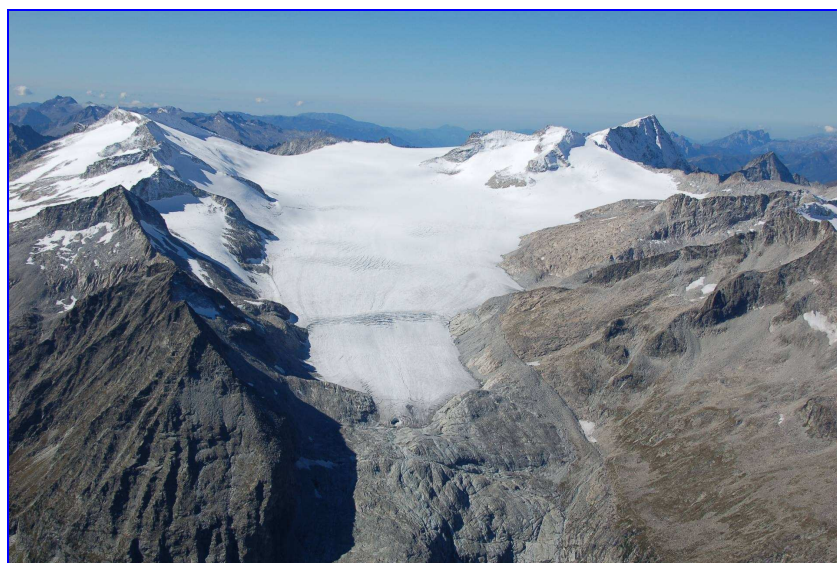




PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO



EVOLUZIONE E MONITORAGGI RECENTI DEI GHIACCIAI TARENTINI



Ghiacciaio Adamello-Madrone (settembre 2010)

(novembre 2011)

Le Alpi dalle glaciazioni ai giorni nostri (cenni)

Il Trentino si trova nel settore meridionale delle Alpi centro-orientali in un contesto geografico di transizione tra la pianura del fiume Po e la fascia di cresta della catena alpina; il suo territorio (esteso 6.260 km²) presenta conseguentemente una notevole varietà morfologica e climatica, passando dai caratteri mediterranei che circondano il Lago di Garda (65 m s.m.) a quelli tipicamente alpini nel contesto di vari gruppi montuosi, tra i quali il più elevato è quello del Monte Cevedale (3.769 m s.m.).

Nel passato, le naturali oscillazioni climatiche della Terra hanno però determinato condizioni molto diverse nel corso delle ere geologiche. Per quanto riguarda l'evoluzione dei ghiacciai sono di particolare interesse gli ultimi 650.000 anni, nei quali si sono alternate 7 fasi molto calde (interglaciali) ad altrettante molto fredde (glaciazioni), tra queste l'ultima in ordine cronologico è stata quella di *Würm* che ha avuto la fase più intensa circa 18.000 anni fa.

Allora la catena alpina era quasi interamente coperta dai ghiacci, che formarono anche lunghe "colate" nelle valli meridionali, con spessori fino a duemila metri e lunghezze di centinaia di chilometri che arrivarono a toccare la pianura padana. Questa espansione glaciale è rappresentata in Fig. 1 sovrapposta ad una recente immagine satellitare della regione alpina tratta da Google Earth (con tratteggio rosso il territorio trentino).



Fig.1: Massima espansione dei ghiacciai sulle Alpi nell'ultima glaciazione (~ 18.000 anni fa).

A questa fase particolarmente fredda, nella quale i ghiacciai alpini hanno raggiunto un'estensione dell'ordine di 100.000 km² (di cui oltre 4.000 in Trentino), sono seguiti 8 millenni di riscaldamento dell'atmosfera, cosicché circa 10.000 anni fa gran parte di quella coltre glaciale era ormai scomparsa e la regione alpina viveva condizioni climatiche simili a quelle attuali. Dopo di allora le oscillazioni di temperatura sono state più modeste, risultando mediamente comprese nell'intervallo di ± 1 °C .

Essendo i ghiacciai molto sensibili alle variazioni termiche, anche negli ultimi diecimila anni è continuata, seppur in misura più modesta, l'alternanza di fasi di espansione e ritiro in tutte le regioni terrestri, compresa ovviamente quella alpina.

La più recente fase di raffreddamento, che ha interessato soprattutto l'Europa e l'America settentrionale, si è sviluppata dal 1.300 al 1.850 d.C. ed è nota come *Piccola Età Glaciale*. Anche al suo interno ci sono state alternanze climatiche e quella con maggiore sviluppo dei ghiacciai alpini si è verificata nel primo ventennio dell'800, quando raggiunsero una superficie complessiva di circa 4.000 km², con un volume stimato nell'ordine di 250 km³. In Trentino i corrispondenti valori di quel periodo sono stati indicativamente di 130 km² e 6.

Dalla metà dell'800 ad oggi si è manifestato, seppur con momenti di discontinuità, un generale riscaldamento dell'atmosfera terrestre che ha causato un notevole ridimensionamento delle masse glaciali. In questo periodo si possono distinguere nettamente due stadi cronologici: il primo (dal 1850 al 1980 circa) in cui le perdite di superficie dei ghiacciai alpini sono state mediamente dello 0,3 % annuo, e il secondo, immediatamente successivo, con perdite decisamente superiori e che ai giorni nostri arrivano a valori di 1,5 - 2,0 % l'anno (per il Trentino vedi Fig.5).

Il catasto più recente riguardante tutto l'arco alpino è riferibile al 1990, quando sono stati censiti poco più di 5.000 ghiacciai con un'estensione complessiva di 2.900 km² e un volume nell'ordine di 130 km³ (Fig. 2).

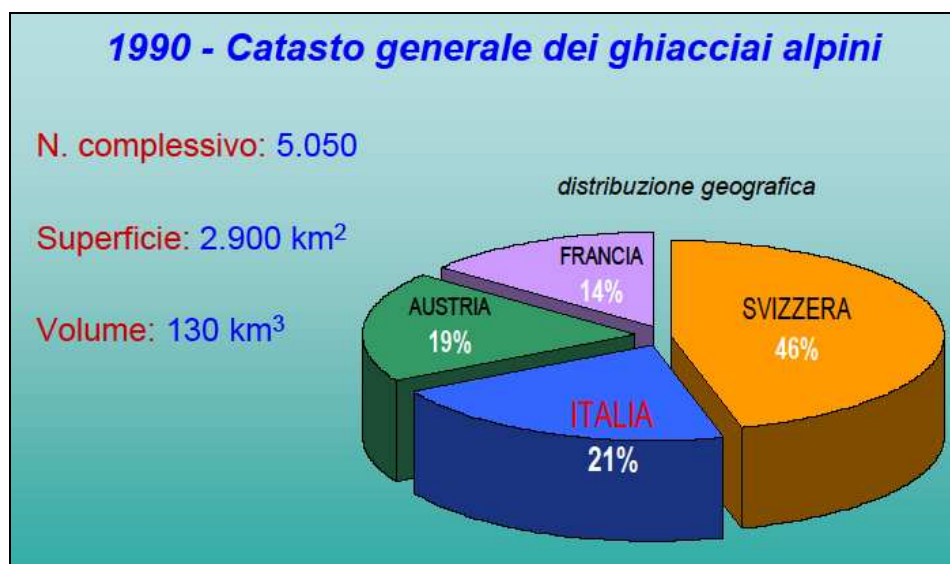


Fig.2: Ghiacciai alpini, consistenza e distribuzione nel 1990.

Per quanto riguarda il settore delle alpi italiane, il primo censimento sistematico fu pubblicato tra 1925 e il 1927 dal Ministero dei Lavori Pubblici (Ufficio Idrografico del Po) e dal Comitato Glaciologico Italiano; il lavoro comprende tre documenti (Elenco, Schedario e Atlante dei ghiacciai italiani) nei quali sono classificati e cartografati 773 corpi glaciali (più uno sugli

Appennini - Gran Sasso). Successivamente sono stati redatti dallo stesso Comitato altri due catasti riferibili rispettivamente al 1960 e al 1990, che riportano le consistenze riassunte nella seguente figura.

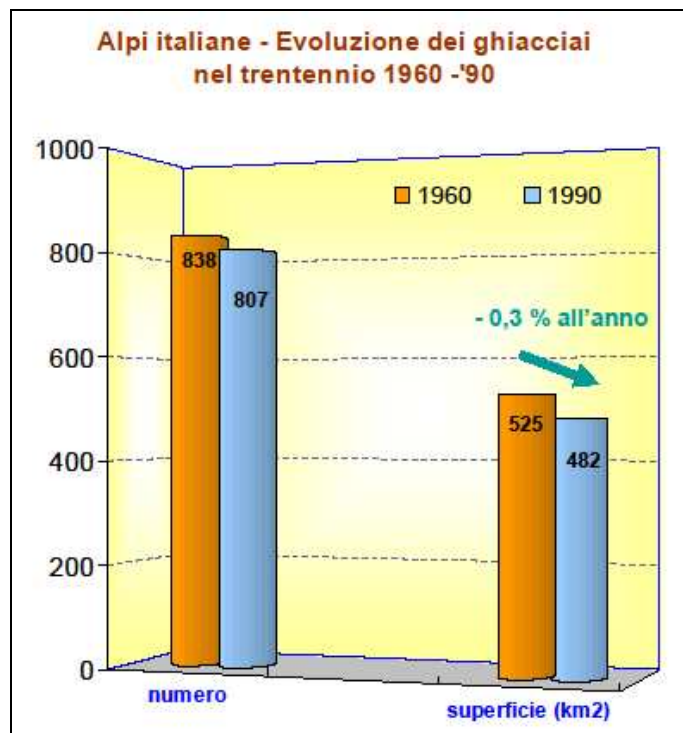


Fig.3: Ghiacciai italiani, evoluzione dal 1960 e 1990.

Contesto Trentino

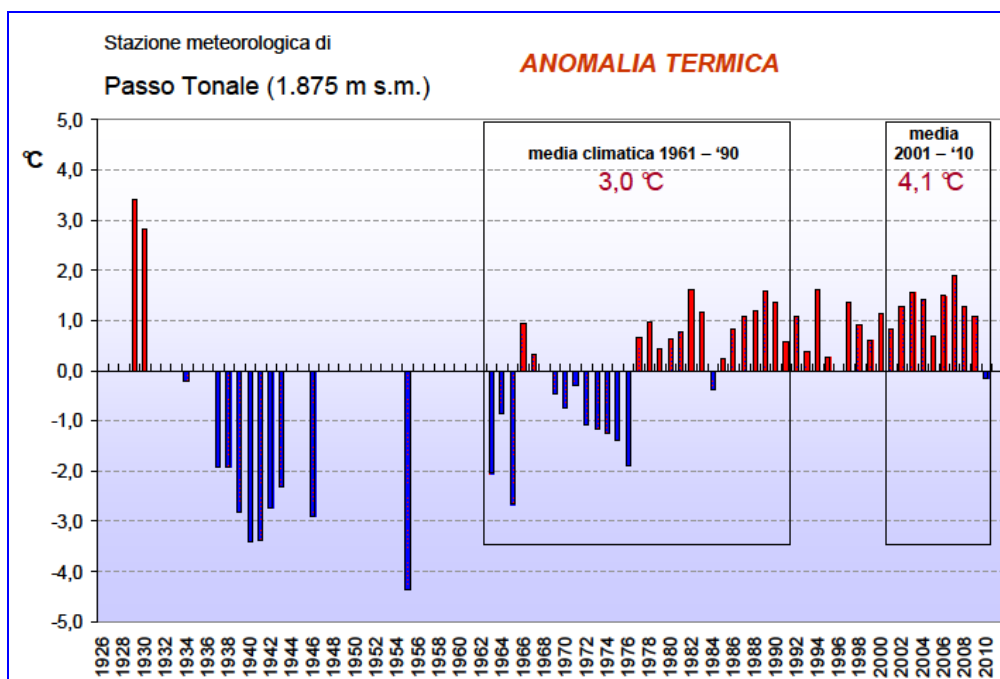
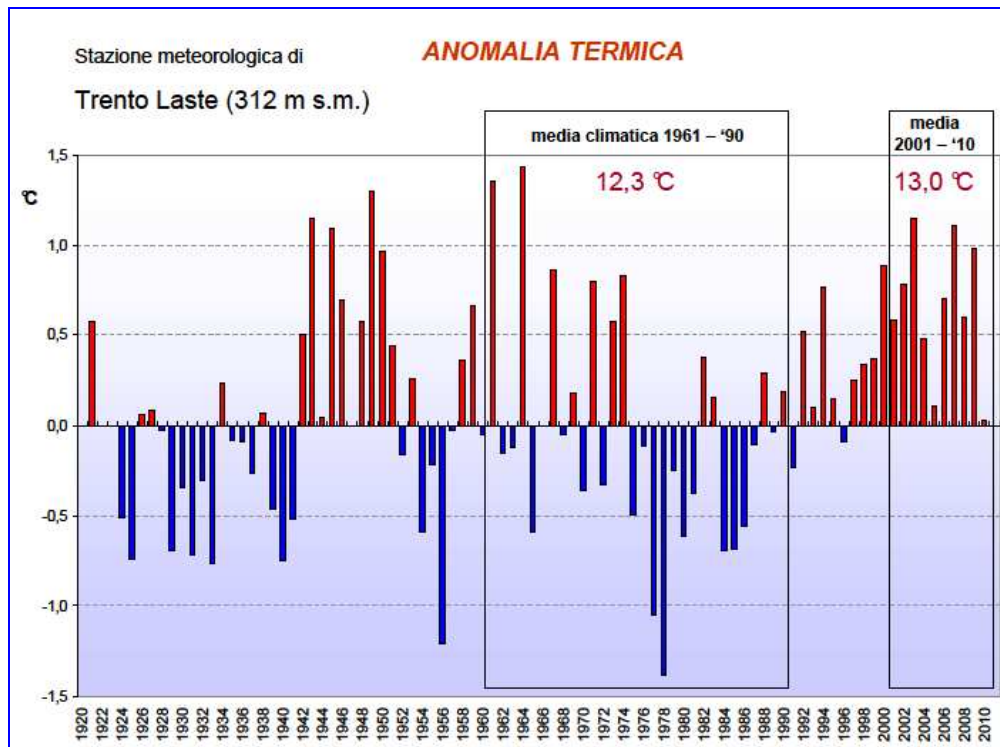
Il riscaldamento globale dell'atmosfera terrestre negli ultimi decenni, noto anche con il termine di *cambiamento climatico* (CC), trova pieno riscontro anche nei dati raccolti presso le stazioni meteorologiche presenti sul territorio trentino, per alcune delle quali sono disponibili serie storiche particolarmente lunghe che consentono di analizzare l'evoluzione degli ultimi 80-100 anni.

Nella seguente figura 4 sono rappresentati alcuni grafici ottenuti dall'andamento delle temperature presso stazioni poste a diverse altitudini. I dati sono espressi in termini di anomalia termica, ovvero di differenza tra la media annuale e quella climatica, che a sua volta è calcolata come media del trentennio 1961-'90 secondo lo standard internazionale.

La stazione di Trento Laste è rappresentativa del fondovalle Atesino che attraversa da nord a sud l'intero territorio provinciale, in essa è visibile un significativo riscaldamento a partire dagli anni'90, tanto che nell'ultimo decennio le temperature risultano mediamente superiori di 0,7 °C rispetto alla media climatica.

Le stazioni di Passo Tonale e Careser Diga si trovano decisamente più in alto nel settore nord occidentale del Trentino ed evidenziano una crescita delle temperature negli ultimi dieci anni ancora più elevata, testimoniando che all'aumentare della quota si registra un trend di riscaldamento proporzionalmente più intenso rispetto ai fondovalle.

Ne danno conferma anche le stazioni più alte del Trentino (Capanna e Cima Presena) che, pur non disponendo di serie storiche sufficientemente lunghe per un'analisi di tipo climatico, evidenziano una significativa tendenza all'incremento delle temperature medie annuali, che è quantificabile nell'ordine di 0,5 °C in soli dieci anni; considerando la media delle sole temperature estive nello stesso decennio la tendenza indica un aumento è nell'ordine di 0,7-0,8 °C.



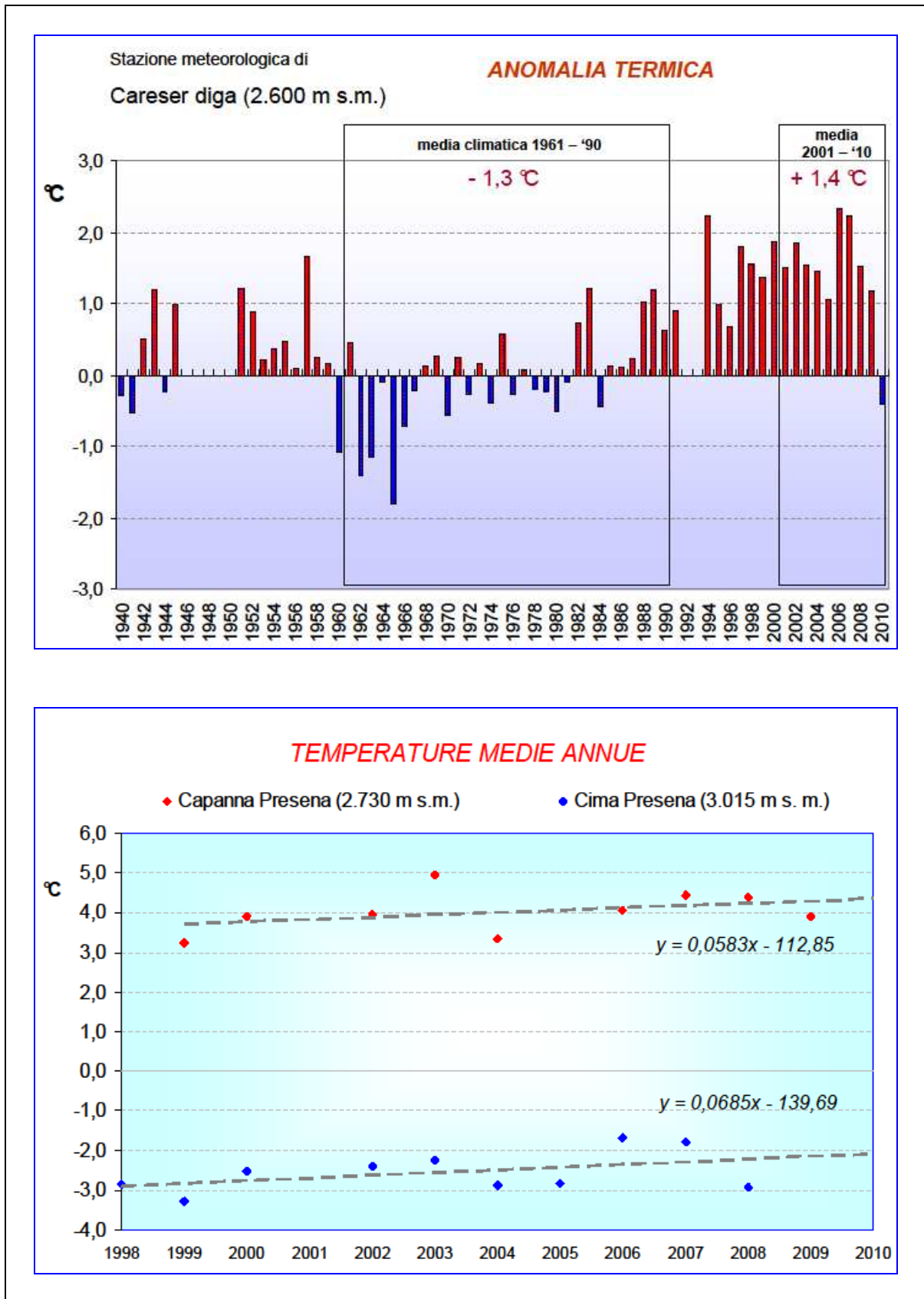


Fig.4: Aumento delle temperature medie annue registrato a diverse quote in Trentino.

Gli effetti di questo riscaldamento sono stati puntualmente riscontrati sulle masse glaciali per le quali, oltre alle già citate informazioni ricostruite per la piccola età glaciale, sono state

svolte in Trentino nell'ultimo secolo quattro diverse rilevazioni generali; la prima nell'ambito del citato Elenco del 1925 che riporta la presenza di 88 ghiacciai, la seconda riferita al catasto generale del 1960, la terza eseguita a cura del Comitato Glaciologico Trentino nel 1990 e la quarta ottenuta da apposite riprese ortofotografiche e laser scanner svolte dalla Provincia autonoma di Trento nel 2003.

Questi dati testimoniano un notevole ritiro dei ghiacciai, che negli ultimi due secoli hanno perso circa il 70 % della loro massa. Le stime volumetriche forniscono infatti valori rapidamente decrescenti nel tempo, passando dai 6 km³ di inizio '800, ai 3 del 1960, ai 2,3 del 1990 per arrivare infine all'1,7 del 2003.

La corrispondente riduzione superficiale è rappresentata in figura 5, dove sono evidenziati anche i due stadi cronologici precedentemente descritti, i quali nel contesto trentino sono caratterizzati rispettivamente da un decremento superficiale medio annuo di -0,3 e -1,8 per cento.

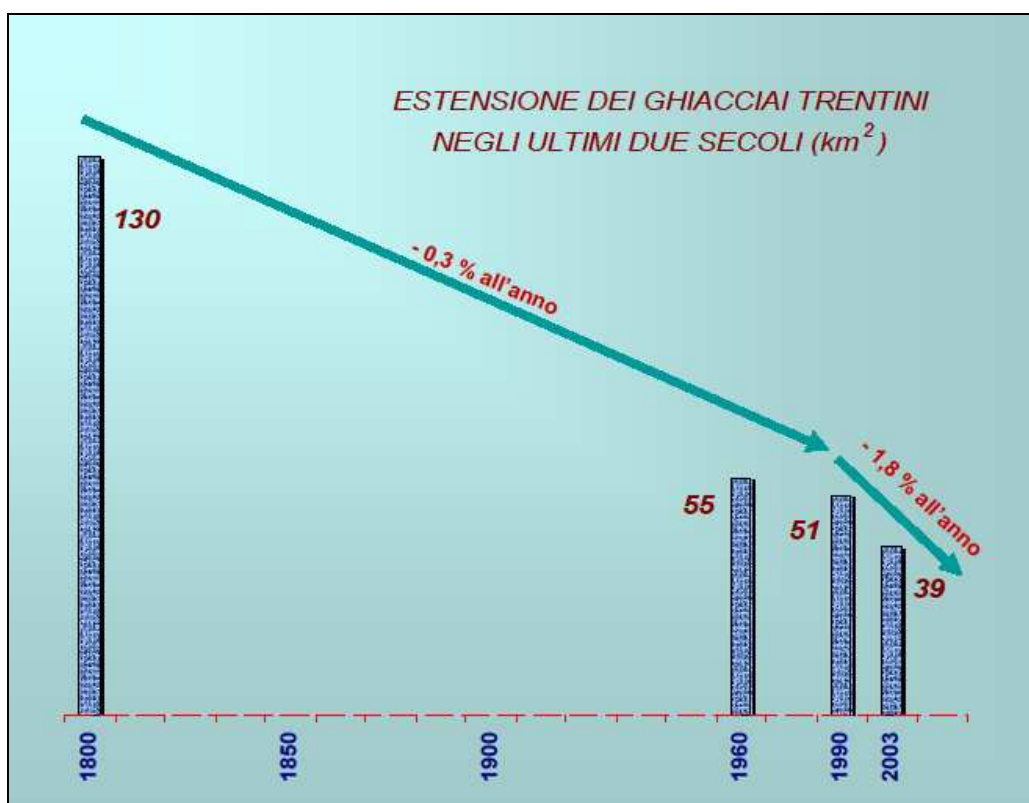


Fig.5: Ghiacciai trentini, riduzione superficiale dopo la Piccola Età Glaciale.

La vistosa accelerazione dei processi di ablazione manifestatasi negli ultimi decenni è ben visibile anche nei risultati ottenuti con le misurazioni delle variazioni frontali e dei bilanci di massa.

L'arretramento frontale viene rilevato in Trentino fin dal 1927 ad opera dei volontari del già citato Comitato glaciologico della S.A.T. (Società degli Alpinisti Tridentini) e riguarda attualmente circa 30 ghiacciai. Uno dei più rappresentativi a questo riguardo è quello della *Marmolada* (nota anche come "Regina delle Dolomiti") la cui fronte è arretrata di quasi 50 metri tra il 1930 e il 1980 e di ben 300 metri nel trentennio successivo, che ha quindi avuto un'intensità di ritiro glaciale dieci volte superiore al cinquantennio precedente (si veda fig. 6).

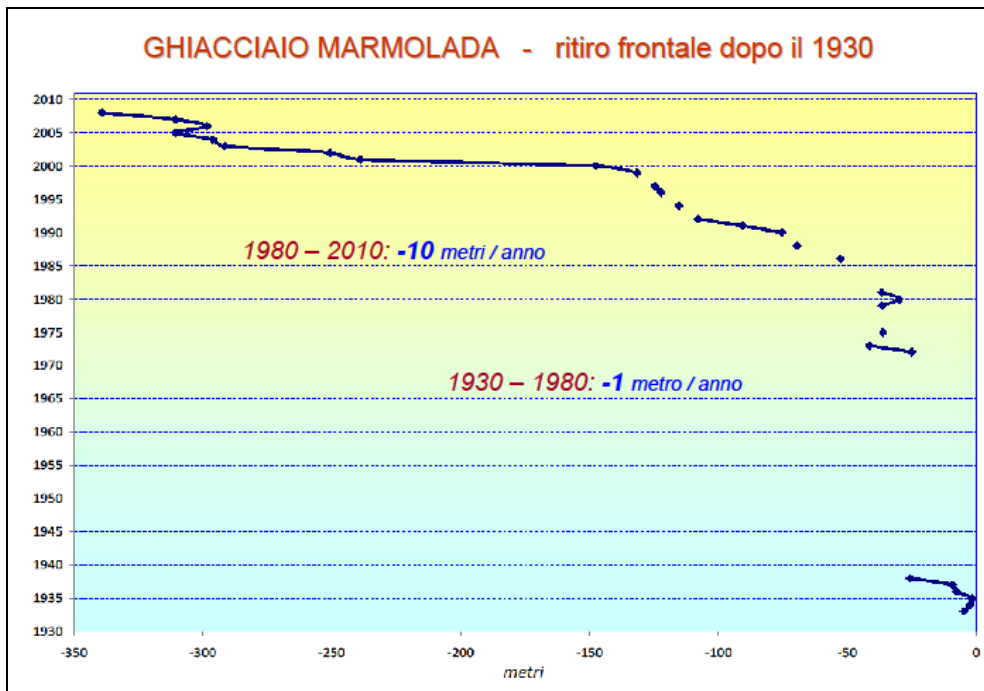


Fig 6: Arretramento frontale del ghiacciaio Marmolada.

Per quanto riguarda i bilanci di massa, che vengono registrati annualmente per i ghiacciai più rappresentativi confrontando gli accumuli invernali e le perdite estive, la più lunga serie storica dell'intero arco alpino risale fino al 1967 e riguarda il ghiacciaio del *Careser* nel gruppo montuoso Ortles-Cevedale. Nella figura che segue si riportano i relativi bilanci di massa annuali (barrette blu) e quello cumulato che si ottiene sommando i precedenti (linea rossa). Anche in questo caso risulta evidente l'intensificazione dei fenomeni avutasi a partire dagli anni '80 del secolo scorso, nonché la loro successiva accelerazione che continua a tuttoggi.

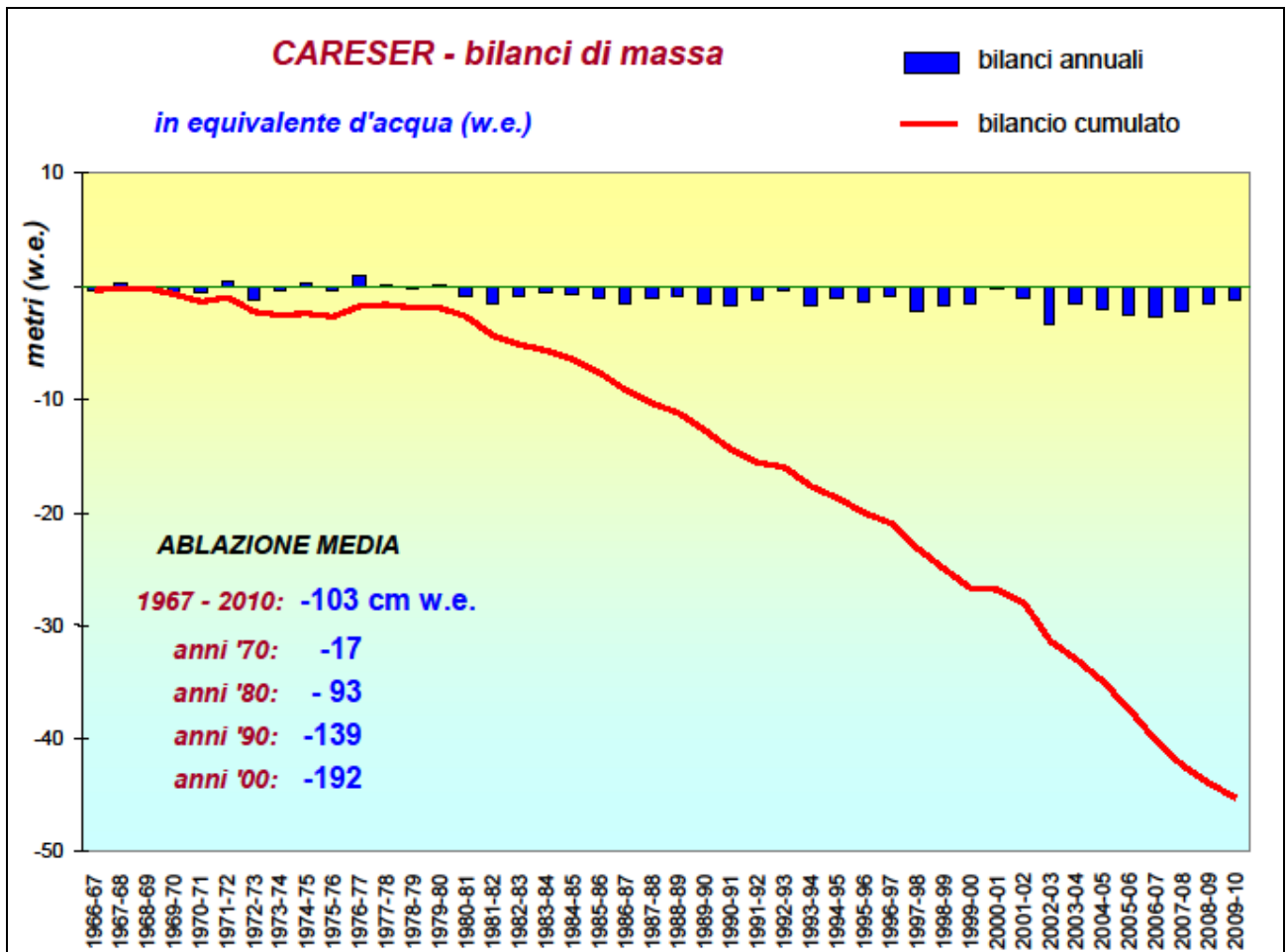


Fig 7: Bilanci di massa del ghiacciaio Careser.

Le perdite di massa glaciale sono avvenute prevalentemente a carico dei ghiacciai medio-grandi e sono state accompagnate da processi di frammentazione che hanno generato un sempre maggior numero di ghiacciai con piccole dimensioni e quindi meno resistenti; anche questo elemento ha contribuito alla forte accelerazione che si è registrata negli ultimi decenni.

Vi è quindi stato un processo di migrazione tra le diverse classi dimensionali dei ghiacciai che, nella generale riduzione areale di ciascuna di esse, ha visto aumentare notevolmente il numero di ghiacciai con piccole dimensioni. I corrispondenti valori registrati a partire dal 1960 sono rappresentati di seguito sia in forma numerica che grafica; al riguardo si precisa che per il ghiacciaio del Mandron (gruppo Adamello) è stata considerata solo la porzione ricadente in Trentino, questo ghiacciaio ha infatti un'estensione di circa 15 km² che però ricadono per gran parte in Lombardia.

CLASSI DIMENSIONALI <i>km²</i>	1960		1990		2003	
	<i>N.</i>	<i>Sup.</i>	<i>N.</i>	<i>Sup.</i>	<i>N.</i>	<i>Sup.</i>
> 10	0	0,00	0	0,00	0	0
5 - 10	3	17,35	2	11,18	1	6,67
2 - 5	4	13,45	5	17,32	4	14,59
1 - 2	5	6,84	5	6,89	4	5,54
0,5 - 1	10	6,84	5	3,41	4	3,30
0,1 - 0,5	40	8,90	52	10,41	31	6,07
0,01 - 0,1	27	1,28	59	2,14	88	3,07
TOTALI	89	54,66	128	51,35	132	39,24

Tab. 1: Evoluzione dei ghiacciai trentini per classi dimensionali.

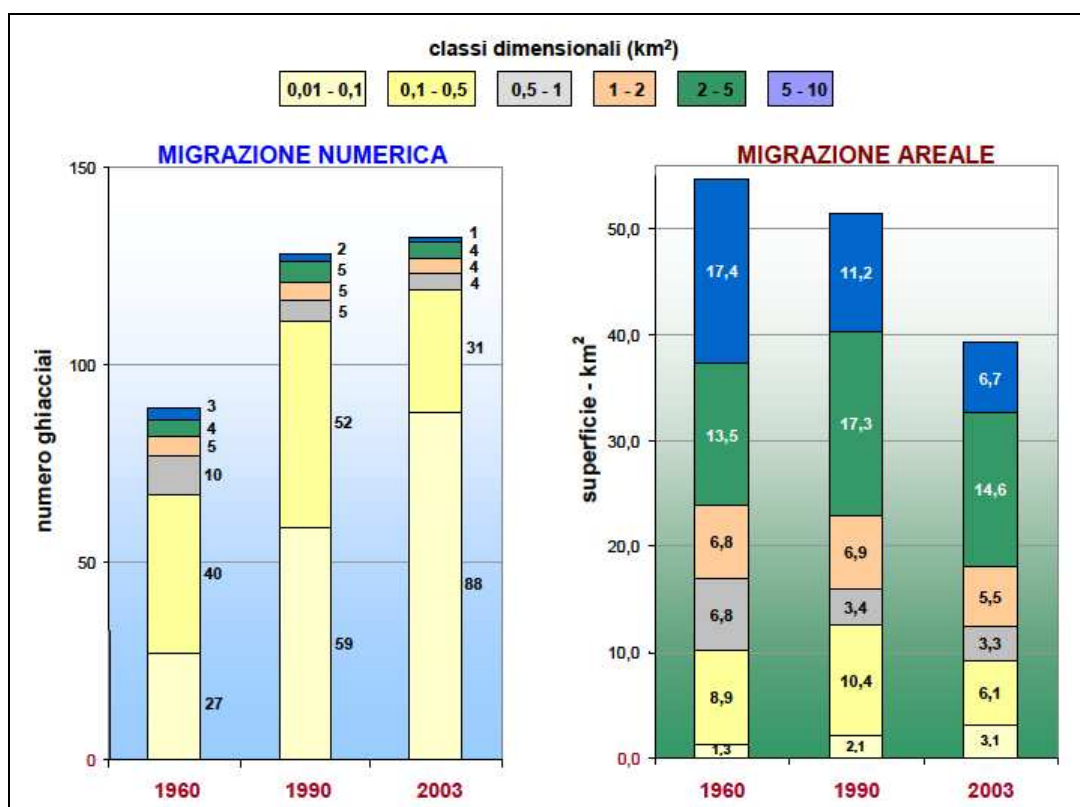


Fig 8: Ghiacciai trentini, migrazione numerica ed areale tra classi dimensionali.

In questo generale e significativo precesso di ridimensionamento vi sono state tuttavia differenze anche notevoli tra un ghiacciaio e l'altro in relazione alle diverse condizioni microclimatiche, che a loro volta dipendono principalmente da quota, esposizione e morfologia locale del territorio (es. zone d'ombra). Un caso particolarmente significativo a questo riguardo è quello dei ghiacciai denominati *Centrale del Vioz* e *Vedretta rossa*, di cui in fig. 8 sono rappresentate le differenze rilevate tra il 1990 e il 2003.

Essi infatti, pur trovandosi entrambe sulle pendici del Monte Vioz (nel gruppo montuoso dell'Ortles-Cevedale) hanno ritmi di riduzione molto diversi, che si collocano addirittura tra i valori massimi e minimi registrati negli ultimi decenni.



	Centrale del Vioz	Vedretta Rossa
Foto settembre 2010		
1990	Quota media: 3.451 m s.m. Superficie: 26 ha	Quota media: 3.222 m s.m. Superficie: 102 ha
2003	Quota media: 3.531 m s.m. Superficie: 8 ha	Quota media: 3.226 m s.m. Superficie: 99 ha
1990 - 2003	Aumento quota media: 80 m Riduzione superficie: -4,3 % anno	Aumento quota media: 4 m Riduzione superficie: -0,2 % anno

Fig.9: Evoluzione dei ghiacciai Centrale del Vioz e Vedretta Rossa tra il 1990 e il 2003.

L'attuale distribuzione dei ghiacciai trentini nei diversi gruppi montuosi che li ospitano è infine rappresentata nella figura 10, che si riferisce ai rilievi svolti nel 2003.

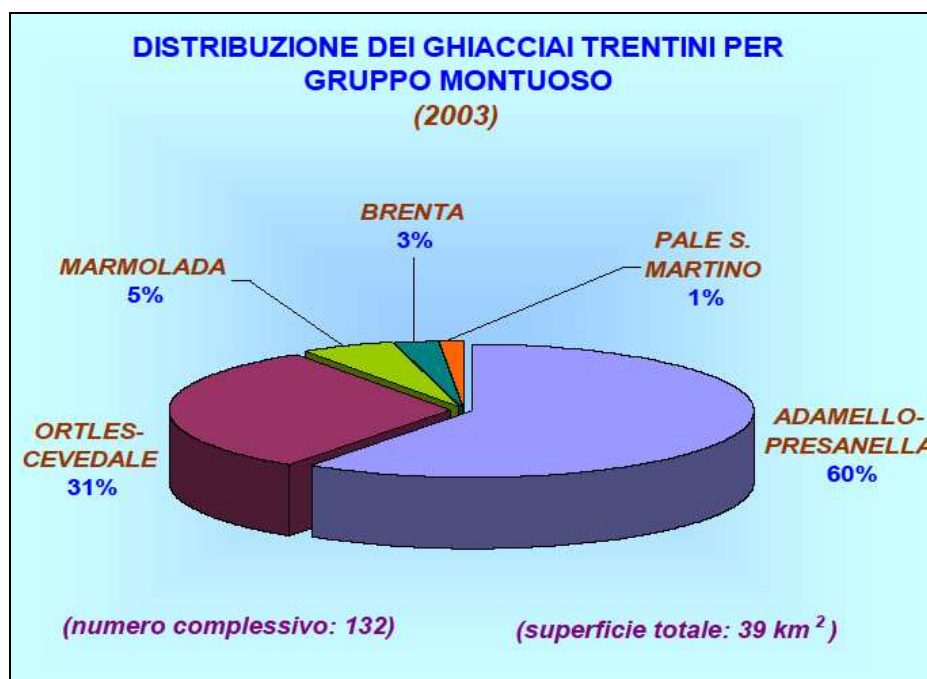


Fig.10: Ghiacciai trentini, distribuzione per gruppi montuosi riferita all'anno 2003.

Monitoraggi recenti

In relazione alla necessità di migliorare le conoscenze sull'evoluzione dei ghiacciai in un periodo di così intensa riduzione degli stessi, è nata nel giugno 2006 la *Convenzione per i ghiacciai trentini*, che coinvolge i soggetti maggiormente impegnati in ambito glaciologico sul territorio trentino, ovvero la Provincia Autonoma di Trento, il Comitato glaciologico della Società degli Alpinisti Tridentini, il Museo Tridentino di Scienze Naturali e il Centro Universitario per la Difesa dell'Ambiente Montano dell'Università di Trento.

Essi hanno messo a disposizione le proprie risorse umane, tecniche e finanziarie per migliorare le attività di monitoraggio e di studio nonché per operare in maniera coordinata al raggiungimento di obiettivi condivisi sia nel breve che nel medio-lungo termine.

Grazie alla nascita della Convenzione sono state ampliate le attività di rilievo tradizionali e sono state avviate tecniche di indagine che sfruttano le moderne tecnologie elettromagnetiche ed elettroniche che consentono di svolgere rilievi ed elaborazioni con notevole precisione e dettaglio.

Si riassumono di seguito brevemente le principali attività glaciologiche che si stanno svolgendo in Trentino:

RIPRESE FOTOGRAFICHE

Si stanno recuperando e catalogando le immagini storicamente disponibili e se ne stanno effettuando di nuove in occasione delle campagne di rilievo annuali, nel settembre 2010 sono state fatte riprese fotografiche aeree di ciascun ghiacciaio.

MISURE FRONTALI

Continuano le misurazioni per le serie storiche iniziate nel 1927, e che attualmente riguardano 30 ghiacciai.

RIPRESE A TERRA CON TEODOLITE E GPS

Vengono svolti su alcuni ghiacciai a supporto delle attività di rilievo che richiedono il posizionamento geografico sia statico che dinamico degli strumenti.

AGGIORNAMENTO CATASTI

I primi catasti glaciologici realizzati in Trentino, ovvero quelli del 1925 e del 1960 riportano informazioni solo in forma di testo e tabelle, mentre quelli del 1990 e del 2003 sono stati organizzati su basi GIS, per ciascun ghiacciaio sono quindi disponibili informazioni geografiche dettagliate tra cui principalmente l'estensione, il perimetro, le pendenze e le quote ma anche i dati relativi all'estinzione o alla frammentazione. E' prevista la realizzazione di un nuovo catasto generale nel 2013 per disporre del quadro geografico aggiornato a distanza di dieci anni dall'ultimo disponibile.

BILANCI DI MASSA

Oltre a proseguire le misure già citate per il ghiacciaio Careser, a partire dal 2006 sono stati gradualmente estesi i rilievi anche su altri cinque ghiacciai (Mandron, Lobbia, Agola, La Mare e Marmolada); le misure sono svolte a livello puntuale grazie a centinaia di paline ablatometriche appositamente infisse nel ghiaccio, in corrispondenza delle quali si misurano

gli accumuli invernali e l'ablazione estiva. Si stanno inoltre elaborando i dati con strumenti GIS per la spazializzazione dei bilanci di massa, di cui si riportano due esempi in figura 11. Nel corso delle campagne di misura vengono eseguite anche trincee nivologiche per registrare la stratificazione del manto nevoso e determinarne la densità.

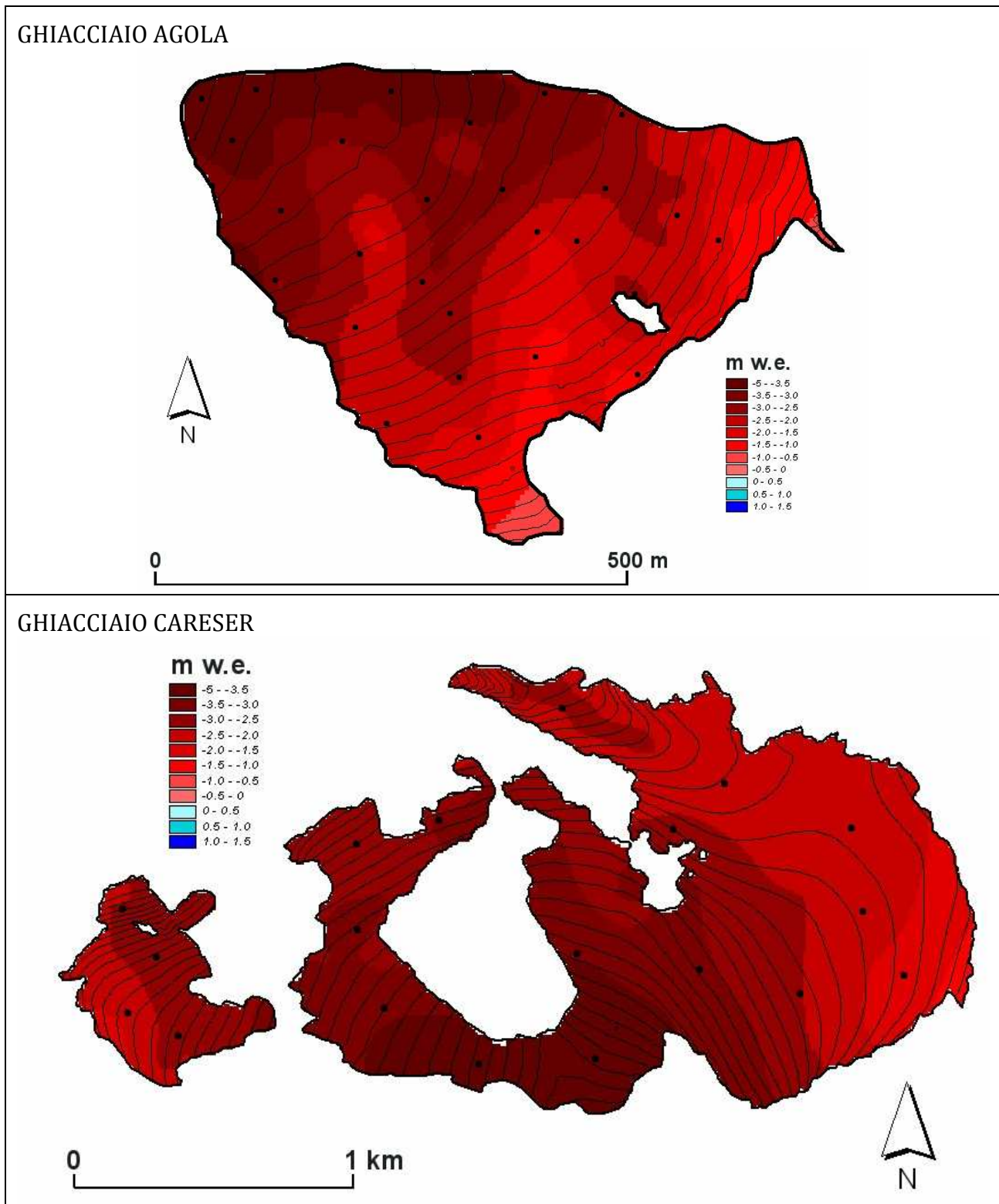


Fig.11: Spazializzazione del bilancio di massa 2006-'07 per Agola e Careser.

RILIEVI LIDAR

Un primo rilievo generale con tecniche laser scanner (LIDAR) e ortofotografiche, come sopra accennato, è stato eseguito a settembre 2003 mediante appositi voli aerei su tutte le aree glacializzate del Trentino; da esso sono state poi generate varie rappresentazioni georeferenziate a due e tre dimensioni con valenza sia tecnica che divulgativa (es. volo virtuale sui ghiacciai). A partire dal 2009 sono inoltre stati eseguiti rilievi lidar da terra sui ghiacciai Presena e Careser per disporre di modelli tridimensionali aggiornati con scadenze nell'ordine di un anno.

RILIEVI GPR

I rilievi eseguiti con georadar (GPR) consentono di determinare lo spessore del ghiaccio e quindi la giacitura della roccia sottostante (bedrock) e richiedono a tal fine di percorrere con lo strumento l'intera superficie da rilevare. Questo tipo di indagine è stata eseguita nel 2007 sul corpo principale del ghiacciaio Careser, nel quale è stata misurata una profondità massima di circa 80 metri e un volume complessivo di 43,8 milioni di metri cubi (vedi fig. 12). Nel 2010 analogo rilievo è stato eseguito anche sul ghiacciaio Presena ed i relativi dati sono ancora in corso di elaborazione. Per i prossimi anni si prevede di proseguire l'attività su altri corpi glaciali, testando anche l'esecuzione di rilievi con elicottero per agevolare le campagne di misura.

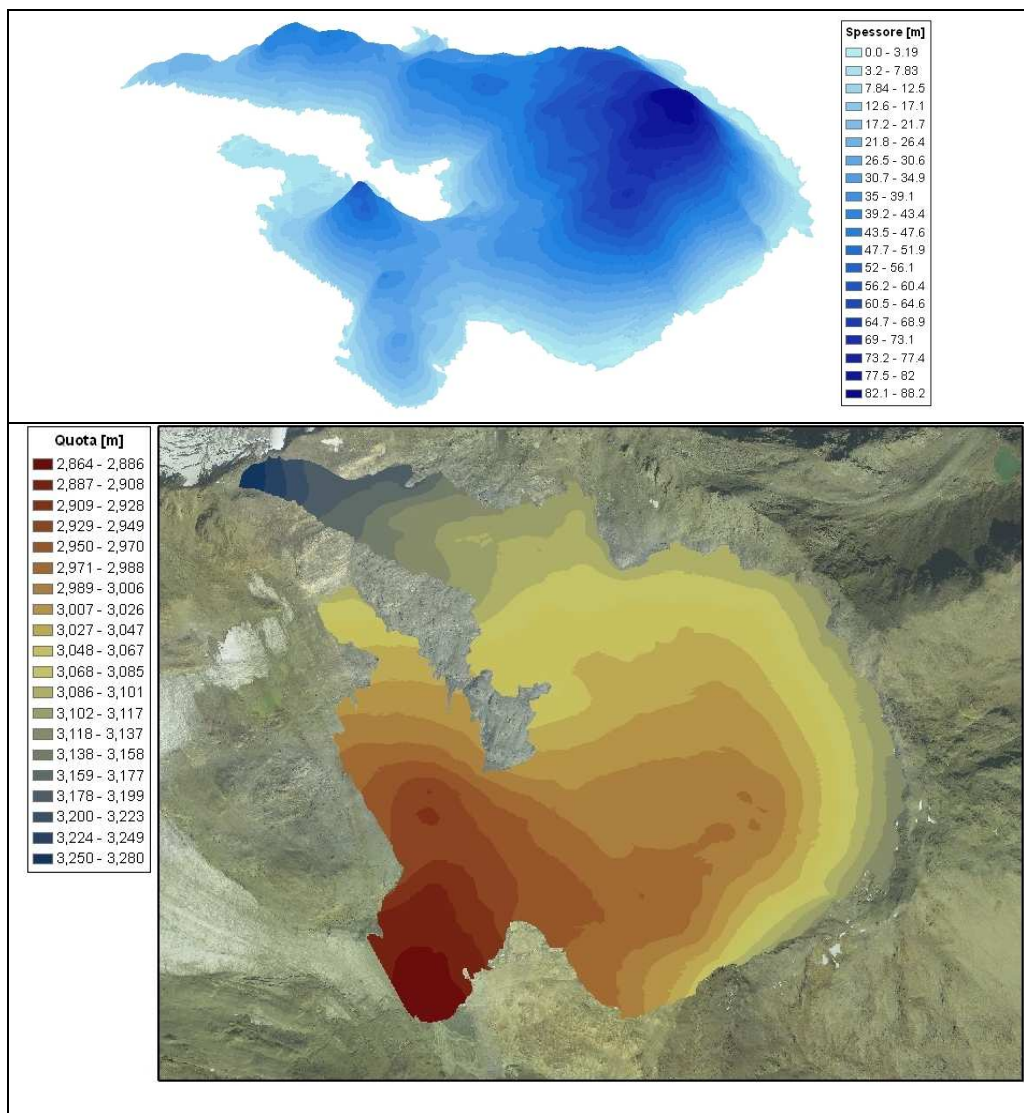


Fig.12: Spessori di ghiaccio e giacitura del bedrock ottenuti dal rilievo georadar 2007 sul corpo principale del ghiacciaio Careser.

STAZIONI METEOROLOGICHE E IDROMETRICHE

Per poter monitorare con continuità l'andamento dei principali parametri meteorologici sono state installate 3 stazioni di misura complete direttamente sulla superficie dei ghiacciai Mandron, Careser e Presena; su questi ultimi due sono inoltre state predisposte stazioni idrometriche per la misura in continuo delle portate d'acqua che fuoriescono dagli stessi.

PROGRAMMA SPERIMENTALE PRESENA

Sul ghiacciaio Presena, ove si pratica lo sci alpino, si sta infine svolgendo una sperimentazione per valutare l'efficacia di alcuni interventi di mitigazione, tra questi in particolare la copertura estiva con teli geotessili si è dimostrata decisamente efficace nel ridurre l'ablazione estiva, infatti nelle zone protette con teli si è conservato il 50% della neve presente a inizio estate impedendo così anche l'ablazione del ghiaccio. Per maggiori informazioni sul programma Presena si veda lo specifico documento presente nella sezione ghiacciai del sito www.meteotrentino.it).

25 novembre 2011

Alberto Trenti