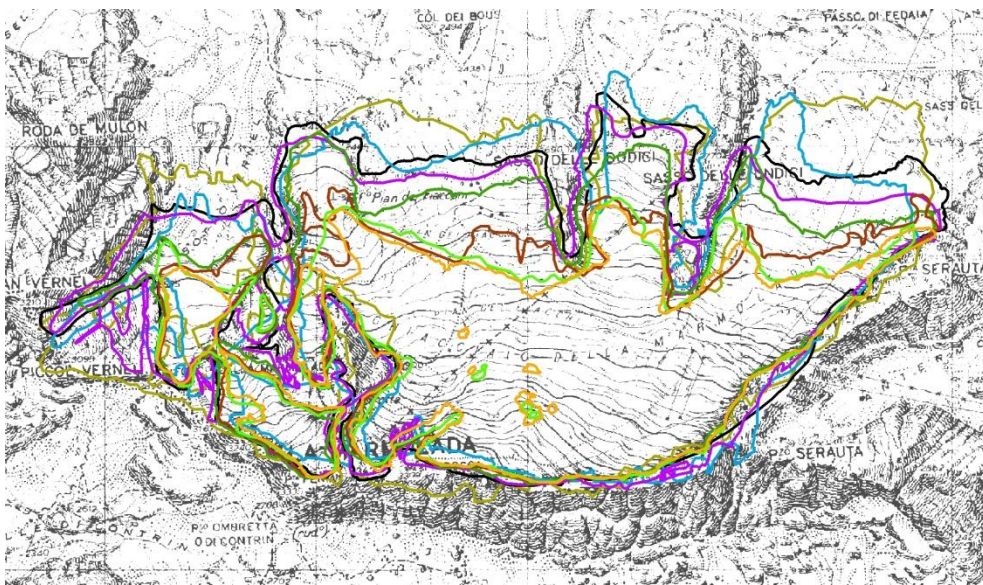


Fig. 5.5.10.: Rappresentazione del ghiacciaio nelle foto aeree (Regione Veneto, 1996), indicata dalla linea arancione.

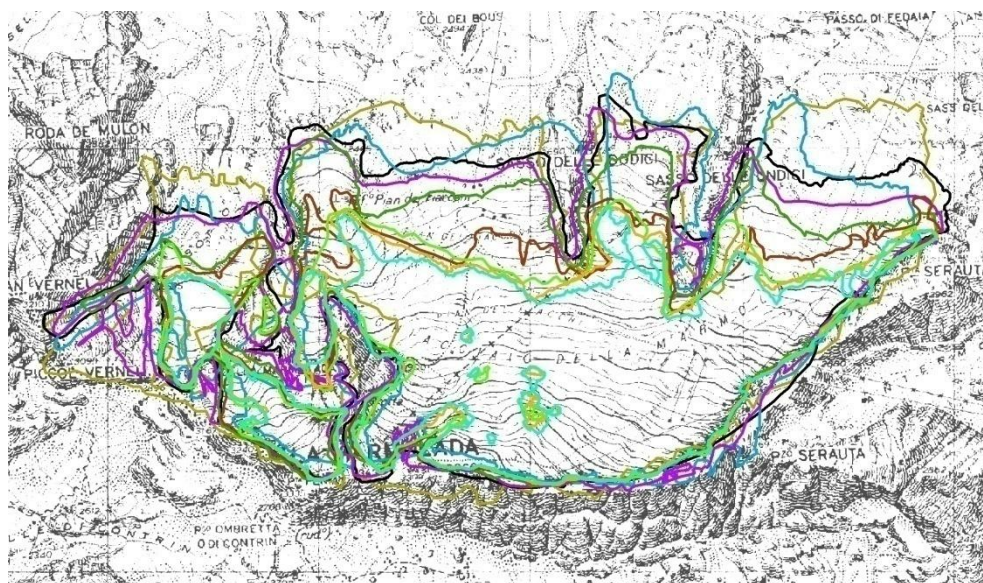


Fig. 5.5.11.: Rappresentazione del ghiacciaio nelle foto aeree (Regione Veneto, 2000), indicata dalla linea turchese.

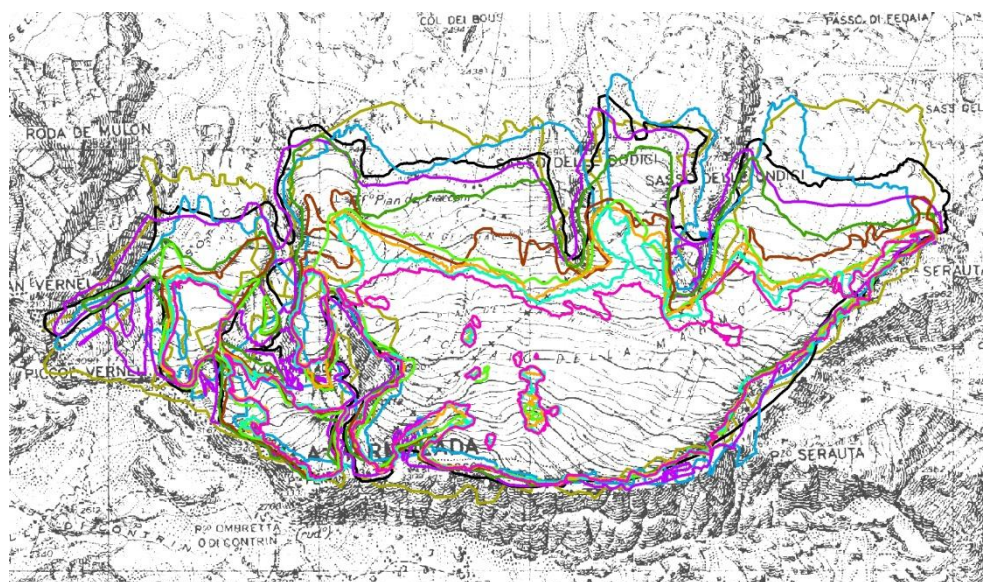


Fig. 5.5.12.: Rappresentazione del ghiacciaio nelle foto aeree (Regione Veneto, 2003), indicata dalla linea fucsia.

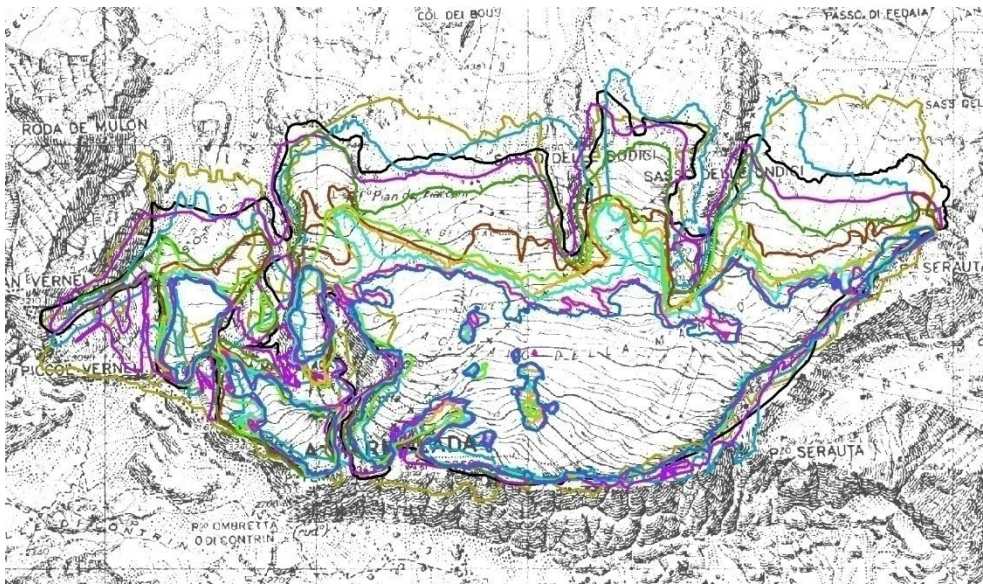


Fig. 5.5.13.: Rappresentazione del ghiacciaio nelle foto aeree (Regione Veneto, 2006), indicata dalla linea blu.

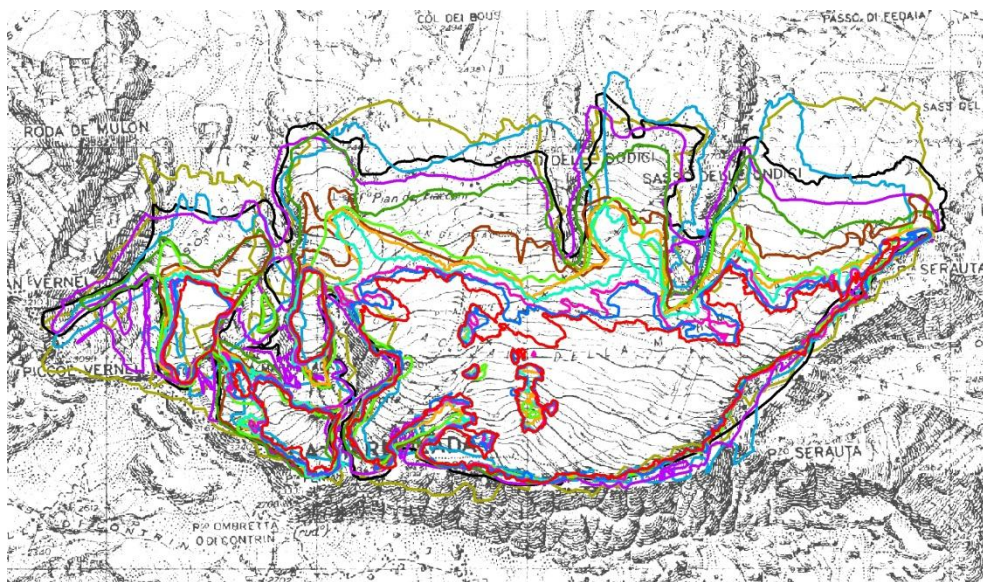


Fig. 5.5.14.: Rappresentazione del ghiacciaio nella foto satellitare (Bing Maps Platform, 2015), indicata dalla linea rossa.

Quest'ultima figura presenta insieme i dodici shape file creati per lo studio dell'evoluzione areale del ghiacciaio. Il Ghiacciaio Principale della Marmolada appare, in questo studio, in una sequenza inedita ed approfondita.

Per facilitare la comprensione di tale rappresentazione, si è scelto di inserirne anche una forma più snella, che contenesse comunque una rappresentativa sequenza temporale relativamente all'evoluzione del ghiacciaio. Per tale ragione sono stati scelti gli shape file relativi alle annate del 1888, 1905, 1954, 1982, 2000 e 2015, grazie ai quali è possibile vedere in maniera più semplice le modificazioni della superficie planimetrica glaciale, verificatesi sul massiccio della Marmolada.

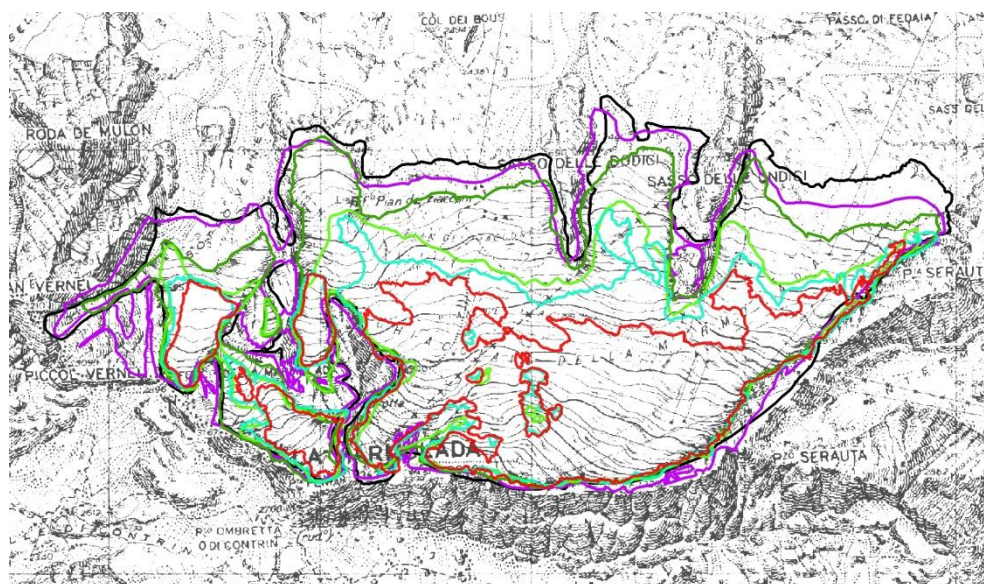


Fig. 5.5.15.: Rappresentazione del ghiacciaio nel 1888, 1905, 1954, 1982, 2000 e 2015.

Oltre alla rappresentazione del bordo glaciale mediante linee, si è scelto di utilizzare anche un'illustrazione che evidenziasse le aree, permettendo di valutare velocemente, in base ai diversi colori assunti, quali sono le principali variazioni areali perse o acquistate nel tempo.

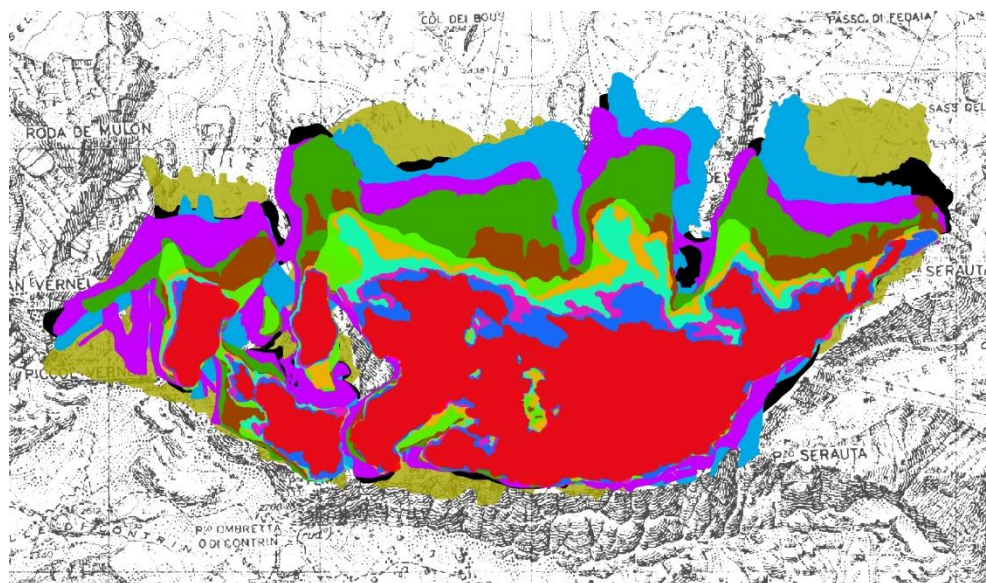


Fig. 5.5.16.: Rappresentazione delle superfici glaciali, dal 1874 al 2015.

Come fatto precedentemente, per facilitare la comprensione di tale rappresentazione, si è scelto di inserire anche una forma più snella, che contenesse comunque un'ottima sequenza temporale rispetto all'evoluzione del ghiacciaio. Per tale ragione sono stati scelti gli shape file relativi alle annate del 1888, 1905, 1954, 1982, 2000 e 2015, grazie ai quali è possibile vedere in maniera più semplice la variazione areale verificatasi sul massiccio della Marmolada.

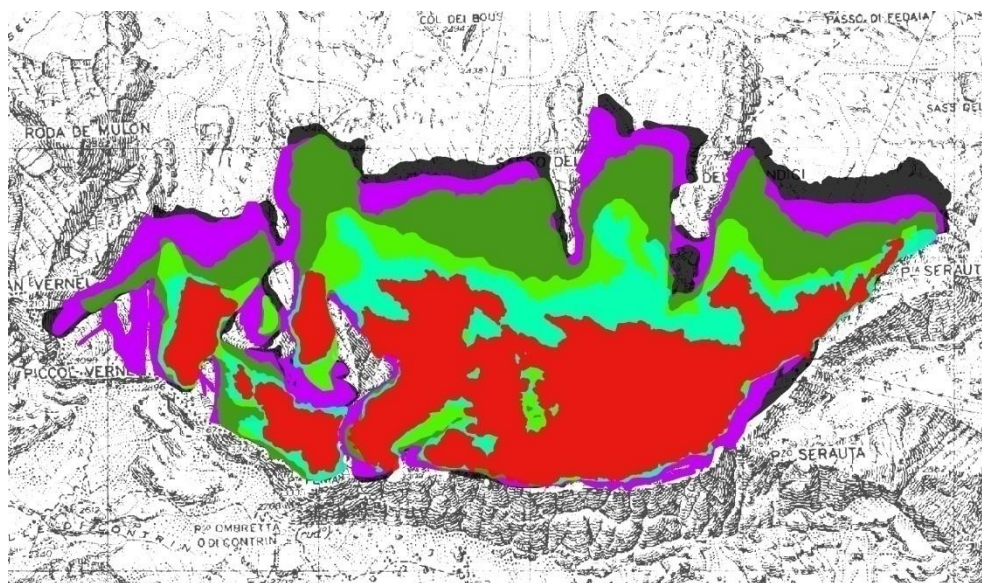


Fig. 5.5.17.: Rappresentazione delle superfici glaciali nel 1888, 1905, 1954, 1982, 2000 e 2015.

Secondo quanto calcolato mediante l'analisi GIS, attraverso la sommatoria delle aree della superficie glacializzata, i valori ottenuti sono i seguenti:

Fonte	Anno	Area (m²)	Differenza rifertita al valore prec. (m²)	Variazione media annua (m²/anno)
Ritter von Wiedenmann	1874	4.821.421		
IGM, F. 11 II N.E.	1888	4.281.221	-540.200	-38.585
Freytag	1903	4.277.602	-3.619	-241
Aegerter	1905	4.124.046	-153.556	-76.778
IGM, F. 11 II N.E. (1959)	1954	3.342.314	-781.732	-15.953
Rossi	1971	2.653.838	-688.476	-40.498
Regione Veneto, foto aeree	1982	2.401.242	-252.596	-22.963
Regione Veneto, foto aeree	1996	2.242.426	-158.816	-11.344
Regione Veneto, foto aeree	2000	2.071.228	-171.198	-42.799
Regione Veneto, foto aeree	2003	1.826.912	-244.316	-81.438
Regione Veneto, foto aeree	2006	1.706.429	-120.483	-40.161
Bing Maps Platform	2015	1.476.866	-229.563	-25.507

Tab. 5.5.6.: Valori della superficie glaciale calcolati mediante l'analisi GIS.

Secondo quanto si apprende dallo studio compiuto, la diminuzione della superficie del ghiacciaio è stata di:

- 0,70 km² tra il 1874 ed il 1905, corrispondente al 14,46% della superficie iniziale;

- 0,78 km² tra il 1905 ed il 1954, equivalente al 16,21% dell'estensione iniziale e corrispondente al 18,96% della superficie presente all'inizio dell'intervallo;

- 0,69 km² tra il 1954 ed il 1971, equivalente al 14,28% dell'estensione iniziale e corrispondente al 20,60% della superficie presente all'inizio dell'intervallo;

- 0,41 km² tra il 1971 ed il 1996, , equivalente all'8,53% dell'estensione iniziale e corrispondente al 15,50% della superficie presente all'inizio dell'intervallo.

Questo valore di ritiro appare inferiore agli altri, se raffrontato con la perdita di superficie glacializzata nei decenni precedenti e successivi, grazie alla fase di leggera avanzata del ghiacciaio, avutasi a cavallo degli anni Ottanta;

- 0,77 km² tra il 1996 ed il 2015, equivalente al 15,88% dell'estensione iniziale e corrispondente al 34,14% della superficie presente all'inizio dell'intervallo.

Questo valore di ritiro appare tra i più intensi, insieme alle decadi degli anni Cinquanta e Sessanta.

I valori di diminuzione areale, considerando i successivi ritiri rispetto al primo dato riguardante la superficie glacializzata, risalente al 1874 per quanto acquisito attraverso la bibliografia, sono riassunti nella seguente tabella:

Periodo	% riduzione rispetto al 1874
1874-1905	14,5
1905-1954	16,2
1951-1971	14,3
1971-1996	8,5
1996-2015	15,9
area residua post 2015	30,6

Tab. 5.5.7.: Valori di diminuzione percentuale areale rispetto al 1874.

Il grafico a torta relativo alla tabella soprastante è il seguente:

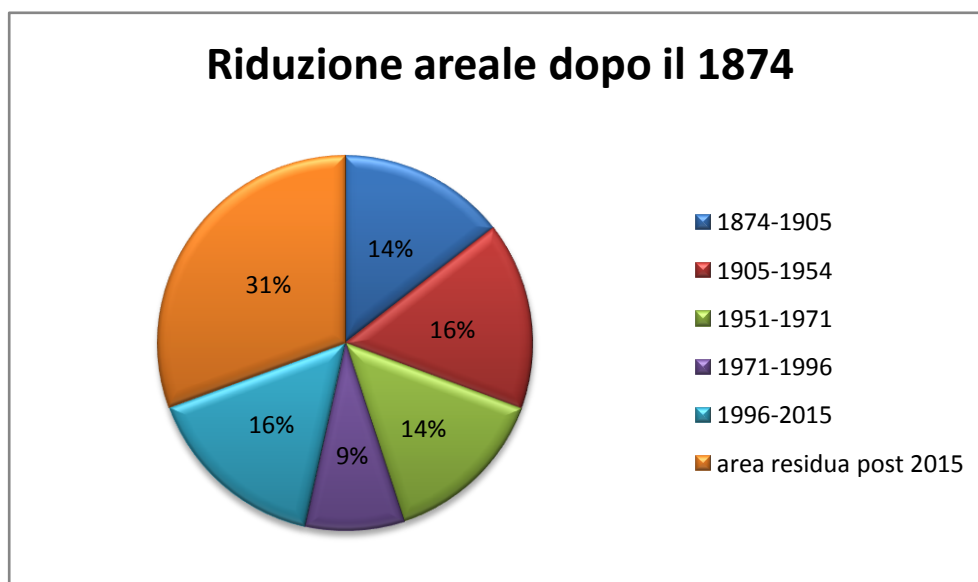


Fig. 5.5.18.: Valori di diminuzione percentuale areale rispetto al 1874.

Il grafico che confronta i valori areali riportati nelle tabelle soprastanti è il seguente:

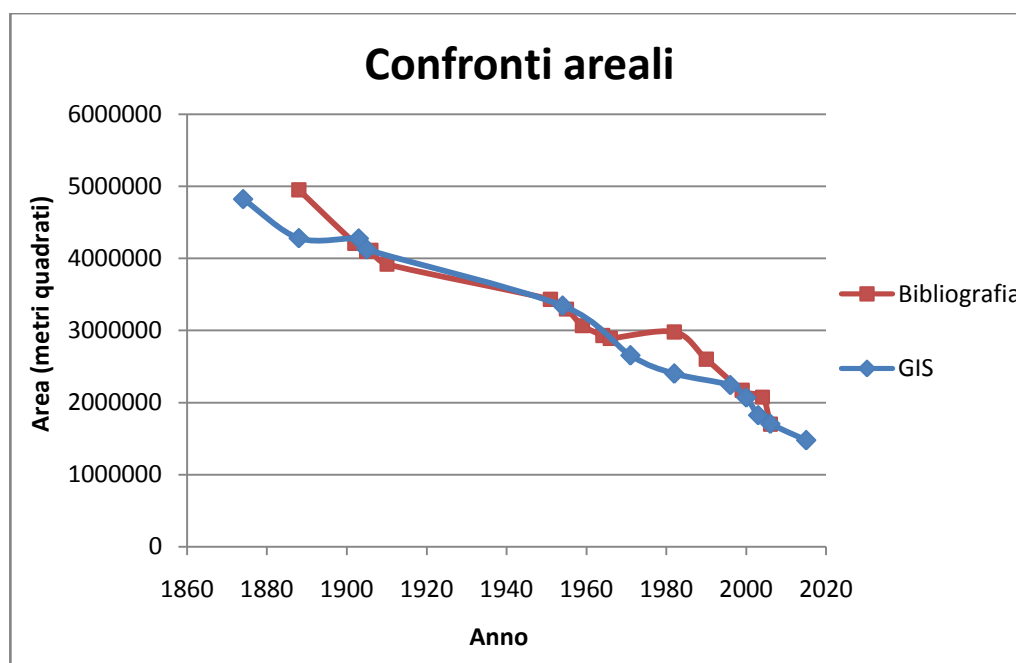


Fig. 5.5.19.: Confronto tra i valori areali bibliografici e quelli derivanti dall'analisi GIS.

Dal confronto tra l'andamento delle due linee, si può constatare la buona correlazione tra i dati bibliografici e quelli elaborati mediante l'analisi GIS, riscontrando alcune differenze per l'arco temporale della fine dell'Ottocento, e per il periodo degli anni Ottanta del Novecento.

6. Rilevamento delle fronti glaciali

6.1. Campagne glaciologiche e spostamenti frontali

Riguardo l'evoluzione delle fronti, relativamente al cambiamento della loro posizione e della loro morfologia, sono stati creati dei grafici che permettono di capirne lo spostamento, caratterizzato mediamente da un ritiro generalizzato e di notevole entità. Per tale monitoraggio sono stati sfruttati svariati segnali, disposti in diversi punti delle tre fronti, mantenute numericamente tali anche oggi, quando in realtà la fronte appare unica, seppure parzialmente frastagliata.

I segnali, tracciati con colore rosso o giallo su rocce solidali, non soggette a spostamenti, sono disposti in posizioni strategiche per monitorare i movimenti, di avanzata o ritiro, del corpo glaciale. È molto importante cercare di monitorare le fronti studiate ogni anno, compatibilmente alle condizioni meteorologiche e della copertura nevosa, per registrare gli ingenti movimenti che si possono verificare in ridotti archi temporali. Come si può osservare nelle relative tabelle, da un anno all'altro è infatti possibile trovare variazioni di posizioni piccole o nulle, ma anche spostamenti della fronte di varie decine di metri, negli anni in cui precipitazioni nevose e temperature presentano valori assoluti estremi.

Sono inoltre possibili ritiri anche superiori ai cinquanta o cento metri, qualora ci sia un "salto di roccia", determinato da un "taglio" nella parte a monte della fronte, generato dal congiungimento della roccia da entrambi i lati della terminazione glaciale esaminata. In tale circostanza la misurazione prende in considerazione la propaggine glaciale principale posta più a monte della "lente di ghiaccio morto", non più collegata ed alimentata dal bacino glaciale. La massa di ghiaccio morto presenta spessore ed area mediamente non rilevanti, di conseguenza è destinata a scomparire in una o più stagioni estive, nel caso il trend di riscaldamento continui.

Qualora la distanza tra il segnale e la fronte risulti essere troppo elevata, e preferibilmente mantenendo la direzione di misura inalterata, è possibile disporre un richiamo del segnale più a monte, riportando la distanza, possibilmente un multiplo di 10, nei pressi della più recente posizione frontale. Nel caso invece di avanzamento, com'è avvenuto nella breve parentesi tra la fine degli anni Settanta e l'inizio degli anni Ottanta del Novecento, è possibile posizionare dei segnali di richiamo, preferibilmente con uguale direzione di misura, più a valle dei precedenti, qualora si presuma che i segnali in questione possano essere ricoperti dall'avanzata del ghiacciaio durante la stagione successiva.

Le misurazioni vengono effettuate abitualmente col telemetro laser, che sfrutta la riflessione del raggio laser sulla superficie glaciale, per calcolare la distanza dal segnale alla fronte glaciale. Per effettuare una campagna glaciologica adeguata è inoltre opportuno:

- assumere la misura della quota della fronte;
- riportare la direzione e la posizione della fronte rispetto ad eventuali nuovi segnali;
- descrivere l'innnevamento presente dalla stagione precedente;
- indicare eventuali variazioni significative nel numero e nella morfologia dei crepacci;
- fare una prima considerazione dello stato del ghiacciaio a livello volumetrico;
- descrivere la presenza dell'eventuale copertura detritica;
- scattare le fotografie, possibilmente da stazioni fotografiche, in modo da aver nel tempo un confronto omogeneo delle immagini;
- descrivere l'eventuale presenza di vegetazione epiglaciale.

Nel complesso, da quando si hanno i valori delle misurazioni, l'arretramento complessivo ammonta a svariate centinaia di metri in tutte le fronti, con un'accelerazione nel ritiro che è andata a crescere in particolare dagli anni Novanta dello scorso secolo, fino ad arrivare a valori massimi di oltre 30 metri all'anno, considerando la media dei ritiri delle fronti rispetto a tutti i segnali monitorati. Le misure vengono effettuate da operatori del Comitato Glaciologico

Italiano; vengono pubblicate annualmente nei bollettini delle campagne glaciologiche sui ghiacciai italiani e riportate dai Comitati Glaciologici regionali e provinciali e dalla rivista “Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria”, scaricabile gratuitamente dal sito www.glaciologia.it.

Nelle sezioni successive verranno trattati i valori dei movimenti delle tre fronti, per i quattro archi temporali nei quali sono stati eseguiti monitoraggi frontali, corrispondenti a:

- 1902 – 1906;
- 1925 – 1938;
- 1951 – 1966;
- 1971 – 2015.

La raccolta dati avvenuta in questi quattro periodi permette di studiare con buon grado di dettaglio l'evoluzione dell'ultimo secolo della fronte del Ghiacciaio Principale della Marmolada. Le misurazioni compiute dal 1902 ad oggi, all'interno delle quattro serie temporali analizzate, hanno permesso di tracciare l'evoluzione della fronte, per 76 su 113 anni.

Nelle pagine seguenti, saranno trattati tutti i grafici che permettono di capire l'entità di tali movimenti, nei quattro archi temporali in questione.

6.2. Evoluzione delle fronti tra il 1902 ed il 1906

Nel settembre 1902 furono compiute dal professor Marinelli, sui ghiacciai della Marmolada, le prime osservazioni con scopi e metodi scientifici; egli ne rilevò le fronti, ne stabilì le posizioni altimetriche e pose dei segni di confronto per determinarne gli spostamenti (Toniolo, 1906).

Solo nel settembre del 1906 il professor Marinelli, accompagnato da Toniolo, fece ritorno sulle fronti, per controllarne le variazioni. Il ghiacciaio risultava essere compatto in tutta la sua larghezza, considerando una quota compresa tra i 2850 ed i 3100 metri. I due ricercatori osservarono un generale ritiro ed un abbassamento dello spessore glaciale nei pressi delle fronti. La fronte centrale presentava come unghia più avanzata quella occidentale e non più quella orientale, con terminazione unica e non più bifida; in questo punto la sua pendenza misurava 54° , valore che giustifica il facile distacco di lastroni di ghiaccio e quindi la veloce evoluzione morfologica.

I segni posti dal Marinelli nel 1902 furono quattro: uno sulla fronte occidentale, uno sulla fronte centrale e due sulla fronte orientale. Nel 1906 furono ritrovati i segni della fronte occidentale e quelli della centrale, mentre per la fronte orientale fu necessario il posizionamento di un nuovo segnale, a causa del franamento quasi completo della morena frontale, che determinò lo spostamento ed il mancato ritrovamento dei segnali posti nel 1902. I dati monitorati, con possibilità di comparazione tra loro, sono pochi, ma di fondamentale importanza, essendo i più antichi e dimostrando come già nei primi anni del Novecento fosse in atto un processo di ritiro. Tali dati sono stati raccolti nella tabella seguente:

Anno	Fronte centrale (m)	Fronte occidentale (m)
1902	0	0
1906	-1,1	-2,7

Tab. 6.2.1: Spostamenti delle fronti rispetto alla loro posizione nel 1902.

I rilievi compiuti da Marinelli hanno una precisione di 5 centimetri; dalla tabella e dalla descrizione si può constatare che nell'arco temporale considerato è avvenuto un lieve ritiro su tutte le fronti, con una riduzione anche del loro spessore.

Utilizzando i valori degli spostamenti della tabella precedente si può stimare che tra il 1902 ed il 1906 il ritiro medio delle due fronti in analisi sia stato di 1,9 m.

Nel dettaglio, per l'intervallo di tempo compreso tra il 1902 ed il 1906, i valori di ritiro nelle due fronti considerate ammontano a:

Fronte centrale:

1902 – 1906 → ritiro di 1,1 m – media di 0,3 m/anno

Fronte occidentale:

1902 – 1906 → ritiro di 2,7 m – media di 0,7 m/anno

Riportando i valori della tabella sui grafici, si ottengono i seguenti andamenti:

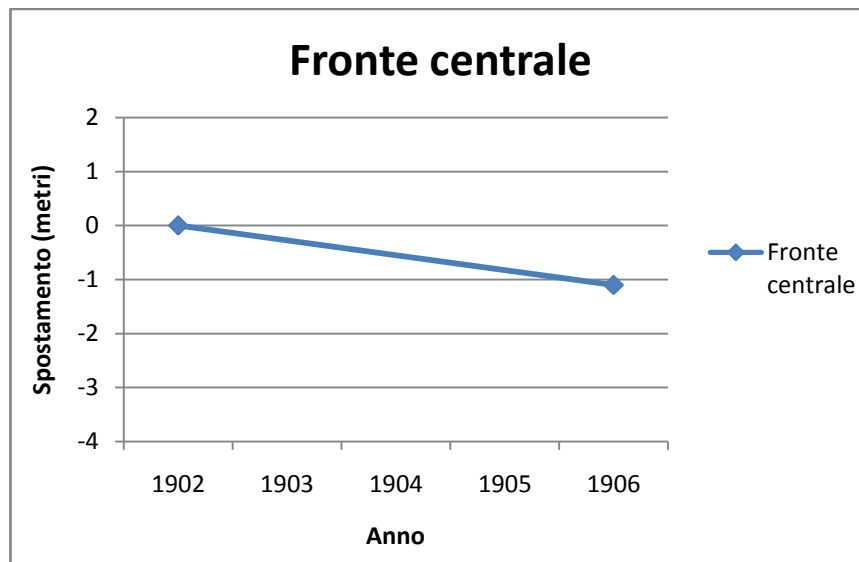


Fig. 6.2.1.: Spostamento della fronte centrale rispetto al segnale di misura.

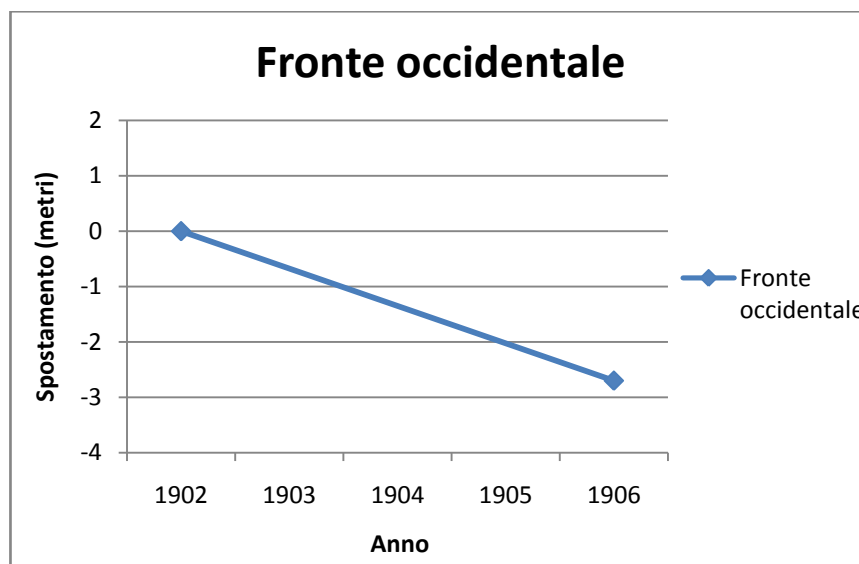


Fig. 6.2.2.: Spostamento della fronte occidentale rispetto al segnale di misura.

Il grafico seguente rappresenta il confronto tra le oscillazioni nella posizione delle fronti, nell'arco temporale compreso tra il 1902 ed il 1906.

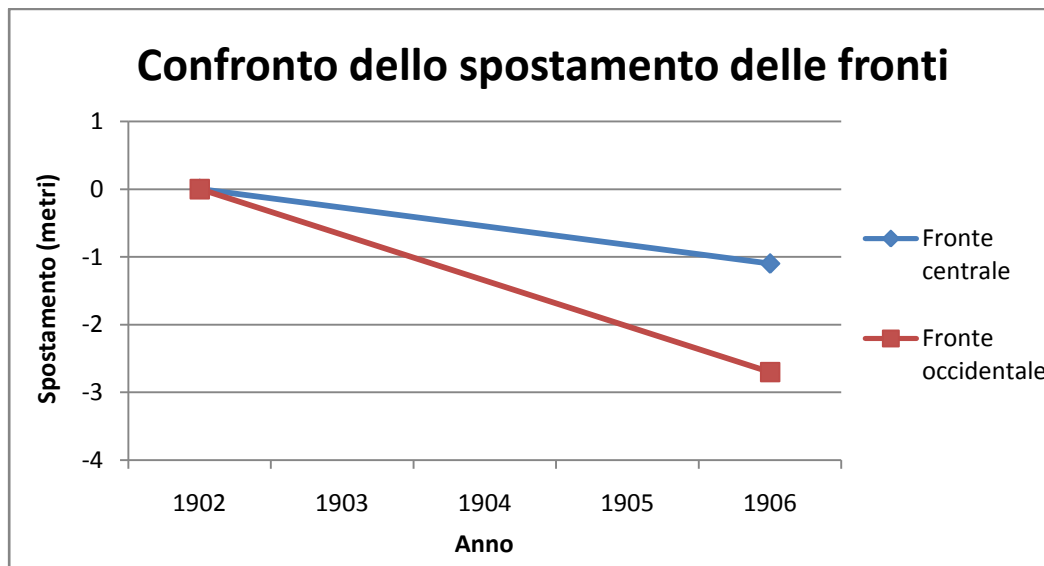


Fig. 6.2.3.: Confronto degli spostamenti delle fronti rispetto ai segnali di misura.

6.3. Evoluzione delle fronti tra il 1925 ed il 1938

La seguente tabella rappresenta i valori di spostamento annui delle fronti, calcolati come le medie dei valori di ritiro od avanzata registrati dai vari segnali relativi ad ogni fronte.

Anno	Fronte orientale (m)	Fronte centrale (m)	Fronte occidentale (m)
1925			
1926	0,8	1,65	-0,6
1927	-3,5	-0,75	-1,2
1928		-5,75	-3,3
1929	-26	-11,25	-4,45
1930	8	-1,7	-1,75
1931	-10	-8,15	-3,45
1932	-3,5	-4,35	-2,55
1933	-16,85	-4,4	-2,45
1934	-22,5	-2,9	-4
1935	1,05	-0,05	-0,4
1936	-2,7	-8,5	-7,3
1937		-1,05	-4,45
1938	-9,45	-25,4	-6,9

Tab. 6.3.1: Spostamenti delle fronti rispetto ai segnali di misura.

Dalla sommatoria dei valori di spostamento riportati nella tabella precedente, è possibile determinare l'ammontare del movimento totale della fronte, come visibile nella tabella seguente:

Anno	Fronte orientale (m)	Fronte centrale (m)	Fronte occidentale (m)
1925	0	0	0
1926	0,8	1,65	-0,6
1927	-2,7	0,9	-1,8
1928		-4,85	-5,1
1929	-28,7	-16,1	-9,55
1930	-20,7	-17,8	-11,3
1931	-30,7	-25,95	-14,75
1932	-34,2	-30,3	-17,3
1933	-51,05	-34,7	-19,75
1934	-73,55	-37,6	-23,75
1935	-72,5	-37,65	-24,15
1936	-75,2	-46,15	-31,45
1937		-47,2	-35,9
1938	-84,65	-72,6	-42,8

Tab. 6.3.2.: Spostamenti progressivi delle fronti rispetto ai segnali di misura.

Come si evince dalla tabella, nel periodo analizzato è avvenuto un ritiro dell'ordine di svariate decine di metri su ciascuna delle fronti del ghiacciaio.

Le cifre significative riportate considerano anche i centesimi, cioè presentano due cifre decimali, perché nei rilievi fatti in quest'arco temporale la precisione avuta dai rilevatori era di 5 centimetri. Tale precisione è stata poi persa nel tempo, non per approssimatezza degli operatori, quanto per la difficoltà oggettiva nel poter stimare con simile dettaglio la fronte glaciale, potendo indicare così un dato certamente veritiero.

Si può stimare, partendo dalla media delle sommatorie degli spostamenti, come tra il 1925 ed il 1938, il ritiro medio delle tre fronti sia stato di 66,7 m.

Riassumendo si hanno quindi i seguenti valori di ritiro, per l'intervallo di tempo compreso tra il 1925 ed il 1938, nelle tre fronti considerate:

Fronte orientale:

1925 – 1938 → ritiro di 84,65 m – media di 6,5 m/anno

Fronte centrale:

1925 – 1938 → ritiro di 72,6 m – media di 5,6 m/anno

Fronte occidentale:

1925 – 1938 → ritiro di 42,8 m – media di 3,3 m/anno

Per l'arco temporale tra il 1925 ed il 1938, anni in cui sono state svolte con completa continuità le campagne glaciologiche, i grafici che esprimono i valori degli spostamenti cumulati nel tempo, rispetto ai segnali descritti in legenda, relativamente alle tre fronti, sono:

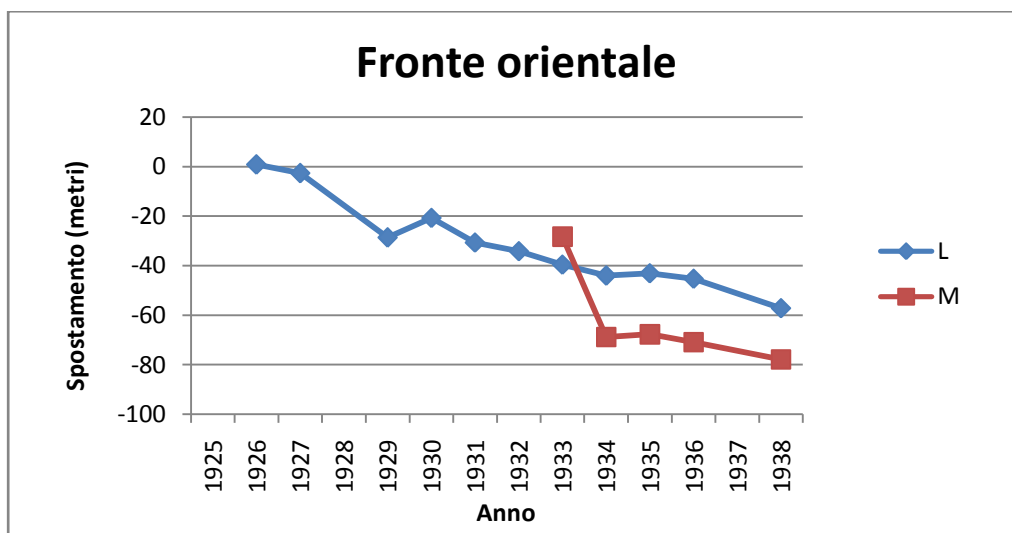


Fig. 6.3.1.: Spostamento della fronte orientale rispetto ai segnali di misura.

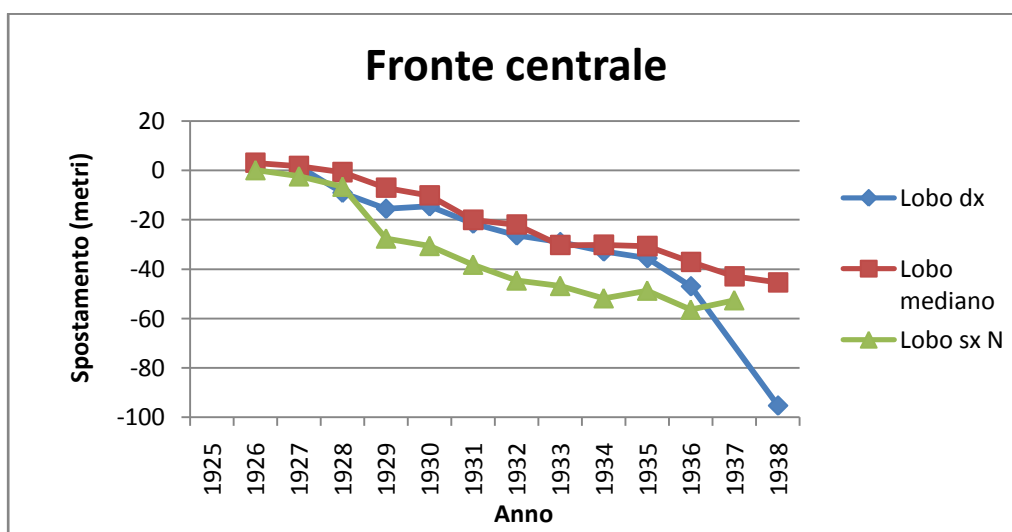


Fig. 6.3.2.: Spostamento della fronte centrale rispetto ai segnali di misura.

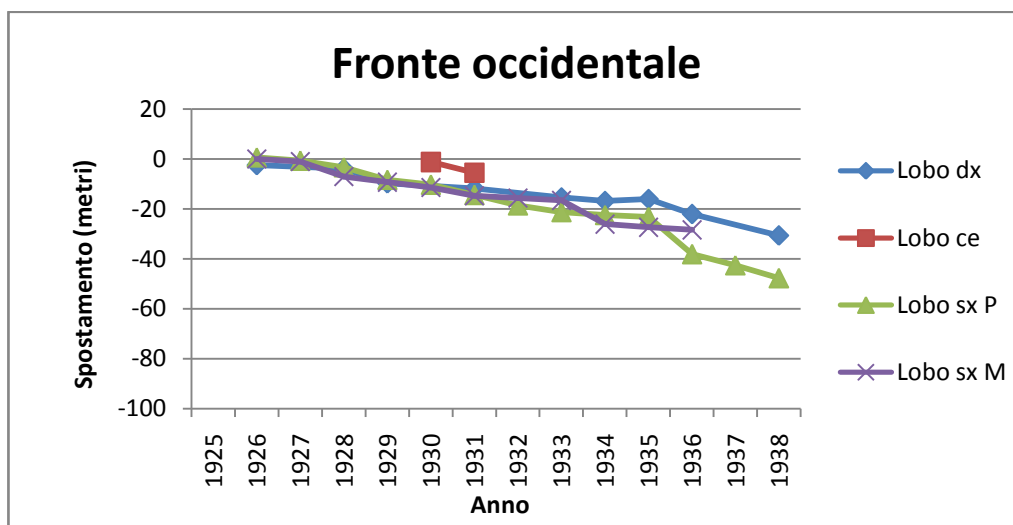


Fig. 6.3.3.: Spostamento della fronte occidentale rispetto ai segnali di misura.

Il grafico seguente rappresenta il confronto tra le oscillazioni nella posizione delle fronti, nell'arco temporale compreso tra il 1925 ed il 1938.

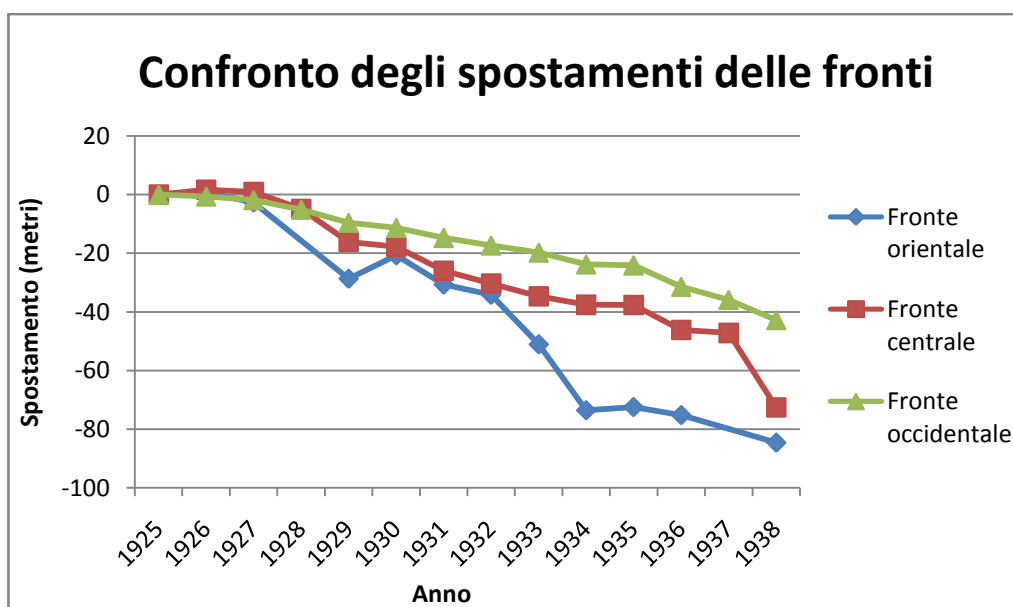


Fig. 6.3.4.: Confronto degli spostamenti delle fronti rispetto ai segnali di misura.

6.4. Evoluzione delle fronti tra il 1951 ed il 1966

Sulla base del rilievo austriaco utilizzato per la creazione della “Karte der Marmolatagruppe” (Aegerter, 1905), nella seguente tabella sono stati riportati i valori dei movimenti delle fronti, a partire dall’originaria posizione occupata dalle stesse nel 1905, considerando gli spostamenti rispetto alla misurazione precedente (Tonini e Rossi, 1965-1969).

Anno	Fronte orientale (m)	Fronte centrale (m)	Fronte occidentale (m)
1905			
1951	-117	-87	-95
1955	-49	-23	-75
1959	-14	-127	-33
1964	-18	-16	-56
1966	-17	37	11

Tab. 6.4.1.: Spostamenti delle fronti rispetto alla posizione occupata nel 1905.

Dalla sommatoria dei valori di spostamento riportati nella tabella precedente, è possibile determinare l’ammontare del movimento totale della fronte, come visibile nella tabella seguente:

Anno	Fronte orientale (m)	Fronte centrale (m)	Fronte occidentale (m)
1905	0	0	0
1951	-117	-87	-95
1955	-166	-110	-170
1959	-180	-237	-203
1964	-198	-253	-259
1966	-215	-216	-248

Tab. 6.4.2.: Valori delle distanze tra l’originaria posizione delle fronti nel 1905 e quella assunta tra il 1951 ed il 1966 (Tonini e Rossi, 1965-1969).

Tra il 1905 ed il 1966, il ritiro medio delle tre fronti è stato di 226 metri.
Tra il 1951 ed il 1966, il ritiro medio delle tre fronti è stato di 127 metri.

Le variazioni medie delle tre fronti nei due archi temporali considerati sono:

1905 – 1951 → ritiro di 100 m – media di 2,2 m/anno

1951 – 1966 → ritiro di 127 m – media di 8,4 m/anno

Nel dettaglio si hanno i seguenti valori di ritiro, per i diversi intervalli di tempo, nelle tre fronti considerate:

Fronte orientale:

1905 – 1951 → ritiro di 117 m – media di 2,5 m/anno

1951 – 1966 → ritiro di 98 m – media di 6,5 m/anno

Fronte centrale:

1905 – 1951 → ritiro di 87 m – media di 1,9 m/anno

1951 – 1966 → ritiro di 129 m – media di 8,6 m/anno

Fronte occidentale:

1905 – 1951 → ritiro di 95 m – media di 2,1 m/anno

1951 – 1966 → ritiro di 153 m – media di 10,2 m/anno

Per il ritiro totale, negli archi temporali considerati, è stata mantenuta come cifra significativa quella delle unità, mentre è stata utilizzata la prima cifra decimale per i valori del ritiro medio annuo, poiché in questo caso i decimi presentano una maggior importanza dal punto di vista della precisione scientifica.

Da questa prima analisi è evidente come il ritiro nei 15 anni seguenti al 1951 sia di entità notevolmente superiore rispetto a quello in atto nella prima metà del Novecento, con media di ritiro annua che passa da 2,2 ad 8,4 m/anno. Relativamente a questo trend generale di notevole ritiro, si può osservare, nella tabella soprastante e nei grafici associati, come ci sia una variazione di tendenza negli ultimi anni di misurazioni, con ritiro che va diminuendo di entità e con presenza di valori che indicano piccolo avanzamento durante la campagna glaciologica del 1966.

I grafici riguardanti l'arco temporale in esame, in relazione alla posizione della fronte nel 1905, sono:

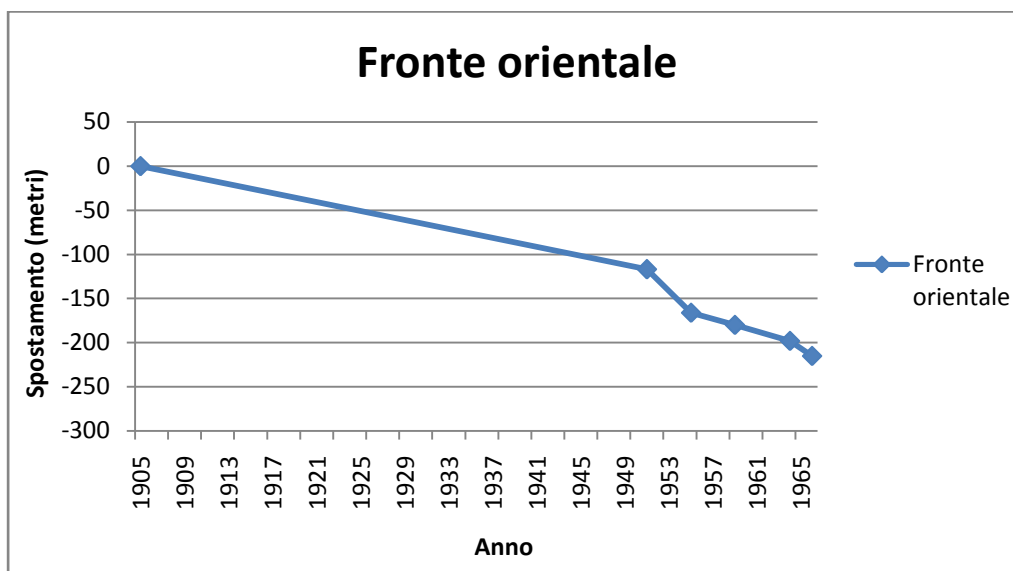


Fig. 6.4.1.: Spostamento della fronte orientale rispetto alla posizione occupata nel 1905.

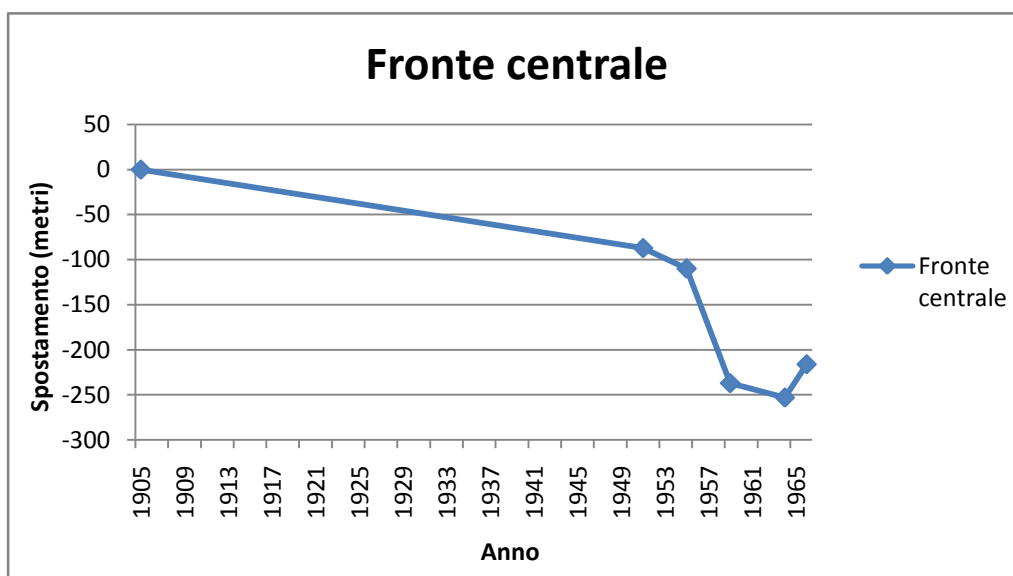


Fig. 6.4.2.: Spostamento della fronte centrale rispetto alla posizione occupata nel 1905.

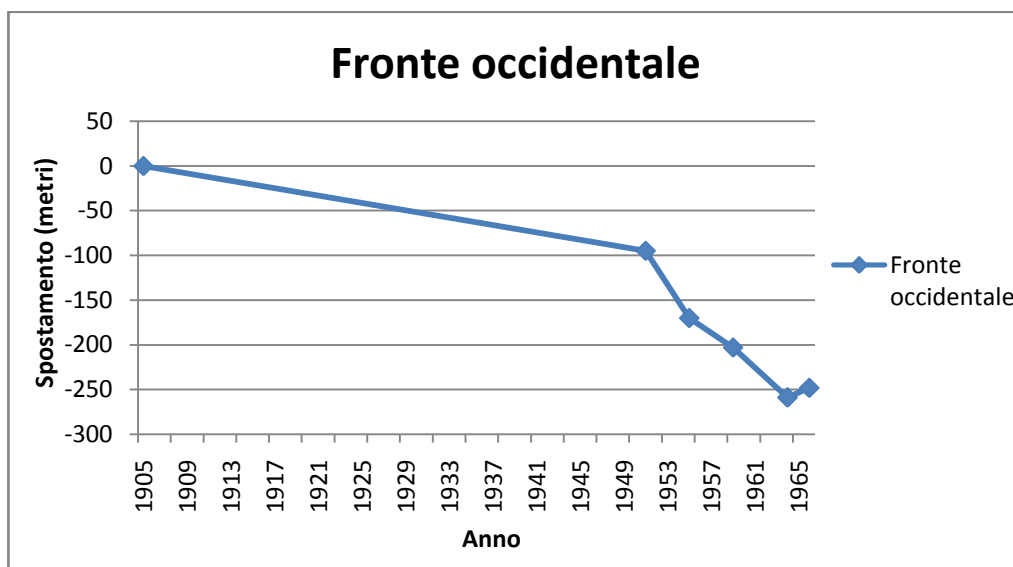


Fig. 6.4.3.: Spostamento della fronte occidentale rispetto alla posizione occupata nel 1905.

Il grafico seguente rappresenta il confronto tra le oscillazioni nella posizione delle fronti, nell'arco temporale compreso tra il 1951 ed il 1966, considerando anche i valori della misurazione compiuta nel 1905.

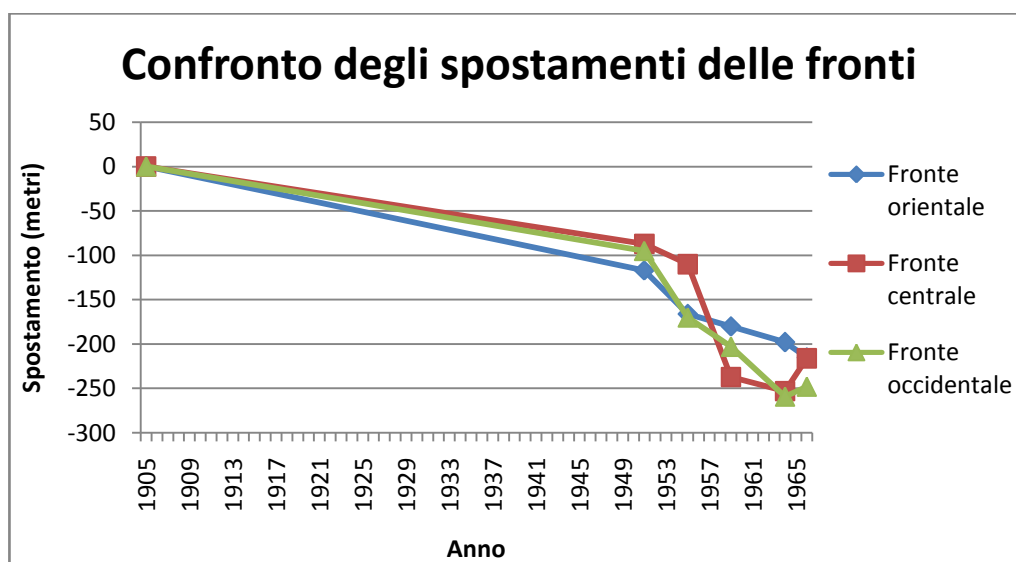


Fig. 6.4.4.: Confronto degli spostamenti delle fronti rispetto alla posizione del 1905.

I grafici riguardanti le variazioni frontali avvenute esclusivamente nell'arco temporale in esame, ed inserite in forma cumulata, invece sono i seguenti:

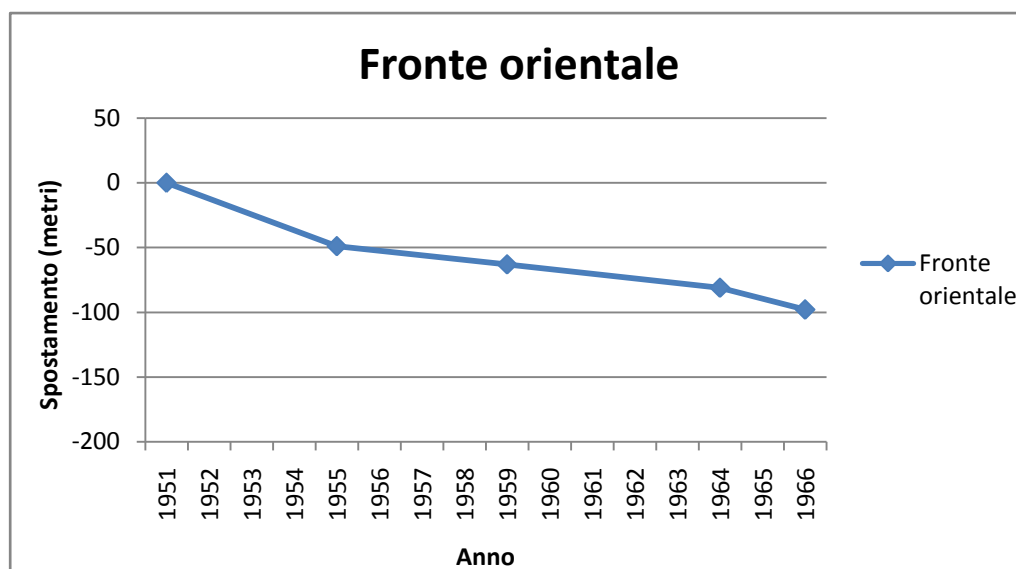


Fig. 6.4.5.: Spostamento della fronte orientale rispetto ai segnali di misura.

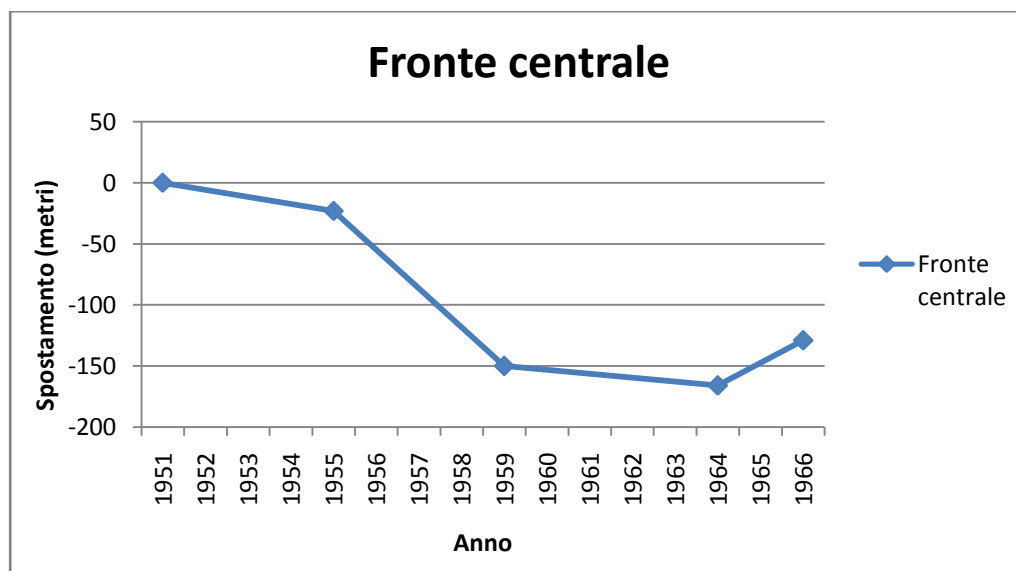


Fig. 6.4.6.: Spostamento della fronte centrale rispetto ai segnali di misura.

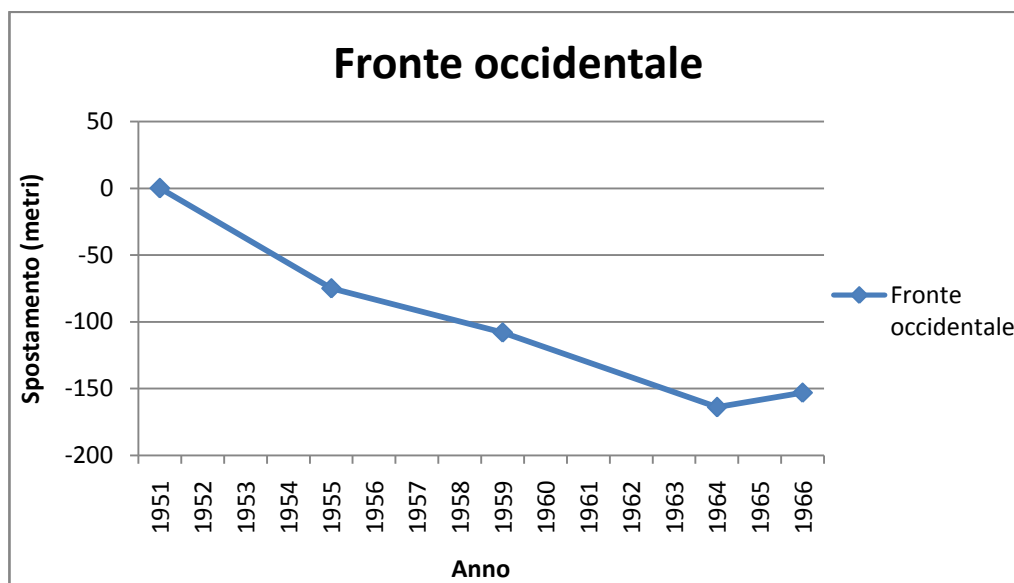


Fig. 6.4.7.: Spostamento della fronte occidentale rispetto ai segnali di misura.

Dai grafici è possibile osservare come:

- la fronte orientale abbia subito un ritiro quasi costante;
- la fronte centrale abbia subito un forte ritiro tra il 1955 ed il 1959, ed un'avanzata tra il 1964 ed il 1966;
- la fronte occidentale abbia subito un notevole e pressoché costante ritiro dal 1951 al 1964, ed un'avanzata tra il 1964 ed il 1966.

Le importanti oscillazioni della fronte centrale, con evidenti pulsazioni e minor linearità di movimento, possono essere viste come un veloce riflesso della situazione del ghiacciaio a monte, essendo questa fronte alimentata dalla parte meno spessa del ghiacciaio.

Il grafico seguente rappresenta il confronto tra le oscillazioni nella posizione delle fronti, considerando unicamente l'arco temporale compreso tra il 1951 ed il 1966.

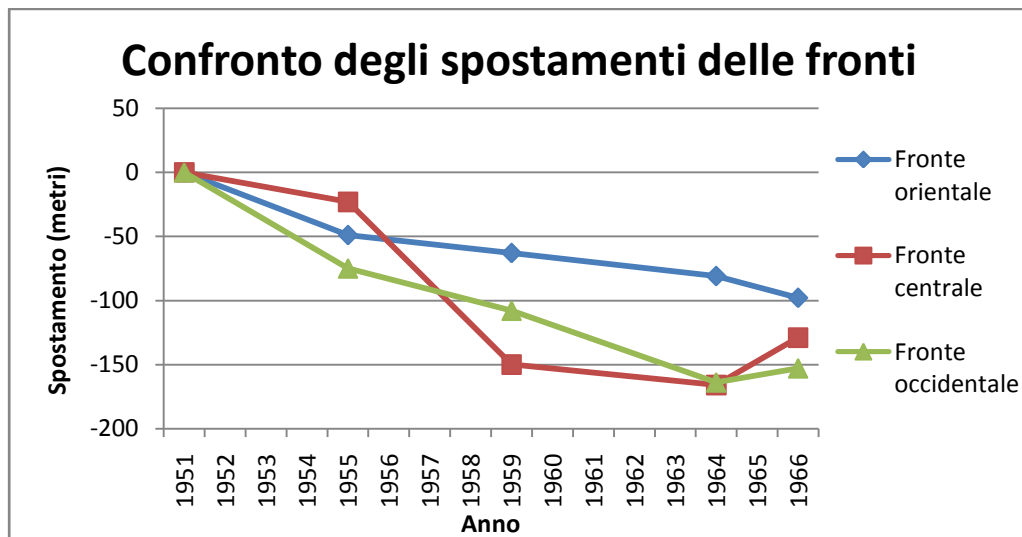


Fig. 6.4.8.: Confronto degli spostamenti delle fronti rispetto ai segnali di misura.

6.5. Evoluzione delle fronti tra il 1971 ed il 2015

Riguardo l'arco temporale tra il 1971 ed il 2015, la seguente tabella rappresenta i valori di spostamento annui delle fronti, calcolati come le medie dei valori di ritiro od avanzata registrati rispetto alle misurazioni precedenti dei vari segnali relativi ad ogni fronte.

Anno	Fronte orientale (m)	Fronte centrale (m)	Fronte occidentale (m)
1971			
1972	0	4	0
1973	-11	-19	-34
1974			-10
1975	2	18	26
1976			
1977			
1978		0	
1979	3	3	2
1980	9	19	-3
1981	-16	2	-11
1982			
1983			
1984			
1985		10	-30
1986		-1	-5
1987			
1988	-14	-6	
1989			
1990	-6	-1	1
1991	-18	-12	-9
1992	-17	-14	-1

1993			
1994	-8	-10	-14
1995			
1996	-7	-9	-6
1997	-3		-1
1998			
1999	-7	-3	-8
2000	-17		-8
2001	4	-327	-119
2002	-11	-18	-11
2003	-25	-90	-34
2004	4	-20	-3
2005	-13	-26	-10
2006	-5	4	-10
2007	-15	-9	-10
2008	-7	-17	-73
2009	-2	-4	0
2010	-2	3	2
2011	-2	-90	-8
2012	-11	-5	-7
2013	-1	0	-3
2014			
2015	-17	-16	-117

Tab. 6.5.1: Spostamenti delle fronti rispetto ai segnali di misura.

La cifra significativa mantenuta è quella delle unità, perché nei rilievi compiuti durante quest'arco temporale tale è la precisione fornita dalla strumentazione tecnica e tale è la scelta maturata dall'esperienza dei rilevatori.

A partire dalla sommatoria dei valori di spostamento riportati nella tabella precedente, è stato possibile determinare l'ammontare del movimento totale per ognuna delle tre fronti, come visibile nella tabella seguente:

Anno	Fronte orientale (m)	Fronte centrale (m)	Fronte occidentale (m)
1971	0	0	0
1972	0	4	0
1973	-11	-15	-34
1974			-44
1975	-9	3	-18
1976			
1977			
1978		3	
1979	-6	6	-16
1980	3	25	-19
1981	-13	27	-30
1982			
1983			
1984			
1985		37	-60
1986		36	-65
1987			
1988	-27	30	
1989			
1990	-33	29	-64
1991	-51	17	-73
1992	-68	3	-74
1993			
1994	-76	-7	-88
1995			

1996	-83	-16	-94
1997	-86		-95
1998			
1999	-93	-19	-103
2000	-110		-111
2001	-106	-346	-230
2002	-117	-364	-241
2003	-142	-454	-275
2004	-138	-474	-278
2005	-151	-500	-288
2006	-156	-496	-298
2007	-171	-505	-308
2008	-178	-522	-381
2009	-180	-526	-381
2010	-182	-523	-379
2011	-184	-613	-387
2012	-195	-618	-394
2013	-196	-618	-397
2014			
2015	-213	-634	-514

Tab. 6.5.2.: Spostamenti progressivi delle fronti rispetto ai segnali di misura.

La cifra significativa mantenuta è quella delle unità, corrispondente alla precisione avuta dai rilevatori nei rilievi svolti in quest'arco temporale.

Nel periodo analizzato, che va dal 1971 al 2015, su tutte le fronti è avvenuto un ritiro dell'ordine di svariate centinaia di metri. Utilizzando la media dei valori cumulati dei tre movimenti, riportati nella tabella precedente, si può stimare un ritiro medio delle tre fronti di 454 m.

Riassumendo, si hanno quindi i seguenti valori di ritiro, per l'intervallo di tempo compreso tra il 1971 ed il 2015, nelle tre fronti considerate:

Fronte orientale:

1971 – 2015 → ritiro di 213 m – media di 4,8 m/anno

Fronte centrale:

1971 – 2015 → ritiro di 634 m – media di 14,4 m/anno

Fronte occidentale:

1971 – 2015 → ritiro di 514 m – media di 11,7 m/anno

I valori medi di ritiro di questo periodo risultano drastici, in particolare se confrontati con gli altri archi temporali presi in analisi.

Analizzando con maggior dettaglio l'arco temporale tra il 1971 ed il 2015, suddividendolo in decenni, è possibile compiere osservazioni di maggior precisione, come riportato in seguito.

Fronte orientale:

1971 – 1980 → avanzata di 3 m – media di 0,3 m/anno

1980 – 1990 → ritiro di 36 m – media di 3,6 m/anno

1990 – 2000 → ritiro di 77 m – media 7,7 m/anno

2000 – 2015 → ritiro di 103 m – media di 6,9 m/anno

Fronte centrale:

1971 – 1980 → avanzata di 25 m – media di 2,8 m/anno

1980 – 1990 → avanzata di 4 m – media di 0,4 m/anno

1990 – 2001 → ritiro di 375 m – media di 37,5 m/anno

2001 – 2015 → ritiro di 288 m – media di 19,2 m/anno

Fronte occidentale:

1971 – 1980 → ritiro di 19 m – media di 2,1 m/anno

1980 – 1990 → ritiro di 45 m – media di 4,5 m/anno

1990 – 2000 → ritiro di 47 m – media di 4,7 m/anno

2000 – 2015 → ritiro di 403 m – media di 26,9 m/anno

Questo studio, suddiviso principalmente in decenni, in base anche agli anni in cui sono state svolte misurazioni, permette di osservare alcune caratteristiche molto importanti, che hanno notevolmente influito sulla copertura glaciale:

- nel decennio degli anni Settanta infatti si può constatare come il ghiacciaio sia avanzato nelle fronti orientale e centrale, mentre ha continuato a ritirarsi in quella occidentale;

- nel decennio degli anni Ottanta, successivo alla pulsazione positiva degli anni Settanta, si può notare che la fronte centrale ha continuato ad avanzare, anche se con inerzia in esaurimento, mentre il ghiacciaio ha iniziato a ritirarsi nella fronte orientale ed ha aumentato la velocità di ritiro in quella occidentale;

- nel decennio degli anni Novanta anche la fronte centrale si è ritirata, a seguito del distacco di un notevole lembo di ghiaccio, contemporaneamente all'incremento della velocità di ritiro delle fronti orientale ed occidentale;

- nel nuovo millennio il ritiro è apparso veloce e generalizzato su tutte e tre le fronti, determinando anche nella fronte occidentale il distacco di lembi glaciali.

I valori più moderati di ritiro si sono verificati nella fronte orientale, che, seppure anch'essa fortemente colpita da questo fenomeno, risulta resistere a quote inferiori grazie alla maggior schermatura all'insolazione offerta dalle pareti della cresta del Serauta. Per tale motivo è stata la terminazione glaciale che, col passare dei decenni, ha continuato a sopravvivere ad una quota inferiore.

Per l'arco temporale tra il 1971 ed il 2013, i grafici che esprimono i valori degli spostamenti cumulati nel tempo, rispetto ai segnali descritti in legenda, relativamente alle tre fronti, sono i seguenti:

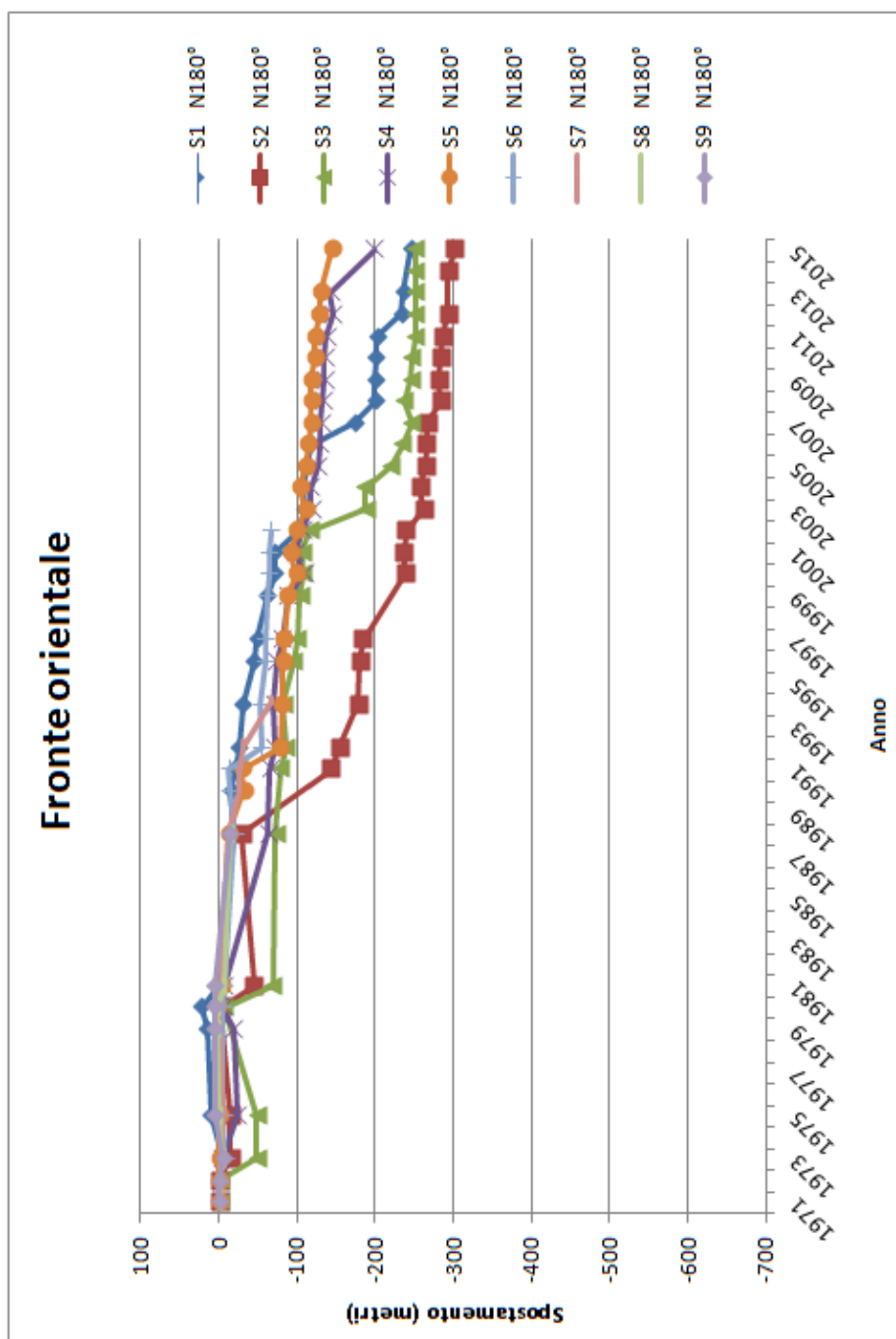


Fig. 6.5.1.: Spostamento della fronte orientale rispetto ai segnali di misura.

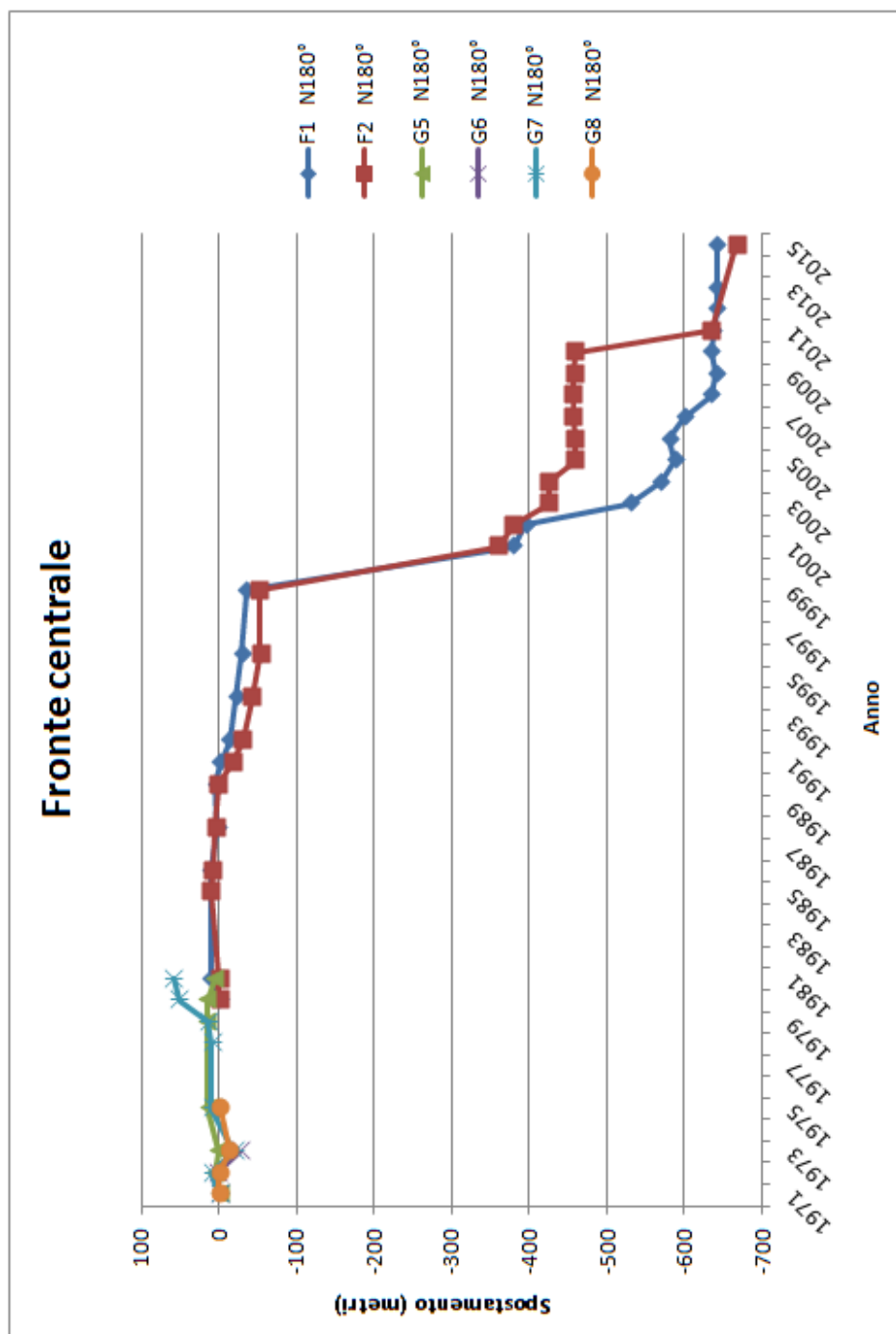


Fig. 6.5.2.: Spostamento della fronte centrale rispetto ai segnali di misura.

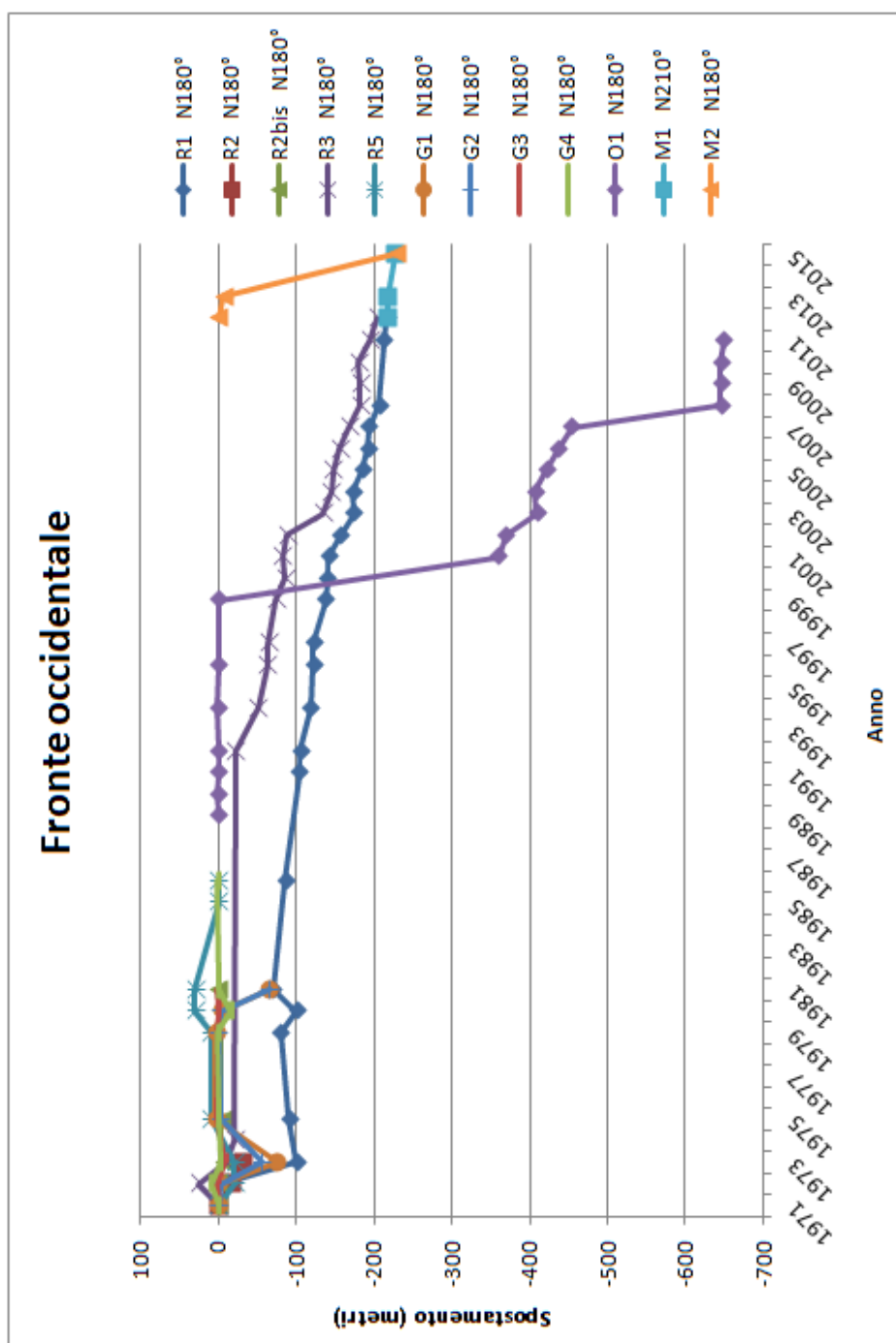


Fig. 6.5.3.: Spostamento della fronte occidentale rispetto ai segnali di misura.

Il grafico seguente rappresenta il confronto tra le oscillazioni nella posizione delle fronti, nell'arco temporale compreso tra il 1971 ed il 2015, considerando la cumulata dei valori medi degli spostamenti registrati per ogni fronte.

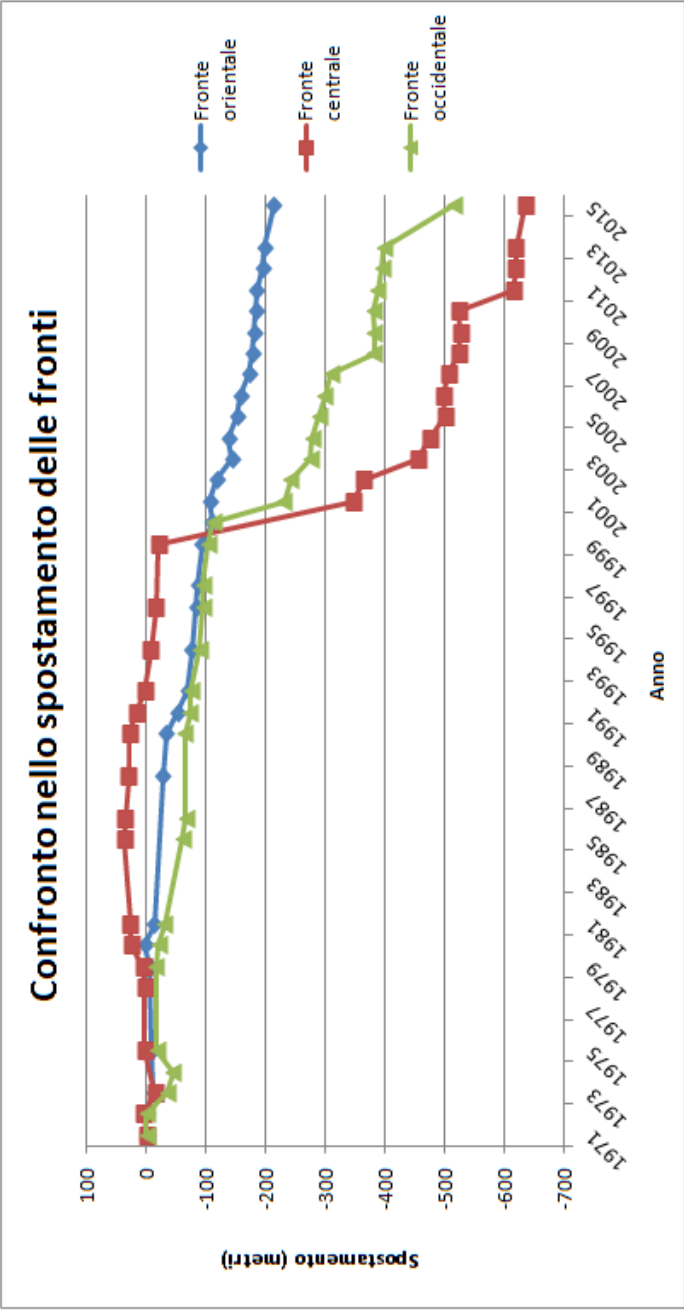


Fig. 6.5.4.: Confronto degli spostamenti delle fronti rispetto ai segnali di misura.

6.6. Quota delle fronti

Con lo scorrere del tempo, la quota delle fronti è variata, in relazione ai movimenti, precedentemente descritti, compiuti dal ghiacciaio. A causa del trend medio di ritiro subito dal corpo glaciale, le fronti hanno registrato un arretramento, con relativo innalzamento di quota determinato dal loro posizionamento sempre più a monte. Dallo studio dei bollettini stilati annualmente dal Comitato Glaciologico Italiano, è possibile costruire un grafico con l'evoluzione dell'altezza delle tre fronti dal 1985, anno del primo inserimento di questi dati, ad oggi. Nonostante il periodo di tempo di soli 25 anni, è possibile osservare una radicale variazione di quota per le tre terminazioni glaciali.

È possibile osservare come le fronti abbiano subito un aumento di quota compreso tra i 150 ed i 300 metri. La fronte orientale risulta essere quella che ha subito la minor variazione di quota perché è la più protetta dalle sovrastanti pareti del Serauta, mentre la fronte centrale appare quella con la maggior variazione di quota, perché nella parte terminale presentava il lembo di più modesta dimensione, compreso tra il Sass delle Undici ed il Sass delle Dodici.

Riguardo la fronte orientale, nella sua estremità più ad est, le valutazioni frontali risultano sempre più difficili, a causa della formazione di varie falde detritiche, ricoprenti i glacionevati disposti a forma di conoide sotto i principali canali delle pareti del Serauta, le quali alimentano tali accumuli attraverso le valanghe, ma contemporaneamente ne determinano il ricoprimento con le naturali scariche di sassi tipiche in tali ammassi rocciosi.

Dai dati elaborati si determina il seguente grafico, nel quale si può apprezzare la variazione della quota delle fronti dal 1985 al 2015:

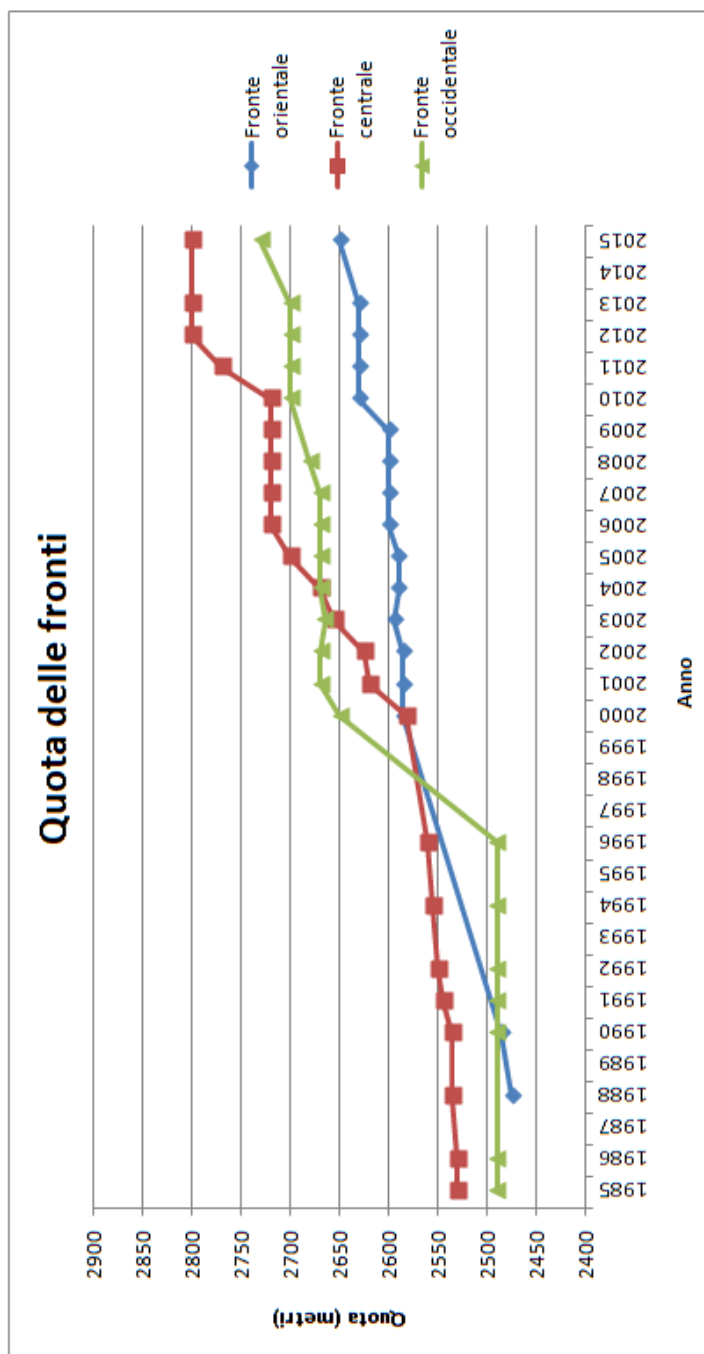


Fig. 6.6.1.: Variazione della quota delle fronti.

In tale grafico sono state corrette le altezze della fronte centrale per le annate 2000, 2001, 2002, abbassandole di 100 metri di dislivello, probabilmente per svista dell'operatore o errata trascrizione. Tale considerazione è possibile in quanto un simile aumento di quota non sarebbe giustificabile in un arco temporale così ridotto, al quale inoltre sarebbe dovuto seguire un deciso progresso. I valori registrati delle distanze tra i segnali e le fronti, presenti sul bollettino del Comitato Glaciologico Italiano, ed analizzati alle pagine precedenti verificano il trend di continuo ritiro, e di conseguenza le correzioni descritte.

E' inoltre possibile analizzare l'evoluzione della quota delle fronti considerando anche il precedente valore di quota della terminazione glaciale, riportata nella "Rivista di fisica, matematica e scienze naturali" (Toniolo 1907), come apprezzabile nel grafico seguente:

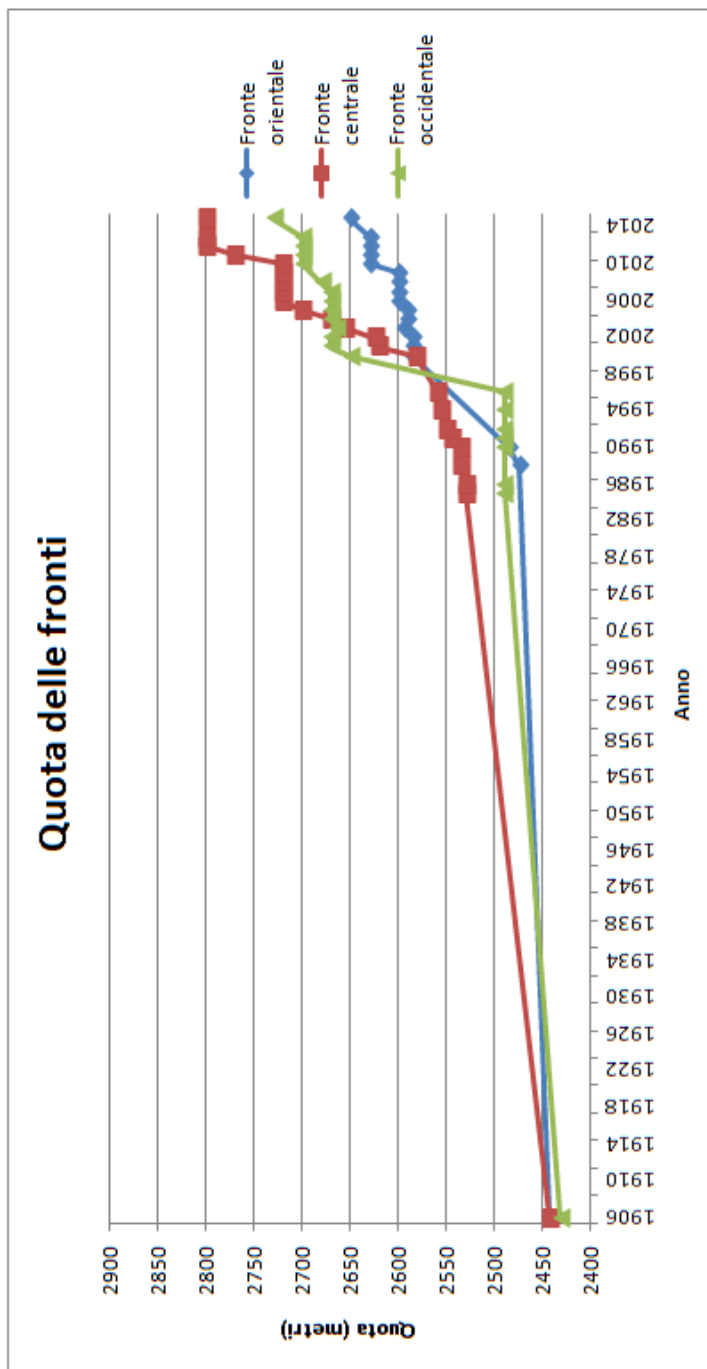


Fig. 6.6.2.: Variazione della quota delle fronti dal 1906 al 2015.

7. Archivio fotografico

7.1. Raccolta del materiale fotografico

In questo capitolo è riportato lo studio riguardante la componente fotografica, relativamente al sistema glaciale del massiccio della Marmolada.

Nei sottocapitoli presenti vengono trattate le componenti per le quali è stato possibile compiere un processo di confronto; in particolare sono dedicate trattazioni specifiche per le fronti orientale, centrale ed occidentale, e per le panoramiche effettuate su tale complesso glaciale.

Gli scatti fotografici che rappresentano la Marmolada sono stati originati dal suo fascino ed accresciuti dalla sua notorietà; attualmente consentono la possibilità di approfondire lo studio dell'evoluzione dei suoi ghiacciai, trasformandosi in informazioni dall'elevata importanza scientifica. Un ulteriore fattore fondamentale per l'acquisizione di tale patrimonio è la semplice accessibilità alle zone antistanti la fronte, sia nelle verdi aree del passo Fedaiia sia lungo la catena del Padon, zone che nel passato venivano adibite soprattutto a pascoli.

Il materiale pittorico e fotografico, inizialmente acquisito per la bellezza dei luoghi riportati nelle rappresentazioni paesaggistiche, fu col tempo affiancato da rappresentazioni fotografiche a carattere scientifico, svolte sistematicamente sulle zone glaciali di maggiore interesse, in primis le fronti. Spesso le fotografie vennero scattate da punti di riferimento fissi, denominati stazioni fotografiche, cercando anche di mantenere la stessa angolatura e dimensione delle immagini, per permettere un confronto successivo più immediato.

Il materiale analizzato per questa ricerca ammonta a molte migliaia di foto, reperite principalmente grazie allo stage compiuto nella sede del C.G.I. a Torino. Durante questa esperienza sono state scansionate le foto provenienti da diapositive, negativi e stampe da pellicola fotografica, svolte nei decenni dagli

operatori glaciologici che meticolosamente si sono preoccupati di fornire tale materiale alla sede principale. In aggiunta sono state fornite acquisizioni precedenti già trasformate in formato digitale, derivanti da materiali di varie tipologie, come stampe all'albumina e stampe alla gelatina bromuro d'argento. La fruttuosa collaborazione del C.G.I., particolarmente nelle persone del professor Giovanni Mortara e del dottor Stefano Perona, ha permesso anche di poter visionare la ricca collezione della biblioteca del Club Alpino Italiano (CAI), nato anch'esso a Torino, ottenendo un elevato numero di rare fotografie, derivanti dalle collezioni possedute dallo stesso. A questo materiale si aggiunge quello gentilmente fornito dai rilevatori del massiccio della Marmolada e dell'area dolomitica, quali Aldino Bondesan, Mauro Varotto, Francesco Ferrarese, Alberto Carton, Giuseppe Perini, Enrico Valcanover, oltre ad altri conoscenti che gentilmente hanno contribuito per quest'inedita raccolta che fotograficamente permette di seguire l'evoluzione del più grande ghiacciaio dolomitico.

Le fotografie illustrate nelle pagine seguenti sono state scelte in base al soggetto fotografato, cercando di privilegiare quelle con simile prospettiva e medesimo punto di ripresa. Nonostante ciò, non sempre è stato possibile avere serie di fotografie omogenee tra loro, poiché i parametri precedentemente descritti non sono stati rispettati con continuità nel tempo, quindi si è scelto di inserire anche diverse fotografie che potessero dare un contributo al catalogo creato.

Altre problematiche presenti nelle fotografie sono la copertura nevosa, che non permette di determinare l'esatta posizione della fronte, la copertura nuvolosa che talvolta limita la visuale e la luce non sempre ideale nelle quale gli scatti fotografici sono stati compiuti.

Gli elementi fondamentali che si possono osservare per apprezzare l'evoluzione del ghiacciaio nella successione fotografica sono in particolare la comparsa di finestre rocciose, il distacco di lembi glaciali e la modificazione degli spessori che, in presenza di punti di riferimento, diminuiscono progressivamente.

Negli ultimi due decenni sono ormai scomparse anche le famose strutture di ghiaccio createsi quando il ghiacciaio presentava spessori ed attività più ingenti di quelle di oggi. Alcune foto ne testimoniano la presenza e dimostrano quanto gli uomini della prima metà del Novecento ne fossero attratti e affascinati.

7.2. Fronte orientale

La sequenza fotografica raccolta permette uno studio della fronte orientale del Ghiacciaio Principale della Marmolada tra il 1996 ed il 2013, grazie ad una serie di fotografie scattate su due diverse zone.

Riguardo la prima zona considerata, è possibile vedere come in due annate, tra il 1997 ed il 1999, la fronte abbia perso spessore e contemporaneamente si sia ritratta. Le fotografie sono state scattate dal segnale di misura S2, durante le campagne glaciologiche, da Ugo Mattana.



Fig. 7.2.1.: Fotografia scattata nel 1997 dal segnale di misura S2, dal rilevatore Ugo Mattana.



Fig. 7.2.2.: Fotografia scattata nel 1999 dal segnale di misura S2, dal rilevatore Ugo Mattana.

Riguardo la seconda zona considerata, di cui la sequenza temporale è compresa tra il 2003 ed il 2013, si può notare come negli anni si vada ad aprire una finestra rocciosa che aumenta le proprie dimensioni, fino a congiungersi lateralmente con la roccia in posto, determinando una doppia curva nel lembo glaciale ancor oggi presente, molto sottile e limitato unicamente alla parte basale dell'avvallamento interposto tra le due prominenze rocciose circostanti. Le fotografie sono state scattate durante le campagne glaciologiche dal professor Mauro Varotto. Inoltre dal 2009 è possibile osservare, in prossimità della terminazione della fronte, la presenza di un lembo nevoso, frutto della preservazione avvenuta per merito di teli isolanti, disposti ai fini del ripascimento della pista da sci discendente dal rifugio Serauta.



Fig. 7.2.3.: Fotografia scattata nel 2003 dal rilevatore Mauro Varotto.



Fig. 7.2.4.: Fotografia scattata nel 2005 dal rilevatore Mauro Varotto.



Fig. 7.2.5.: Fotografia scattata nel 2006 dal rilevatore Mauro Varotto.



Fig. 7.2.6.: Fotografia scattata nel 2007 dal rilevatore Mauro Varotto.



Fig. 7.2.7.: Fotografia scattata nel 2007 dal rilevatore Mauro Varotto.



Fig. 7.2.8.: Fotografia scattata nel 2008 dal rilevatore Mauro Varotto.



Fig. 7.2.9.: Fotografia scattata nel 2009 dal rilevatore Mauro Varotto.

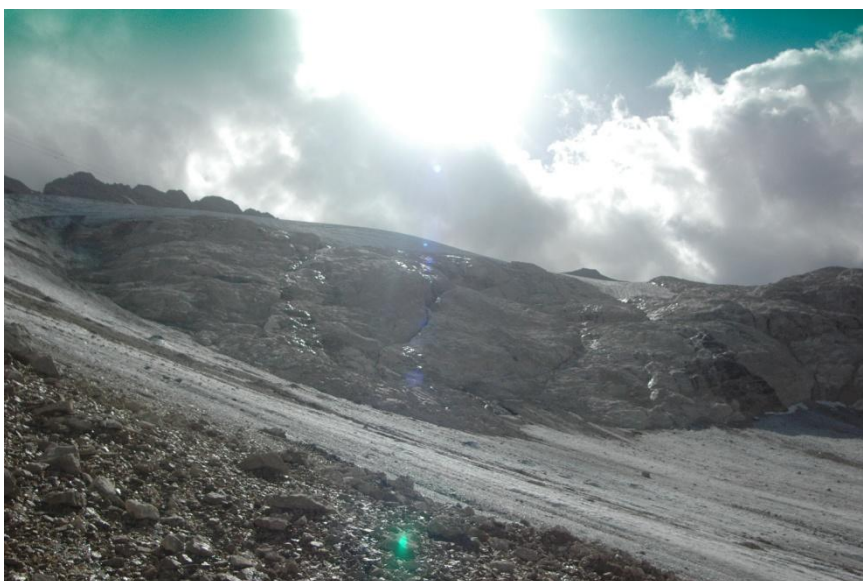


Fig. 7.2.10.: Fotografia scattata nel 2011 dal rilevatore Mauro Varotto.



Fig. 7.2.11.: Fotografia scattata nel 2013 dal rilevatore Mauro Varotto.

7.3. Fronte centrale

La sequenza fotografica raccolta permette uno studio della fronte centrale del Ghiacciaio Principale della Marmolada tra il 1984 ed il 2009, grazie a fotografie che riprendono in modo didattico e ordinato l'evoluzione della fronte glaciale.

Nell'arco temporale analizzato, sono presi in particolare considerazione due distacchi glaciali che hanno determinato un arretramento di varie centinaia di metri, come mostrato mediante tabelle, grafici e descrizioni nel capitolo precedente. Mediante le fotografie è possibile ripercorrere questa sequenza, comprendendo al meglio l'entità del ritiro, la variazione della superficie glacializzata e la modificazione degli spessori.

Nella prima prospettiva indagata è possibile osservare l'arretramento principale subito dalla fronte centrale, con l'importante distacco della terminazione glaciale avvenuto nel 2000, dopo un progressivo assottigliamento della lingua, che nella prima foto del 1984 si vede rigonfia ed ancora in fase di avanzamento.

Le fotografie scattate tra il 1991 ed il 2004 da Ugo Mattana sono state realizzate dalla stazione fotografica SF, situata circa 100 metri a valle del segnale F2.

È inoltre possibile vedere come l'assottigliata fronte inizi a presentare, a partire dal 2007, un restringimento nella sua larghezza poco più a monte della terminazione, particolare che negli anni successivi andrà ingrandendosi, determinando un ulteriore distacco, come visibile dalle foto scattate dal secondo punto di vista della fronte centrale.



Fig. 7.3.1.: Fotografia scattata nel 1984 dal rilevatore Giuseppe Perini.



Fig. 7.3.2.: Fotografia scattata nel 1991 dalla stazione fotografica SF, dal rilevatore Ugo Mattana.



Fig. 7.3.3.: Fotografia scattata nel 1996 dalla stazione fotografica SF, dal rilevatore Ugo Mattana.



Fig. 7.3.4.: Fotografia scattata nel 1997 dalla stazione fotografica SF, dal rilevatore Ugo Mattana.



Fig. 7.3.5.: Fotografia scattata nel 1999 dalla stazione fotografica SF, dal rilevatore Ugo Mattana.



Fig. 7.3.6.: Fotografia scattata nel 2000 dalla stazione fotografica SF, dal rilevatore Ugo Mattana.



Fig. 7.3.7.: Fotografia scattata nel 2001 dalla stazione fotografica SF, dal rilevatore Ugo Mattana.



Fig. 7.3.8.: Fotografia scattata nel 2003 dalla stazione fotografica SF, dal rilevatore Ugo Mattana.



Fig. 7.3.9.: Fotografia scattata nel 2004 dalla stazione fotografica SF, dal rilevatore Ugo Mattana.



Fig. 7.3.10.: Fotografia scattata nel 2005 dal rilevatore Mauro Varotto.



Fig. 7.3.11.: Fotografia scattata nel 2006 dal rilevatore Mauro Varotto.



Fig. 7.3.12.: Fotografia scattata nel 2007 dal rilevatore Mauro Varotto.

Dal secondo punto di vista, situato in sinistra idrografica rispetto alla lingua centrale, è possibile osservare come la sottile ma compatta lingua del 2006, giunga al distacco nel 2009.



Fig. 7.3.13.: Fotografia scattata nel 2006 dal rilevatore Mauro Varotto.



Fig. 7.3.14.: Fotografia scattata nel 2009 dal rilevatore Mauro Varotto.

7.4. Fronte occidentale

La sequenza fotografica raccolta permette uno studio della fronte occidentale tra il 1905 ed il 2015, grazie a fotografie che raccontano l'evoluzione della fronte, la più larga delle tre, in quest'arco temporale.

L'introduzione di questa sezione viene effettuata mediante una fotografia tratta dall'Album del Congresso CAI di Venezia del 1905, nel quale vennero riportate le fotografie scattate durante le uscite organizzate in quello stesso anno da tale associazione, che fin dagli esordi ha cercato di sensibilizzare la popolazione alla montagna, nelle sue diverse sfaccettature, sotto la bandiera dell'ecologia, del rispetto, della valorizzazione della bellezza di un patrimonio naturalistico eccelso di cui tutta la comunità può godere.



Fig. 7.4.1.: Fotografia scattata nel 1905 dagli operatori CAI.

Nel seguente materiale fotografico, frutto delle campagne glaciologiche eseguite tra il 2003 ed il 2015, si può notare il distacco di un lembo della terminazione glaciale, sintomo della diminuzione dello spessore e causa di cospicui ritiri in termini di lunghezza. Mediante le fotografie è possibile ripercorrere questa sequenza, comprendendo meglio l'entità del ritiro, la variazione della superficie glacializzata e la modificazione degli spessori.

Le seguenti fotografie sono state scattate dal Pian dei Fiacconi, pianoro situato a circa 2700 metri di quota, dal quale è possibile avere un'ottima panoramica sul settore occidentale del Ghiacciaio Principale della Marmolada.



Fig. 7.4.2.: Fotografia scattata nel 2003 dal rilevatore Mauro Varotto.



Fig. 7.4.3.: Fotografia scattata nel 2003 dal rilevatore Mauro Varotto.



Fig. 7.4.4.: Fotografia scattata nel 2005 dal rilevatore Mauro Varotto.



Fig. 7.4.5.: Fotografia scattata nel 2006 dal rilevatore Mauro Varotto.



Fig. 7.4.6.: Fotografia scattata nel 2006 dal rilevatore Mauro Varotto.



Fig. 7.4.7.: Fotografia scattata nel 2007 dal rilevatore Mauro Varotto.



Fig. 7.4.8.: Fotografia scattata nel 2007 dal rilevatore Mauro Varotto.



Fig. 7.4.9.: Fotografia scattata nel 2008 dal rilevatore Mauro Varotto.



Fig. 7.4.10.: Fotografia scattata nel 2008 dal rilevatore Mauro Varotto.



Fig. 7.4.11.: Fotografia scattata nel 2010 dal rilevatore Mauro Varotto.



Fig. 7.4.12.: Fotografia scattata nel 2011 dal rilevatore Mauro Varotto.

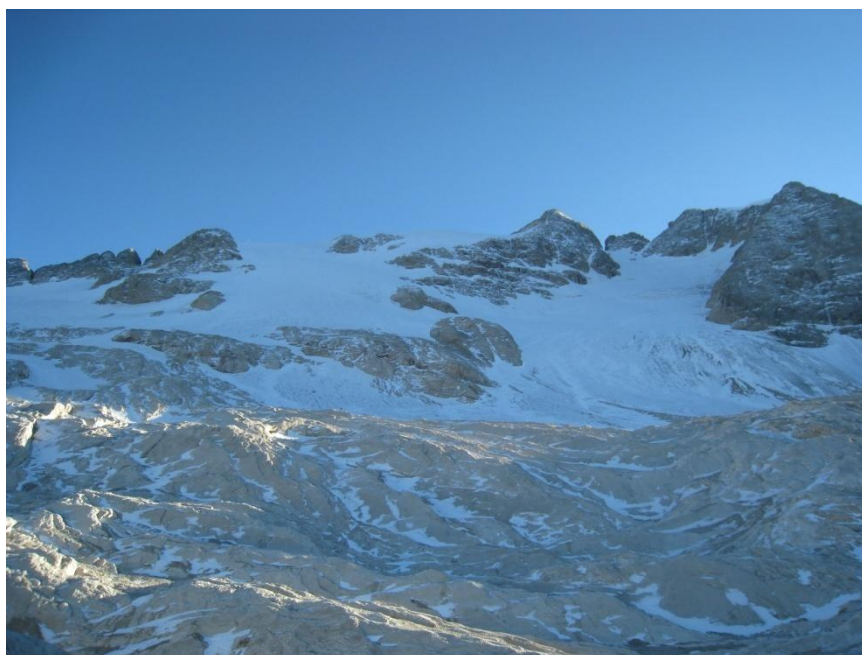


Fig. 7.4.13.: Fotografia scattata nel 2013 dal rilevatore Mauro Varotto.



Fig. 7.4.14.: Fotografia scattata nel 2014 dal rilevatore Enrico Valcanover.



Fig. 7.4.15.: Fotografia scattata nel 2014 dal rilevatore Enrico Valcanover.



Fig. 7.4.16.: Fotografia scattata nel 2015 dal rilevatore Aldino Bondesan.

7.5. Confronti fotografici precedenti

Nelle pagine seguenti sono trattate alcune sequenze fotografiche nelle quali si possono apprezzare direttamente le modificazioni dello stato del Ghiacciaio Principale della Marmolada, osservando le fotografie riportate, scattate dalla stessa zona e con angolatura simile.

Tale materiale deriva da quanto ricavato durante l'esperienza di stage realizzata nella sede del C.G.I. e dalle elaborazioni svolte dal dottor Ferrarese.

Nella seguente sequenza fotografica si può apprezzare la variazione del settore occidentale del ghiacciaio, con una notevole riduzione dello spessore e lo scioglimento del ghiaccio discendente dalla parete nord-ovest di Punta Rocca.

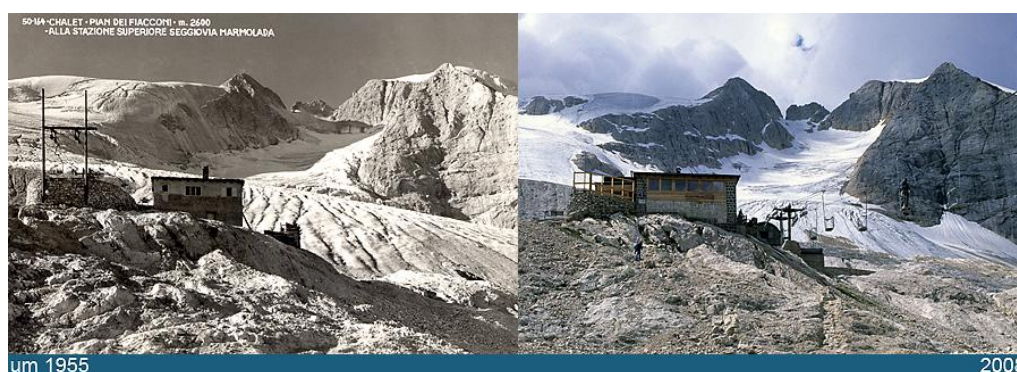


Fig. 7.5.1.: Sequenza fotografica del settore occidentale, 1955-2008, fornita dal C.G.I.

Nella seguente sequenza fotografica si può apprezzare il cambiamento areale della superficie glacializzata del settore occidentale del ghiacciaio, con il ritiro della porzione terminale e l'importante distacco di un lembo glaciale, determinato dal congiungimento tra le due sezioni rocciose laterali, scopertesesi dal ghiaccio a partire dal nuovo millennio.

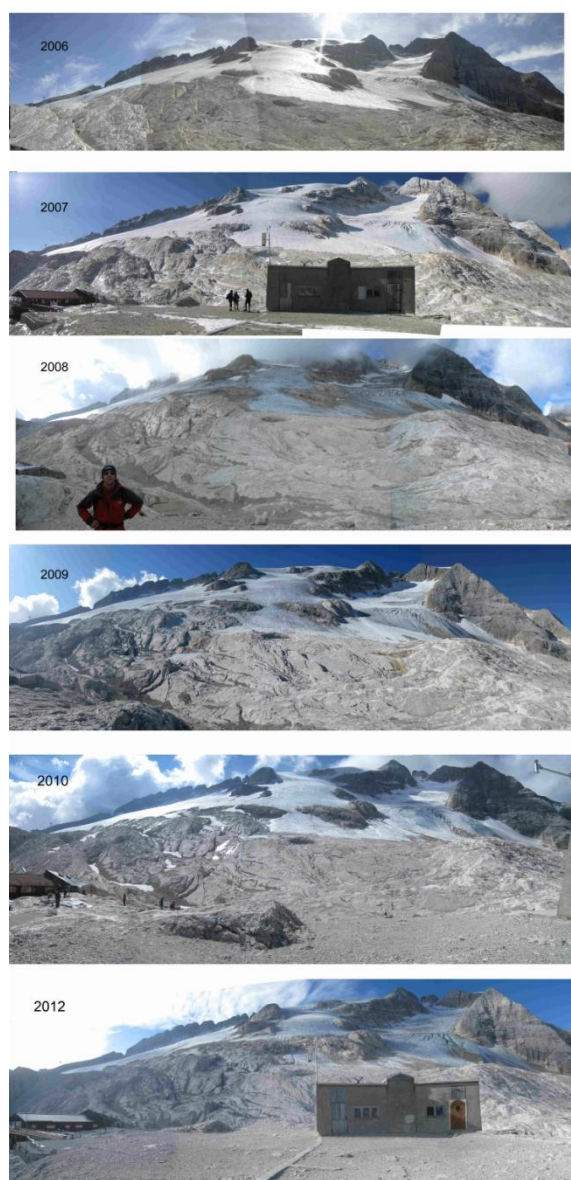


Fig. 7.5.2.: Sequenza fotografica del settore occidentale, 2006-2012, fornita dal rilevatore Francesco Ferrarese.

Nella seguente sequenza fotografica si può apprezzare come, in sole due annate, si sia sviluppata l'apertura della finestra rocciosa situata in alto nella fotografia, e l'assottigliamento dello spessore glaciale della terminazione della lingua.



Fig. 7.5.3.: Sequenza fotografica della fronte orientale, 2005-2007, fornita dal rilevatore Francesco Ferrarese.

L'evoluzione della fronte orientale, come nella pagina precedente, viene studiata anche dalla seguente sequenza fotografica. Si può apprezzare come, con il passare di quattro annate, si sia ampliata notevolmente l'apertura della finestra rocciosa che si insinua nel ghiacciaio avanzando verso est. Si può inoltre constatare la perdita di spessore della terminazione della lingua, che risulta essere appiattita ed ormai statica.



Fig. 7.5.4.: Sequenza fotografica della fronte orientale, 2006-2010, fornita dal rilevatore Francesco Ferrarese.

7.6. Fotografie panoramiche

In questo archivio fotografico la parte dedicata alle fotografie panoramiche emerge per la loro numerosità, in quanto nelle fasi iniziali, durante l'avvicinamento allo studio scientifico del complesso glaciale, risultavano essere particolarmente apprezzate dagli uomini di scienza, ma anche da un più ampio pubblico che ne poteva ammirare la bellezza.

I principali punti di ripresa utilizzati per realizzare scatti fotografici al Ghiacciaio Principale ed al Ghiacciaio Occidentale della Marmolada, sono disposti lungo la catena del Padon, in particolare nei pressi di Porta Vescovo, del passo Padon e della cima della Mesolina. Altre posizioni utilizzate per fotografare l'apparato glaciale sono la zona del gruppo del Sella, dal passo Sella al Piz Boè, ed il passo Fedaia, da dove però la visuale appare inevitabilmente più compressa nel senso verticale. Come precedentemente fatto, sono state prese in considerazione anche tutte le altre fotografie che potessero dare un apporto scientifico nella conoscenza di questo complesso glaciale, per il diverso anno in cui sono state scattate, per i diversi angoli di ripresa, o per altri parametri ritenuti importanti.

In questa sezione si potrà apprezzare l'evoluzione del Ghiacciaio Principale e del Ghiacciaio Occidentale della Marmolada, fotografati abitualmente insieme perché disposti entro i limiti naturali del massiccio montuoso, degradante ad est da punta Serauta ai Ciamp de Lobia, ed a ovest da punta Penia alla forcella Marmolada, comprendendo talvolta anche il massiccio del Gran Vernel.

Nelle pagine seguenti sono riportate le foto in ordine cronologico, dalle postazioni sopra descritte. In generale è possibile osservare un ritiro generalizzato di tutte le fronti, la comparsa di molte finestre rocciose e la riduzione degli spessori.



Fig. 7.6.1.: Stampa all'albumina di Würthle & Spinnhirm, dalla catena del Padon, tratta da fotografia scattata nel 1870 circa.



Fig. 7.6.2.: Fotografia stereoscopica scattata da Giovanni Battista Unterveger, nel 1871 post.



Fig. 7.6.3.: Negativo su vetro al collodio di Franz Dantone Pascalini del 1875 circa, dalla catena del Padon, tratta da tav. 484 del vol. "Dal Garda alle Dolomiti".



Fig. 7.6.4.: Negativo su vetro al collodio di Franz Dantone del 1875 circa, dalla catena del Padon, tratta da tav. 484 del vol. "Dal Garda alle Dolomiti".



Fig. 7.6.5.: Fotografia scattata nel 1886, dalla catena del Padon, autore non identificato.



Fig. 7.6.6.: Stampa alla gelatina bromuro d'argento, formato cartolina, del 1910 circa, autore non identificato.



Fig. 7.6.7.: Stampa alla gelatina bromuro d'argento, formato cartolina, di Carlo Valentini, del 1910 circa.

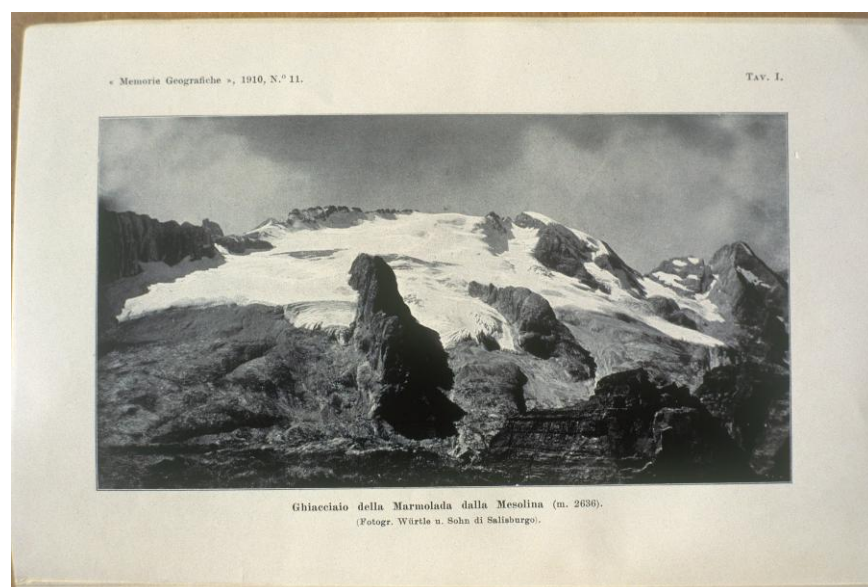


Fig. 7.6.8.: Fotografia scattata da Würtle u. Sohn nel 1910, dalla Mesolina.



Fig. 7.6.9.: Stampa alla gelatina bromuro d'argento di Lorenz Fränzl, ripresa da fotografia del 1920 circa, tratta dalla serie "Dolomiti, 20 vedute".



Fig. 7.6.10.: Stampa alla gelatina bromuro d'argento, formato cartolina, di Leo Bährendt del 1925 circa, No. 3218 "Gruppo delle Dolomiti. Marmolata dalla Forcella di Padon".



Fig. 7.6.11.: Fotografia scattata nel 1928, autore non identificato.



Fig. 7.6.12.: Fotografia scattata dal signor Bortolo Perini nel 1942, dalla catena del Padon.



Fig. 7.6.13.: Fotografia scattata dalla Société Hydrotechnique de France, durante la Tournée Glaciologique del 1952.



Fig. 7.6.14.: Fotografia scattata dal rilevatore Giuseppe Perini nel 1984, dalla catena del Padon.



Fig. 7.6.15.: Fotografia scattata dal rilevatore Giuseppe Perini nel 1992, da Porta Vescovo.



Fig. 7.6.16.: Fotografia scattata dal rilevatore Giuseppe Perini nel 1992, da Porta Vescovo.



Fig. 7.6.17.: Fotografia scattata nel 1992, da Viel Del Pan, fornita dal C.G.I.



Fig. 7.6.18.: Fotografia scattata dal rilevatore Giuseppe Perini nel 1994, dalla catena del Padon.



Fig. 7.6.19.: Fotografia scattata dall'ARPAV nel 2005, dalla catena del Padon.

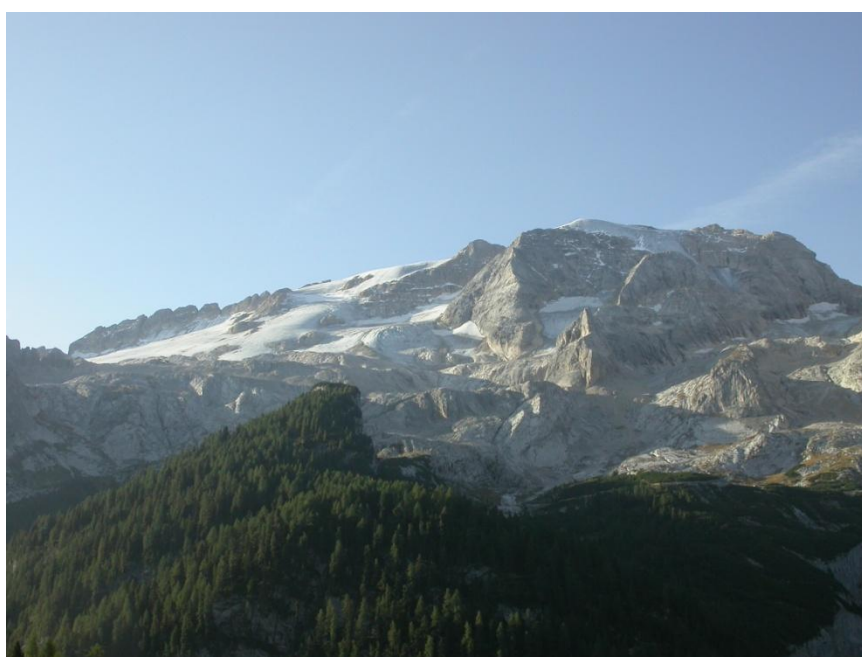


Fig. 7.6.20.: Fotografia scattata dal rilevatore Mauro Varotto nel 2006.



Fig. 7.6.21.: Fotografia scattata dal rilevatore Mauro Varotto nel 2007, da passo Fedaiia.



Fig. 7.6.22.: Fotografia scattata dal rilevatore Mauro Varotto nel 2009, dalla catena del Padon.



Fig. 7.6.23.: Fotografia scattata dal rilevatore Mauro Varotto nel 2009, dalla catena del Padon.



Fig. 7.6.24.: Fotografia scattata dai rilevatori Mauro Varotto e Francesco Ferrarese nel 2010, dalla catena del Padon.

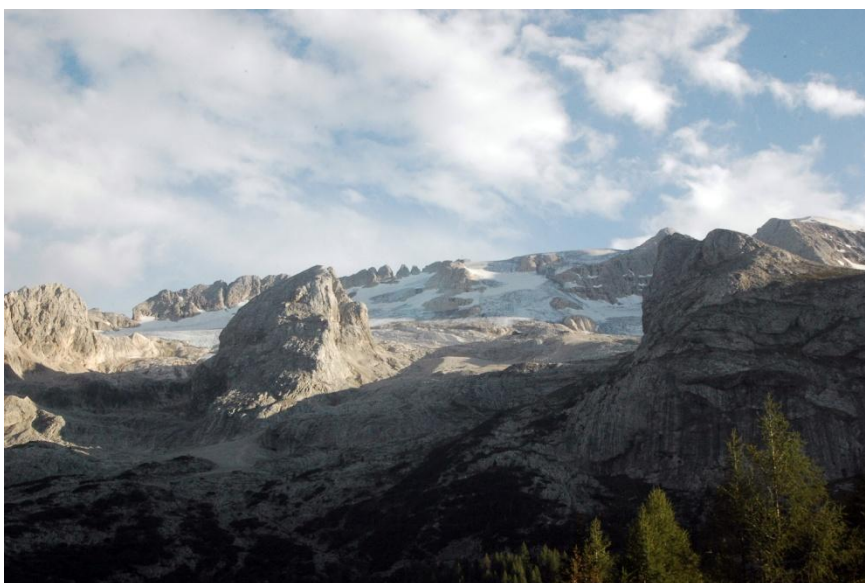


Fig. 7.6.25.: Fotografia scattata dal rilevatore Mauro Varotto nel 2011, nei pressi di Passo Fedaia.

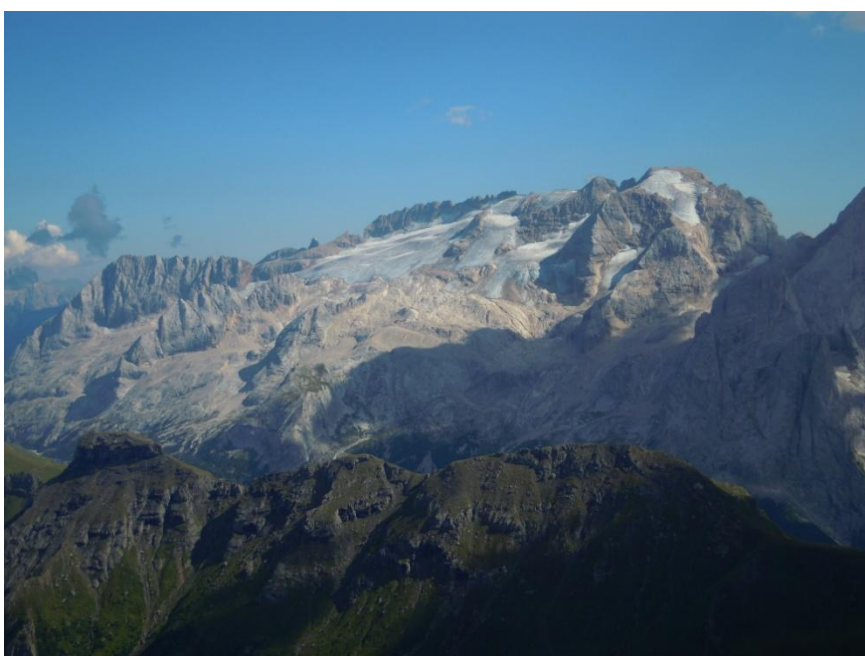


Fig. 7.6.26.: Fotografia scattata dal rilevatore Alberto Carton nel 2012.



Fig. 7.6.27.: Fotografia scattata dal rilevatore Mauro Varotto nel 2013, dalla catena del Padon.

7.7. Flusso glaciale compreso tra Punta Rocca e Punta Penia e calotta sommitale di Punta Penia

Come descritto nella suddivisione del Ghiacciaio Principale della Marmolada, uno dei settori che si possono considerare è quello che riguarda il flusso glaciale discendente nel vallone compreso tra punta Penia e punta Rocca, verso il Pian dei Fiacchi. Il Pian dei Fiacchi è un pianoro situato a circa 2900 metri di quota, collocato più a monte di Pian dei Fiacconi.

In quest'analisi si vuole considerare la variazione della copertura areale, più semplice da analizzare mediante le fotografie, ma anche la modificazione che riguarda gli spessori, evidentemente ridotti nel corso dell'ultimo secolo. Quest'ultima si può notare in particolare nel vallone considerato, a causa delle ripide pareti che lo circondano, che forniscono allo studio molti utili punti di riferimento.

La prima fotografia, scattata ad inizio Novecento, permette di comprendere la vivace attività del ghiacciaio, grazie alla presenza di crepacci e di costruzioni di ghiaccio. Lungo la parete rocciosa sovrastante il flusso glaciale considerato, in sinistra idrografica, si può apprezzare come il ghiacciaio poggi rigonfio, grazie alla sua possente mole. Al giorno d'oggi invece è presente una morfologia concava più dolce, sintomo di uno svuotamento del bacino e del conseguente rallentamento.

Dalla posizione in cui è stato compiuto lo scatto, si possono osservare anche le variazioni della calotta sommitale di Punta Penia. Mentre nella prima fotografia appare iniziare all'incirca nei pressi della vetta, ed innalzarsi rispetto al substrato roccioso sottostante per alcune decine di metri, nella seconda si può notare come il punto dal quale inizia la sua discesa verso valle si sia spostato più in basso, e lo spessore della stessa sia drasticamente diminuito, ammontando a pochi metri in prossimità della cresta aggettante sul bacino considerato. Nella quarta foto si può osservare infatti come attualmente, all'uscita della ferrata della via normale alla Punta Penia, lo spessore della calotta ammonti a pochi metri di spessore.

Dal confronto tra la prima e la seconda foto, nella parte inferiore delle creste che raccordano punta Penia a punta Rocca, è possibile osservare come inizialmente il ghiacciaio arrivasse a lambire la cresta, mentre al giorno d'oggi risulta fermarsi varie decine di metri più in basso.

Inoltre si può apprezzare, lungo la parete che delimita la sinistra idrografica del vallone, l'evidente variazione di spessore del ghiacciaio, utilizzando anche le fratture presenti nella roccia, che fungono da ottimo punto di riferimento. Nella fotografia scattata nel 2014 compare un'area biancastra al di sotto della linea che indica il raggiungimento del massimo spessore della coltre glaciale, generata dall'abrasione che il ghiacciaio ha compiuto sulla roccia con il suo movimento.



Fig. 7.7.1.: Fotografia scattata all'inizio del Novecento, nei pressi del Pian dei Fiacconi, autore non identificato.

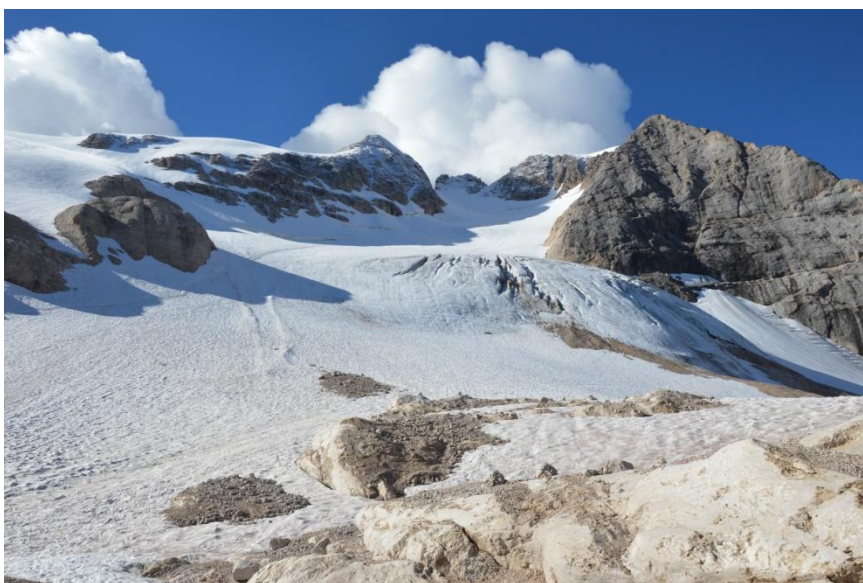


Fig. 7.7.2.: Fotografia scattata nel 2014 dal rilevatore Enrico Valcanover, nei pressi del Pian dei Fiacconi.



Fig. 7.7.3.: Fotografia scattata nel 2014 dal rilevatore Enrico Valcanover, dalla Schena del Mul.



Fig. 7.7.4.: Fotografia scattata nel 2015 dal rilevatore Aldino Bondesan.

7.8. Flusso glaciale proveniente dal versante nord-est di Punta Rocca

La zona occidentale del Ghiacciaio Principale della Marmolada è stata fotografata molteplici volte, grazie alla possibilità di accesso al Pian dei Fiacconi, spesso utilizzato come punto fotografico, il cui avvicinamento è stato reso ancor più facile dopo la costruzione delle funicolari che congiungono il passo Fedaià a questo prediletto balcone posto innanzi al ghiacciaio.

A partire dalla documentazione raccolta, è stato proposto un confronto fotografico per poter comparare, nel periodo analizzato, il flusso della massa glaciale proveniente dal versante nord-est di punta Rocca, diretto verso il Pian dei Fiacconi, e quello proveniente dal vallone compreso tra punta Penia e punta Rocca. Il primo flusso è particolarmente interessante da analizzare in quanto, con il passare dei decenni, si è andato frazionando, in seguito alla comparsa di varie finestre rocciose, che ampliandosi hanno cambiato la morfologia glaciale e la direzione dei flussi.

Nella successione fotografica seguente è possibile osservare, già a prima vista, come siano cambiati gli spessori e le aree glaciali. Nella prima fotografia, scattata agli inizi del Novecento, quando l'attività di esplorazione dell'area era culminante, si possono osservare notevoli costruzioni di ghiaccio, una fitta rete di grandi crepacci in corrispondenza dei principali cambi di pendenza e la completa assenza di finestre rocciose nella coltre glaciale. Nelle foto successive si può invece osservare il radicale cambiamento della morfologia del ghiacciaio, non più determinata esclusivamente dalla copertura glaciale, ma anche dalla comparsa di finestre rocciose, oltre ad importanti dossi ed avvallamenti.

Nella fotografia del 2003 si può osservare come punta Rocca si elevi per alcune decine di metri oltre alla quota del ghiacciaio, che invece ad inizio Novecento quasi ne lambiva la sommità. Inoltre la parete nord-ovest di punta Rocca risulta completamente scoperta dal ghiaccio, con la comparsa di finestre rocciose nell'ideale prosecuzione della stessa verso il Pian dei Fiacconi. Più ad est, a

limitare il flusso discendente da punta Rocca, nella seconda metà del Novecento è comparso un altro lineamento roccioso, che oggi vincola la direzione del flusso glaciale, che appare in evidente riduzione di spessore nel settore posto tra tale lineamento e la parete nord-ovest di punta Rocca.

Nella fotografia del 2011 si pone in evidenza il notevole ampliamento delle finestre rocciose ubicate nel settore terminale del ghiacciaio e l'accrescimento di altre disposte più a monte, le quali stanno determinando una strozzatura del corpo glaciale. Inoltre viene posta in evidenza la riduzione dello spessore glaciale, apprezzabile in particolare sul margine della prominente rocciosa posta ad est.



Fig. 7.8.1.: Fotografia scattata all'inizio del Novecento, nei pressi del Pian dei Fiacconi, autore non identificato.



Fig. 7.8.2.: Fotografia scattata nel 2003 dal rilevatore Mauro Varotto, nei pressi del Pian dei Fiacconi.



Fig. 7.8.3.: Fotografia scattata nel 2011 dal rilevatore Mauro Varotto, nei pressi del Pian dei Fiacconi.

7.9. Costruzioni di ghiaccio

Elementi caratterizzanti ed affascinanti della Marmolada, che provocarono l'interesse di alpinisti e la curiosità di turisti, furono le costruzioni di ghiaccio, dette anche "castelli di ghiaccio", ovvero strutture situate nel ghiacciaio, dalle più varie forme e dimensioni, generate dal movimento e dall'ingente spessore che il Ghiacciaio Principale della Marmolada possedeva fino a pochi decenni fa. Queste strutture sono state spesso fotografate per la loro spettacolarità, permettendo così di poterne gustare, seppure indirettamente, il fascino e la grandiosità e consentendo di comprendere la forza che il ghiacciaio, ora in forte fase di ritiro, conobbe nel passato. Oltre alla spettacolarità paesaggistica, le costruzioni di ghiaccio offrirono agli alpinisti la possibilità di compiere all'interno degli angusti meandri valorose esplorazioni, scoprendone passaggi e congiungimenti.

Tali sono le ragioni che hanno portato a dedicare quest'ultimo settore dell'archivio fotografico a queste incredibili strutture, le cui rappresentazioni sono state reperibili grazie al Comitato Glaciologico Italiano, al rilevatore Giuseppe Perini e dal personale della biblioteca CAI di Torino, nelle figure di Alessandra Ravelli e Veronica Lisino.



Fig. 7.9.1.: Immagine relativa ad un ingresso alle grotte di ghiaccio, fornita dal CAI di Torino.

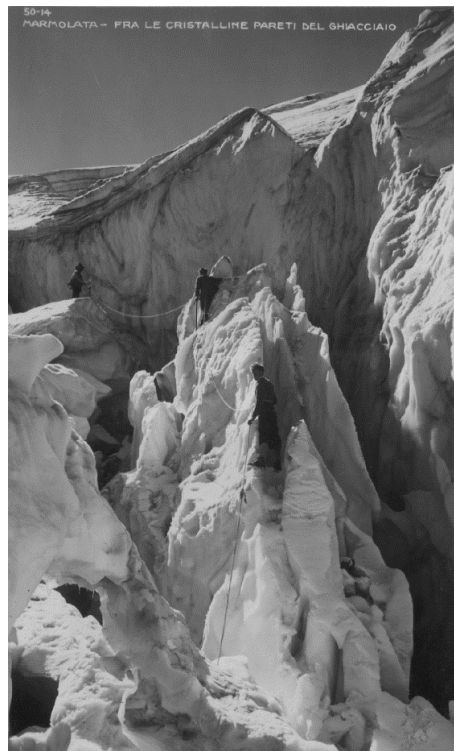


Fig. 7.9.2.: Immagine relativa ad un passaggio tra seracchi, fornita dal CAI di Torino.



Fig. 7.9.3.: Immagine relativa ai castelli di ghiaccio, fornita dal CAI di Torino.



Fig. 7.9.4.: Immagine relativa ai castelli di ghiaccio, con la catena del Padon sullo sfondo, fornita dal CAI di Torino.

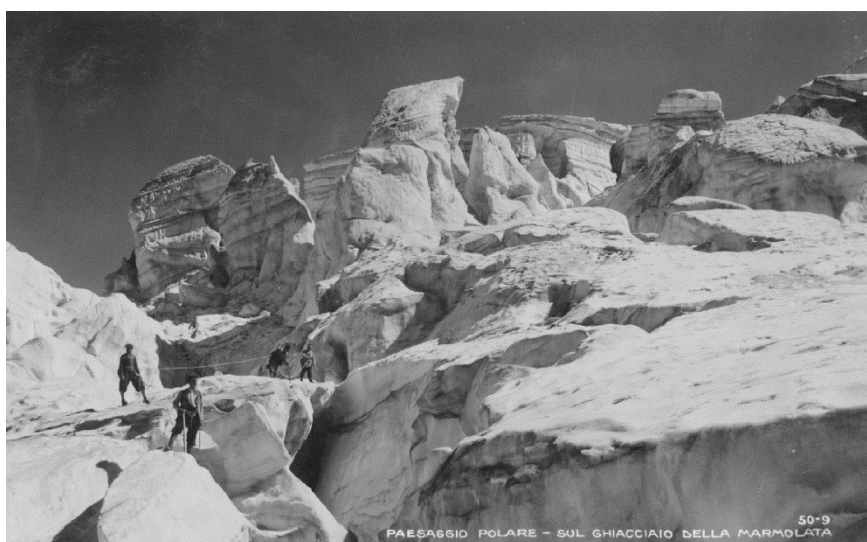


Fig. 7.9.5.: Immagine relativa ad un paesaggio con crepacci e castelli di ghiaccio, fornita dal CAI di Torino.

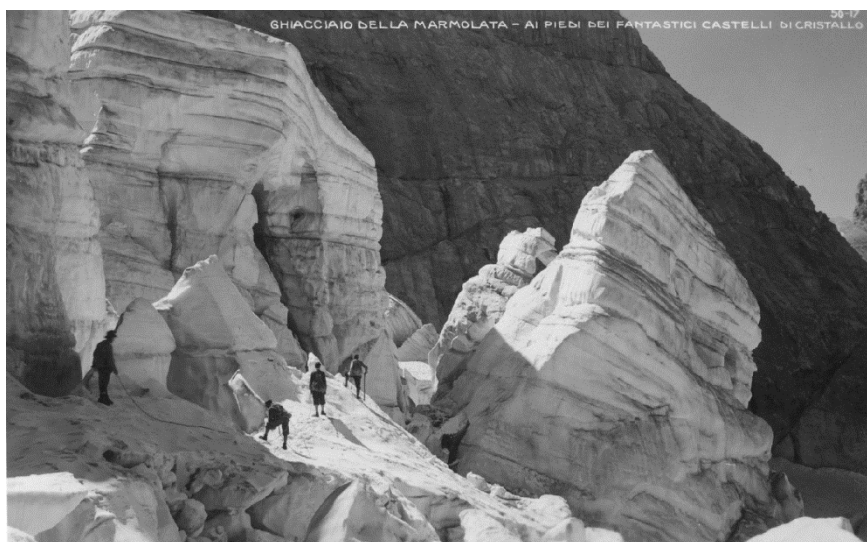


Fig. 7.9.6.: Immagine relativa ai castelli di ghiaccio nei pressi del Pian dei Fiacchi, fornita dal CAI di Torino.



Fig. 7.9.7.: Fotografia relativa ad una salita lungo la fronte centrale, scattata dal signor Bortolo Perini nel 1942.

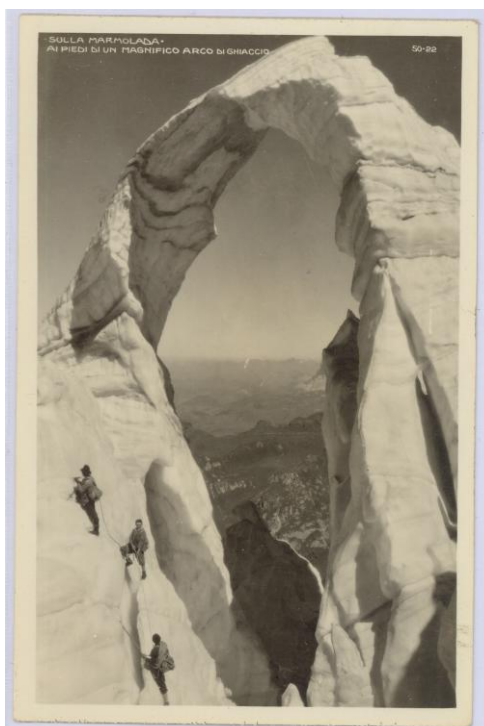


Fig. 7.9.8.: Immagine relativa ad uno stupendo arco di ghiaccio, fornita dal CAI di Torino.

8. Conclusioni

Gli studi affrontati nell'ambito della presente tesi hanno permesso di descrivere e quantificare le variazioni glaciali del Ghiacciaio Principale e del Ghiacciaio Occidentale della Marmolada, che appaiono in forte generale regresso in tutto il periodo studiato, compreso tra la fine dell'Ottocento e l'anno corrente.

Secondo i dati ricavati, dall'inizio delle misurazioni ad oggi, costituisce eccezione a questo trend solo il periodo di tempo compreso tra la metà degli anni Settanta e la metà degli anni Ottanta del Novecento, durante il quale si verificò un'inversione di tendenza, con un leggero avanzamento delle fronti.

Successivamente, si registrò una decisa ripresa dell'ablazione su tutti i settori glaciali, con un rapido ritiro di tutte le fronti, e con l'apertura di numerose finestre rocciose, a causa della diminuzione dello spessore della coltre glaciale, riunite poi in lineamenti rocciosi che in alcuni casi hanno reso obbligata la direzione del flusso glaciale. L'analisi condotta ha inoltre permesso di osservare evidenze di frammentazione glaciale, con l'unico iniziale ghiacciaio di fine Ottocento e di inizio Novecento, che ha poi dato origine a più corpi glaciali di minori dimensioni. Questo fenomeno è tipico della fase di deglaciazione e comporta l'aumento numerico degli apparati glaciali, accompagnato da un loro intenso decremento areale, com'è avvenuto per il circo glaciale a nord di Punta Penia, per la calotta sommitale di Punta Penia, e per il Ghiacciaio Occidentale della Marmolada.

Lo studio eseguito sul Ghiacciaio Principale della Marmolada, relativo ad alcuni dei principali parametri geometrici dei ghiacciai, quali lo studio degli arretramenti e della quota della fronte, ha permesso di rilevare un ritiro, frutto della media dei valori registrati sulle tre fronti, di 1,9 metri per l'arco temporale compreso tra il 1902 ed il 1906, di 66,7 metri tra il 1925 ed il 1938, di 126,7 metri tra il 1951 ed il 1966, di 454 metri tra il 1971 ed il 2015.

Per il Ghiacciaio Principale ed il Ghiacciaio Occidentale della Marmolada, è stato inoltre possibile quantificare le variazioni areali avvenute dalla fine dell'Ottocento ad oggi, grazie allo studio della cartografia e delle foto aeree e satellitari. Mediante tale studio è stato possibile determinare una variazione areale dai 4,82 km² del 1874 ad 1,47 km² dell'anno in corso, pari ad una diminuzione in 141 anni del 69,5 % della superficie iniziale.

La diminuzione della massa glaciale ha determinato un appiattimento e una minore spinta del ghiacciaio verso il basso, con una velocità di scorrimento ed un'attività che sono perciò diminuite col tempo.

Data la morfologia del rilievo che accoglie il ghiacciaio, con pareti disposte solo lungo il coronamento dello stesso, determinanti un apporto valanghivo di esigua entità, lo stato del ghiacciaio è regimentato principalmente dalle precipitazioni dirette sottoforma di neve. A partire dagli anni Novanta dello scorso secolo, gli inverni spesso caratterizzati da precipitazioni nevose di piccola entità, e le calde estati, hanno determinato i notevoli fenomeni di riduzione areale e volumetrica descritti.

Il rispetto del ghiacciaio, visto come entità fondamentale da tutelare e non esclusivamente come risorsa economicamente sfruttabile, potrà contribuire, per le possibilità date all'uomo, ad una sua migliore preservazione, o almeno ad una sua naturale evoluzione. In tale ottica la raccolta e l'elaborazione dei dati risulta essere un fattore indispensabile tenendo conto della rapida evoluzione del glacialismo e della necessità di un continuo monitoraggio di questa risorsa nell'ottica di un suo utilizzo sostenibile.

Nel complesso lo studio condotto ha permesso di valutare in modo quantitativo le variazioni glaciali che hanno interessato il Ghiacciaio Principale ed il Ghiacciaio Occidentale della Marmolada dalla fine dell'Ottocento ad oggi, con una particolare attenzione all'arco temporale, tra quelli analizzati, più lungo e con maggiori informazioni, compreso tra il 1971 ed oggi.

9. Bibliografia

- Aegerter L., *Karte der Marmolatagruppe*, in “Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins”, n. 36, 1905.
- Andreoletti A., Viazzi L., *Con gli alpini sulla Marmolada 1915-1917*, Mursia, Milano 1977.
- Bartoli M., Fornaro M., Rotasso G., *La città di ghiaccio*, Publilux, Trento 1993, pp. 110-112.
- Bing Maps Platform, Foto satellitare, 2015.
- Bondesan A., rapporto interno inedito in fase di pubblicazione, Fondazione Angelini.
- Brondi A., Mittempergher M., Panizza M., Rossi D., Somnavilla E., Vuillermin F., *Carta geologica d'Italia*, F. 28 La Marmolada, 1:50000, Firenze 1977.
- Carton A., Varotto M., *Marmolada*, Cierre edizioni, 2011.
- Castellani U., *Il disegno topografico delle rocce*, in “L'Universo”, n.4, Firenze 1928.
- Castiglioni B., *Alcuni ghiacciai nelle Dolomiti e il loro ambiente orografico e climatico*, in “Bollettino del Club Alpino Italiano”, n. 42, 1925, pp. 323-379.
- Castiglioni B., *Ghiacciai attuali*, in Castiglioni E. (a cura di), *Odle-Sella-Marmolada*, CAI e TCI, Roma, Milano 1937.
- Castiglioni B., *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, serie I, n. 8, 1928, in “Relazioni delle Campagne Glaciologiche del 1927”, pp. 206-207.
- Castiglioni B., *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, serie I, n. 9, 1929, in “Relazioni delle Campagne Glaciologiche del 1928”, pp. 206-207.
- Castiglioni B., *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, serie I, n. 10, 1930, in “Relazioni delle Campagne Glaciologiche del 1929”, pp. 276.
- Castiglioni B., *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, serie I, n. 11, 1931, in “Relazioni delle Campagne Glaciologiche del 1930”, pp. 263.
- Castiglioni B., *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, serie I, n. 12, 1932, in “Relazioni delle Campagne Glaciologiche del 1931”, pp. 315-316.

Castiglioni B., *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, serie I, n. 13, 1933, in “Relazioni delle Campagne Glaciologiche del 1932”, pp. 237-238.

Comitato Glaciologico Italiano, *Catasto dei ghiacciai italiani*, IV, Torino 1962.

Comitato Glaciologico Italiano, *World Glacier Inventory*, 1984.

Conci V., *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, serie I, n. 14, 1934, in “Relazioni delle Campagne Glaciologiche del 1933”, pp. 284-285.

Conci V., *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, serie I, n. 15, 1935, in “Relazioni delle Campagne Glaciologiche del 1934”, pp. 240-241.

Conci V., *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, serie I, n. 17, 1937, in “Relazioni delle Campagne Glaciologiche del 1936”, pp. 224-225.

Conci V., *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, serie I, n. 18, 1938, in “Relazioni delle Campagne Glaciologiche del 1937”, pp. 218.

Conci V., *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, serie I, n. 19, 1939, in “Relazioni delle Campagne Glaciologiche del 1938”, pp. 227-228.

Dal Buono B., Della Giusta O., *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, serie I, n. 16, 1936, in “Relazioni delle Campagne Glaciologiche del 1935”, pp. 295-296.

Freytag G., *Übersichtskarte der Dolomiten*, in “Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins”, Wien 1903.

IGM, Tavoleta F. 11 II N.E. La Marmolada, 1:25.000, edizione 1888, in “L’Universo”.

IGM, Tavoleta F. 11 II N.E. La Marmolada, 1:25.000, edizione 1959.

IGM, Tavoleta F. 11 II N.E. La Marmolada, 1:25.000, edizione 1986.

Marinelli O., *I ghiacciai delle Alpi Venete*, in “Memorie Geografiche”, n. 11, 1910, pp. 4-289.

Mattana U., Varotto M., *Il ritiro del Ghiacciaio della Marmolada nell’ultimo trentennio*, in “Le Alpi Venete”, n. 64(1), 2010, pp. 68-75.

- Mattana U., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 10 (2), 1988, “Relazioni della Campagna Glaciologica 1986”, pp. 274-275.
- Mattana U., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 12 (2), 1990, “Relazioni della Campagna Glaciologica 1988”, pp. 202.
- Mattana U., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 14 (2), 1992, “Relazioni della Campagna Glaciologica 1990”, pp. 309.
- Mattana U., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 15 (1 e 2), 1993, “Relazioni della Campagna Glaciologica 1991”, pp. 252.
- Mattana U., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 16 (2), 1994, “Relazioni della Campagna Glaciologica 1992”, pp. 245.
- Mattana U., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 18, 1996, “Relazioni della Campagna Glaciologica 1994”, pp. 132.
- Mattana U., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 20 (2), 1997, “Relazioni della Campagna Glaciologica 1996”, pp. 409.
- Mattana U., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 21 (2), 1998, “Relazioni della Campagna Glaciologica 1997”, pp. 326-327.
- Mattana U., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 23 (2), 2000, “Relazioni della Campagna Glaciologica 1999”, pp. 226-227.
- Mattana U., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 24 (2), 2001, “Relazioni della Campagna Glaciologica 2000”, pp. 258-259.
- Mattana U., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 25 (2), 2002, “Relazioni della Campagna Glaciologica 2001”, pp. 198-199.
- Mattana U., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 26 (2), 2003, “Relazioni della Campagna Glaciologica 2002”, pp. 200.
- Mattana U., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 27 (2), 2004, “Relazioni della Campagna Glaciologica 2003”, pp. 223-224.
- Mattana U., Varotto M., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 28 (2), 2005, “Relazioni della Campagna Glaciologica 2004”, pp. 287.
- Orombelli G., *Il ghiaccio nelle Alpi*, Collana “Quaderni della Montagna”, Istituto Nazionale della Montagna, Bologna 2004.

Pasta M., Pavan M., Sonda D., Carollo F., Cagnati A., *Prospezione di alcuni ghiacciai dolomitici tramite tecniche GPR e GPS*, in “Neve e valanghe”, n. 56, Dicembre 2005, pp. 50-59.

Porro C., *Elenco dei ghiacciai italiani*, Ministero dei Lavori Pubblici, Ufficio Idrografico del Po, Orsatti e Zinelli, Parma 1925.

Regione Veneto, foto aeree, 1982.

Regione Veneto, foto aeree, 1996.

Regione Veneto, foto aeree, 2000.

Regione Veneto, foto aeree, 2003.

Regione Veneto, foto aeree, 2006.

Regione Veneto, foto aeree, 2009.

Regione Veneto, foto aeree, 2012.

Ritter von Wiedenmann P., *Karte der Dolomit Alpen von Enneberg, Höllenstein, Sexten, Buchenstein & Ampezzo*, 1:100.000, München 1874.

Rossi G., *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, serie II, n. 19, 1971, in “Relazioni della Campagna Glaciologica 1971”, pp. 170-173.

Rossi G., *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, serie II, n. 20, 1972, in “Relazioni della Campagna Glaciologica 1972”, pp. 197-199.

Rossi G., *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, serie II, n. 21, 1973, in “Relazioni della Campagna Glaciologica 1973”, pp. 156-157.

Rossi G., *Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano*, serie II, n. 24, 1976, in “Relazioni della Campagna Glaciologica 1975”, pp. 178-180.

Rossi G., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 3 (2), 1980, “Relazioni della Campagna Glaciologica 1979”, pp. 127.

Rossi G., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 5 (2), 1982, “Relazioni della Campagna Glaciologica 1981”, pp. 408-409.

Smiraglia C., Diolaiuti G., *Il Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani*, Comitato Ev-K2-CNR, Ed. Bergamo 2015.

Smiraglia C., Diolaiuti G., *Le tendenze globali del glacialismo nella seconda metà del secolo XX*, ENEL – Comitato Glaciologico Italiano, 1999.

Tonini M., Rossi G., *Il Ghiacciaio della Marmolada, variazioni della massa glaciale dopo 15 anni*, in “Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano”, serie II, n. 15, 1965-1969, pp. 9-21.

Toniolo A. R., *Osservazioni e riscontri sui ghiacciai del gruppo della Marmolada*, in “Rivista di Fisica, Matematica e Scienze Naturali (Pavia)”, VIII, n.87, 1907, pp. 1-15.

Varotto M., Ferrarese F., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 29 (2), 2006, “Relazioni della Campagna Glaciologica 2005”, pp. 261-262.

Varotto M., Ferrarese F., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 30 (2), 2007, “Relazioni della Campagna Glaciologica 2006”, pp. 310-311.

Varotto M., Ferrarese F., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 31 (2), 2008, “Relazioni della Campagna Glaciologica 2007”, pp. 321.

Varotto M., Ferrarese F., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 32 (2), 2009, “Relazioni della Campagna Glaciologica 2008”, pp. 314.

Varotto M., Ferrarese F., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 33 (2), 2010, “Relazioni della Campagna Glaciologica 2009”, pp. 310.

Varotto M., Ferrarese F., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 34, 2011, “Relazioni della Campagna Glaciologica 2010”, pp. 324.

Varotto M., Mognato N., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 35, 2012, “Relazioni della Campagna Glaciologica 2011”, pp. 276.

Varotto M., Ferrarese F., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 36, 2013, “Relazioni della Campagna Glaciologica 2012”, pp. 371.

Varotto M., Zangrando D., *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, vol. 37, 2014, “Relazioni della Campagna Glaciologica 2013”, pp. 224-225.

Varotto M., Zanella M., Relazioni della Campagna Glaciologica 2014, materiale inedito in fase di pubblicazione.

Varotto M., Ferrarese F., Relazioni della Campagna Glaciologica 2015, materiale inedito in fase di pubblicazione.

Zanon G., *I ghiacciai del Veneto*, Regione Veneto, Canova, Dosson di Casier (TV), 1990.

Zanon G., *Ricerche sul bilancio di massa glaciale, con applicazione al ghiacciaio della Marmolada (Alpi Orientali)*, in “Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano”, serie II, n. 15, 1965-1969, pp. 23-69.

10. Ringraziamenti

In questa sezione, ringrazio tutti coloro che hanno contribuito alla realizzazione della presente tesi di laurea.

Rivolgo un sincero ringraziamento al Professor Aldino Bondesan per la possibilità di svolgere questa tesi di ambito glaciologico, frutto di una passione cresciuta negli anni, maturata anche grazie agli insegnamenti trasmessi da cui traspare la notevole esperienza scientifica e la passione riposta verso la glaciologia e geomorfologia in generale.

Porgo inoltre un sentito ringraziamento al Dottor Francesco Ferrarese, che con pazienza mi ha seguito nella parte tecnica di costruzione dell'elaborato ed il Professor Mauro Varotto per il prezioso materiale fotografico fornito.

Riguardo l'attività di stage, grazie alla quale ho ricavato una notevole mole di dati bibliografici, cartografici e fotografici di particolare valore, ringrazio l'accoglienza e la competenza trovata nella sede del Comitato Glaciologico Italiano di Torino, nelle figure del Professor Giovanni Mortara e del Dottor Stefano Perona, e la disponibilità e dedizione del personale della biblioteca del Club Alpino Italiano, nelle figure della Dottoressa Alessandra Ravelli e della Dottoressa Veronica Lisino.

Ringrazio inoltre il signor Giuseppe Perini, per lo storico materiale fotografico fornito, l'amico Enrico Valcanover per le foto più recenti, ed a tutti quanti hanno contribuito con il loro aiuto concreto.

Infine ringrazio tutte le persone che mi hanno sostenuto in questo percorso universitario con la fiducia ed il supporto, in particolare la mia famiglia, con il fondamentale aiuto del fratello Giovanni, i nonni, i compagni universitari, e gli amici che con l'affetto e la simpatia hanno reso il percorso ancor più bello.

Ringrazio il personale docente e tecnico del Dipartimento di Geoscienze, al quale continuo ad augurare un cammino fruttuoso e di qualità.