

# STAGIONE INVERNALE 2008-2009

## CARATTERISTICHE, VALANGHE E MONITORAGGIO SISMICO

### **Mauro Valt**

ARPA Veneto - DRST Centro Valanghe  
di Arabba, Arabba (Italy)

### **Damiano Pesaresi**

Istituto Nazionale di Oceanografia e di  
Geofisica Sperimentale - OGS, Udine (Italy)  
Istituto Nazionale di Geofisica e  
Vulcanologia (INGV), Roma (Italy)

La stagione invernale 2008-2009 è stata nevosa su tutto l'Arco alpino meridionale nelle Dolomiti, con lunghi periodi perturbati e consistenti apporti di neve fresca, con una attività valanghiva frequente.

Nelle Dolomiti è presente una stazione sismica a larga banda, alta dinamica e alta sensibilità, installata nella galleria artificiale dell'Istituto Minerario U.Follador di Agordo.

Il presente lavoro, dopo aver presentato le caratteristiche essenziali della stagione invernale, illustra la perturbazione sismica generata dall'attività valanghiva e registrata dal sismometro di Agordo e della rete sismica gestita dall'OGS nel Nord-Est Italia.

La ricerca e l'individuazione di tali segnali inizialmente sulla base di valanghe note, possono contribuire ad individuare delle metodologie di analisi tali da poter ricostruire l'attività valanghiva avvenuta nell'area adiacente i sismometri.

Le tracce sismiche registrate dalla stazione di Agordo con caratteristiche tipiche del movimento delle valanghe, hanno permesso di ricostruire i periodi di attività valanghiva dando un valido supporto alla verifica dei vari bollettini di pericolo da valanghe emessi nelle aree adiacenti. La ricerca condotta con questo lavoro suggerisce di installare una rete sismica più densa dedicata, anche in maniera temporanea, al rilevamento di valanghe.





## PREMESSA

La stagione invernale 2008 - 2009 è stata nevosa su tutto l'Arco alpino meridionale. In particolare nelle Dolomiti (Alpi orientali) l'inverno è stato uno dei più nevosi dal 1930 ad oggi, con lunghi periodi perturbati, consistenti apporti di neve fresca, elevati spessori di neve al suolo e con una attività valanghiva importante e frequente. Il manto nevoso è rimasto debolmente consolidato per molti giorni con numerose valanghe di grandi dimensioni che hanno raggiunto il fondo-valle più volte. Per cercare di mitigare il pericolo di valanghe di alcuni pendii sono stati effettuati molti tentativi di distacco artificiale delle valanghe.

Nelle Dolomiti è ubicata una stazione sismica a larga banda ed alta dinamica presso le gallerie artificiali dell'Istituto Tecnico "U. Follador" di Agordo, in provincia di Belluno. Si tratta di una stazione sismica ad alta sensibilità installata in cooperazione tra l'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale

(OGS) di Trieste e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) di Roma.

## OBIETTIVI DEL PRESENTE LAVORO

Il presente lavoro presenta le caratteristiche essenziali della stagione invernale e dell'attività valanghiva; illustra inoltre la perturbazione sismica generata dall'attività valanghiva registrata dal sismometro di Agordo e della rete sismica gestita dall'OGS nel nord-est Italia.

La ricerca e l'individuazione di tali segnali inizialmente sulla base di valanghe note, possono contribuire ad individuare delle metodologie di analisi tali da poter ricostruire l'attività valanghiva avvenuta nell'area adiacente i sismometri. L'osservazione e la registrazione degli eventi valanghivi è ancor oggi effettuata da osservatori nivologi: questo tipo di indagine presenta molte limitazioni dovute alla mobilità sul territorio durante episodi perturbati, alla cattiva visibilità, alla inaccessibilità di zone di alta quota

o di aree impervie, e alla osservazione durante la notte.

Pertanto la sismologia può rappresentare un valido supporto nel caratterizzare gli eventi.

## L'AREA DI INDAGINE

### Aspetti climatici

La montagna veneta (Fig. 1), si trova dal punto di vista climatico, in una posizione di transizione fra l'effetto mitigatore delle acque del Mediterraneo, l'effetto orografico della catena alpina e la continentalità dell'area centrale - europea.

La distribuzione delle precipitazioni è in gran parte regolata dalla particolare configurazione orografica delle prealpi e delle Dolomiti che influenzano il regime delle precipitazioni e anche la loro intensità.

Lo sbarramento creato dalle prealpi vicentine e bellunesi determina, nel caso di flussi meridionali, abbondanti precipitazioni che decrescono da sud verso nord cioè verso la cresta di confine con l'Austria mentre la quota dello zero termico e le "sacche" di aria fredda presenti nelle valli, influenzano in modo significativo il limite della neve e i quantitativi di neve fresca. I flussi settentrionali determinano spesso poche precipitazioni nevose con quantitativi in diminuzione dalla cresta di confine verso le prealpi quando riescono a superare lo sbarramento delle Alpi. I flussi orientali invece determinano di solito minor precipitazioni ma più fredde e con quantitativi variabili fra le prealpi bellunesi e quelle veronesi.

## LA STAGIONE INVERNALE 2008-2009

### Andamento generale

La stagione invernale è stata caratterizzata da abbondanti precipitazioni su tutto l'arco alpino, con elevati spessori di neve al suolo già dal mese dicembre (Fig 2).

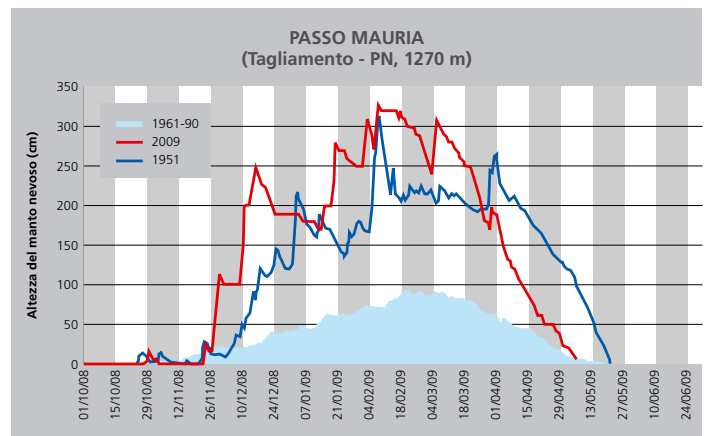
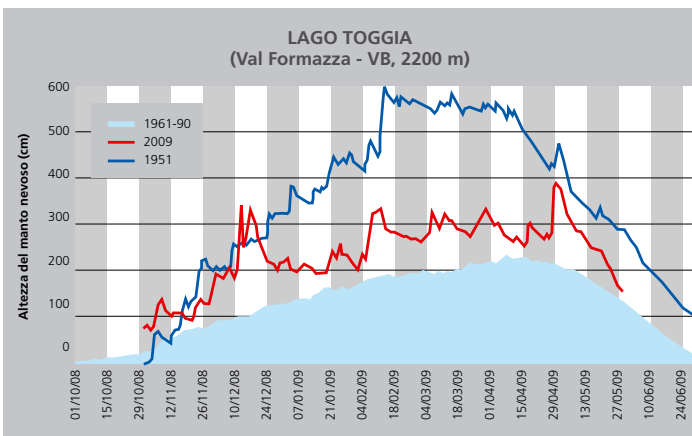
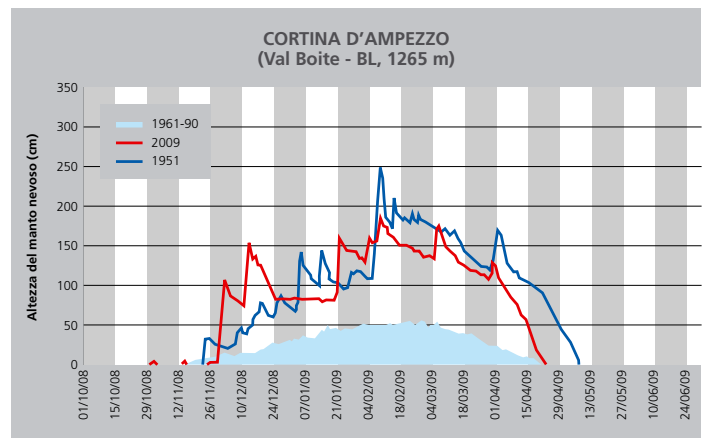
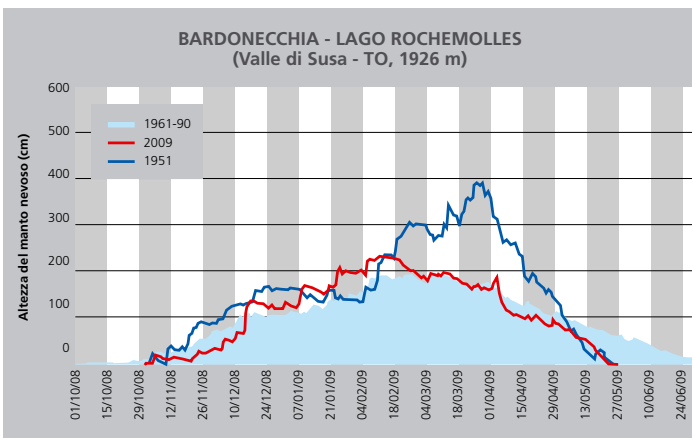
In quasi tutte le località dell'Arco alpino la neve ha sempre superato i valori medi di riferimento (1971 - 2005) e in molte casi ha raggiunto e superato i valori osservati nella stagione 1950 - 1951, storicamente la più nevosa dal 1930 ad oggi.

Fig. 1  
Le Alpi dal satellite.  
Area di indagine





Fig. 2  
Altezza del manto nevoso in alcune località delle Alpi: Bardonecchia (Alpi Cozie), Lago Toggia (Alpi Lepontine), Cortina d'Ampezzo (Dolomiti), Passo Mauria (Dolomiti-Alpi Carniche).



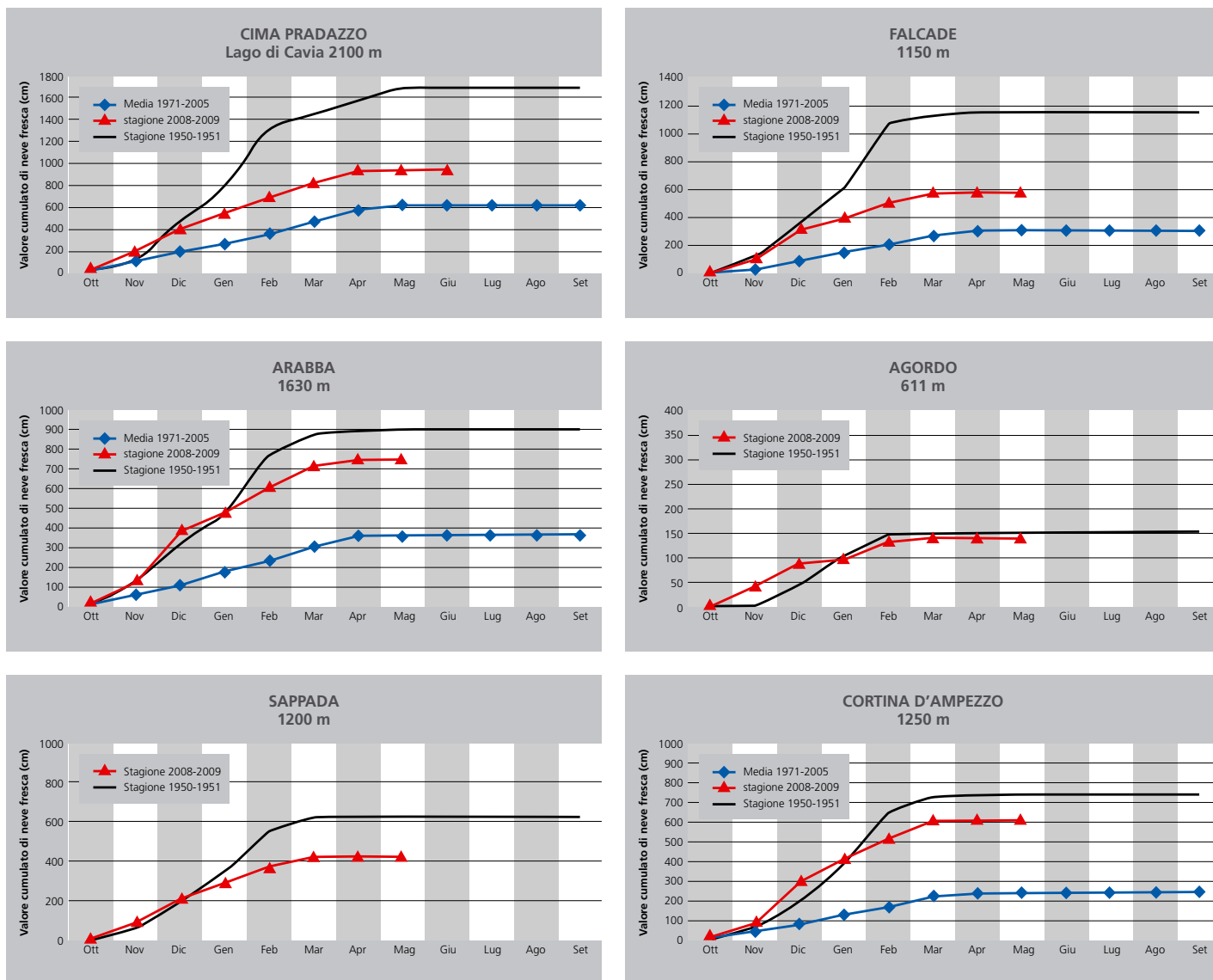


Fig. 3  
Cumulo stagionale di neve fresca per alcune stazioni delle Dolomiti.

Nelle Alpi orientali gli episodi perturbati sono stati una decina dei quali i più importanti:

- dal 28 novembre al 3 dicembre,
- dal 10 al 17 di dicembre,
- dal 19 al 22 gennaio,
- dal 31 gennaio al 3 febbraio,
- dal 6 al 10 sempre di febbraio,
- dal 4 al 6 e dal 29 al 31 di marzo e infine
- dal 16 al 17 e dal 27 al 29 di aprile

che hanno determinato, soprattutto nelle Dolomiti Meridionali, considerevoli apporti di neve.

I valori cumulati di neve fresca (neve caduta in 24 ore), sono stati in molte località secondi solo al già citato inverno del 1951 (Fig. 3), sia in quota che a bassa quota e già dal mese di dicembre.

Nella stazione di osservazione di Arabba, ubicata nel centro delle Dolomiti e rappresentativa di tutta l'area dolomitica per la quota di 1600 m, nel periodo 29 novembre - 8 marzo (100 giorni), le giornate con neve fresca sono state ben 41 (Fig. 4) delle quali 8 con apporti superiori ai 30 cm e 3 con apporti superiori ai 45 cm di neve fresca.

### Attività valanghiva generale

La stagione invernale è stata caratterizzata da una intensa attività valanghiva naturale. Tuttavia, dati i lunghi periodi di brutto tempo e la grande quantità di valanghe avvenute, è stato molto difficile da parte di tutti gli osservatori nivologici fornire una attenta segnalazione di tutti i singoli eventi. Le osservazioni effettuate nella stazione di Arabba, secondo le direttive AINEVA, delle valanghe naturali

(Cagnati, 2003), sono riportate nel grafico di Fig. 5. Nello stesso grafico, con un quadratino, sono riportate anche le giornate in cui si sono verificate grandi valanghe nelle zone limitrofe ad Arabba e a quote inferiori. Questa integrazione di dati è necessaria non essendoci specifiche stazioni di osservazione a fondovalle e anche per evidenziare la reale attività valanghiva avvenuta in tutta l'area di indagine (Dolomiti Agordine).

In particolare, già con le intense neviccate del 28 novembre - 3 dicembre si sono verificate le prime grandi valanghe che sono arrivate fino a fondovalle come quella di Mezzavalle, fra Cencenighe Agordino e Listolade, ma soprattutto quella di Liniadac, appena fuori l'abitato di Livinallongo del Col di Lana in direzione dell'abitato di Arabba (Fig. 6 e 7).



Questa ultima valanga si è staccata nelle prime ore del mattino del 1 dicembre, azionando l'impianto semaforico a protezione della strada statale n. 48 delle Dolomiti, strada che è stata attraversata dalla valanga stessa. La valanga di Livinadac non scendeva dal 1 aprile 1994 e ancor prima dal dicembre del 1990. Durante la stagione invernale oggetto di questo studio la valanga scenderà altre 3 volte.

Con l'episodio del 9 - 16 dicembre l'attività valanghiva è stata ancor più frequente e importante poiché in molti siti, che non avevano ancora dato origine a valanghe, si sono verificate grandi valanghe. E' da rilevare che gli spessori al suolo in questo periodo sono già di oltre 2 m di neve e quindi la quantità di neve in movimento è stata notevole. In questo periodo, nelle Dolomiti meridionali, si verificano quasi tutte le valanghe storiche. Molte valanghe di canalone raggiungono il fondovalle anche perché il loro percorso è facilitato dalle valanghe precedenti.

Con il ritorno del bel tempo, fra il 17 e il 19 di dicembre, iniziano una serie di azioni di bonifica delle valanghe all'interno dei comprensori sciistici e lungo le vie di comunicazione, mediante distacchi artificiali utilizzando esplosivo o miscele gassose esplosive. Le zone interessate sono il comprensorio sciistico di Arabba (il 17 dicembre), la strada regionale n. 244 appena fuori l'abitato di Arabba in direzione del Passo di Campolongo (il 19), la strada statale n.48 in prossimità del Passo Falzarego (il 18), la strada comunale che dall'abitato di Falcade Alto porta alla frazione di Somor in Comune di Falcade.

Un nuovo importante episodio valanghivo viene a determinarsi con le nevicate del 19 - 22 gennaio 2009 con il distacco, di nuovo, di tutte le grandi valanghe che raggiungono il fondovalle ancor più facilitate nei percorsi ormai pieni di neve. In questo periodo il manto nevoso è formato da spessi strati intermedi e superficiali di cristalli angolari conseguenti al periodo freddo della prima decade del

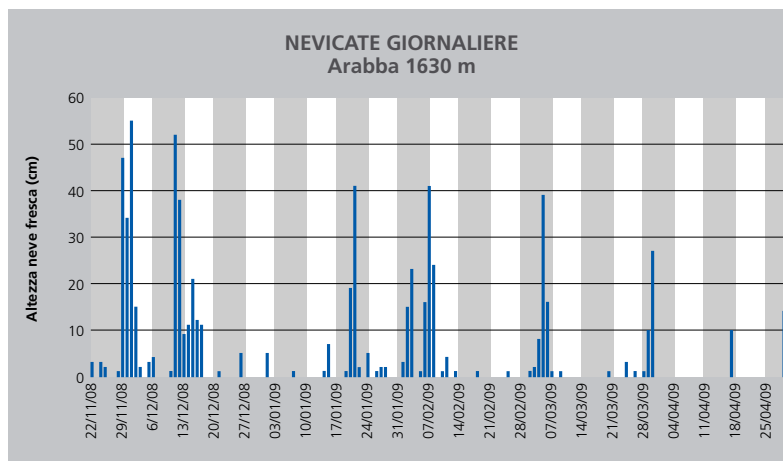


Fig. 4  
Precipitazioni nevose giornaliere misurate presso la stazione di Arabba, q. 1630 m (Dolomiti Agordine).

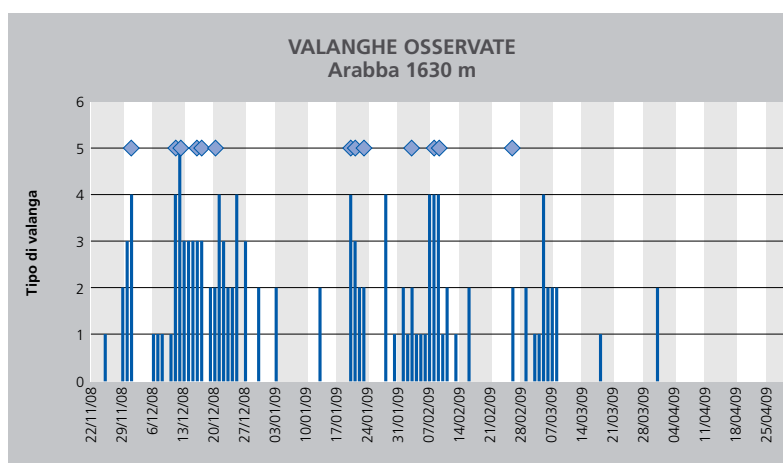


Fig. 5  
Valanghe osservate dalla stazione nivometeorologica di Arabba (q. 1630 m) e grandi valanghe osservate nelle aree limitrofe (30 km di raggio).

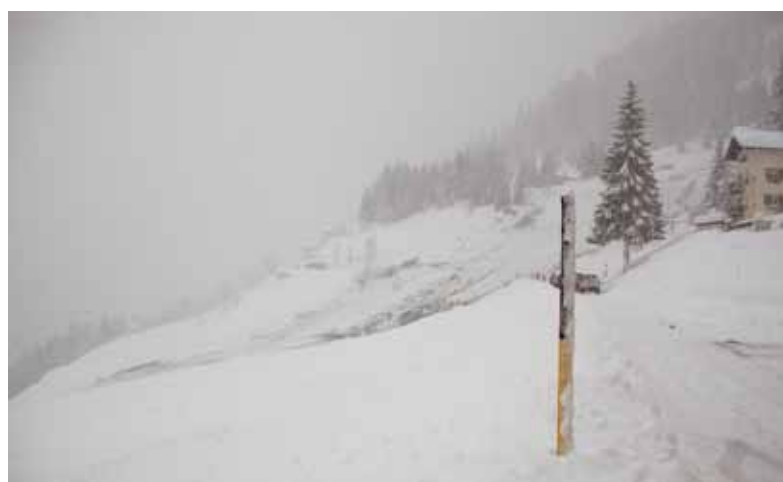


Fig. 6  
Valanga di Livinadac, appena scesa.



Fig. 7  
Valanga di Livinadac, appena scesa

Fig. 8  
Andamento della precipitazione nevosa e della temperatura nel periodo 19-21 gennaio 2009. Nel tempo seguente l'apice della temperatura è stato osservato l'inizio della attività valanghiva spontanea.

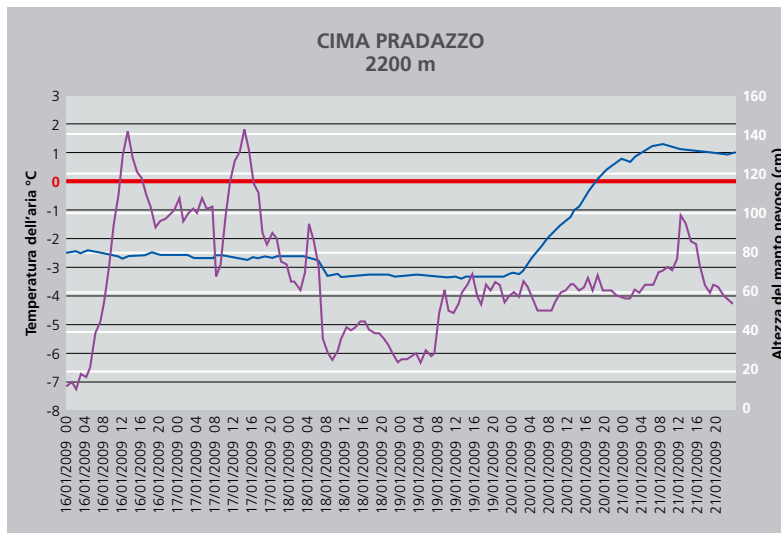


Fig. 9  
Operazioni di imbarco delle cariche di esplosivo su elicottero prima delle operazioni di distacco artificiale.



Fig. 10  
Il sistema di distacco artificiale delle valanghe Daisy Bell.



meze di gennaio 2009 (da ricordare che il 5 di gennaio ghiaccia la laguna veneta) e da uno strato di brina di superficie lungo la maggior parte dei pendii ripidi, un po' in tutte le esposizioni. La neve fresca è instabile, prima sullo strato di brina di superficie e poi, dato il peso e l'entità della precipitazione (60- 90 cm in 48 ore) sulla neve vecchia. Le prime valanghe iniziano a staccarsi nel tardo pomeriggio di lunedì 20 gennaio lungo i pendii più ripidi e i passi dolomitici vengono chiusi; il maggior numero delle valanghe si hanno però nel primo pomeriggio di martedì 21 gennaio 2009. Infatti, dopo le valanghe delle prime ore del mattino, dalle ore 12:30 in poi, nelle Dolomiti Agordine ma anche nella vicina Valle di Fassa, ubicata alla stessa latitudine ma immediatamente a Ovest, iniziano a staccarsi numerose valanghe di medie dimensioni lungo i

pendii in tutte le esposizioni. E' da rilevare che l'inizio di questa fase di distacchi, corrisponde al momento in cui la temperatura dell'aria inizia a diminuire dopo l'aumento del mattino (Fig. 8). A cavallo dei mesi di gennaio e febbraio, un nuovo episodio perturbato apporta dai 30 ai 50 cm di neve fresca in quota con il distacco di numerose valanghe superficiali e a lastroni a causa del vento che ha seguito la precipitazione. Venerdì 3 febbraio, con il miglioramento del tempo, iniziano nuove operazioni di distacco artificiale delle valanghe, specie nel comprensorio sciistico di Arabba. Dopo questi periodo con intensa attività valanghiva, la stagione invernale prosegue con un nuovo importante periodo di grandi valanghe fra il 7 e l'8 febbraio in occasione delle nuove nevicate e ancora nella prima decade di marzo. Poi seguiranno altri singoli periodi con una frequente attività valanghiva conseguente al riscaldamento primaverile e alle precipitazioni tardo primaverili di aprile (16-17, 27-29).

### I sistemi di distacco artificiale delle valanghe

Al fine di ovviare a contingenti situazioni di pericolo di valanghe gravante sulla viabilità, su centri abitati e comprensori sciistici, nel corso dell'inverno è stato programmato spesso il distacco artificiale delle valanghe mediante l'utilizzo di sistemi da elicottero. I sistemi di distacco utilizzati sono stati di due tipi: mediante il lancio diretto dall'elicottero di cariche esplosive e mediante il sistema Daisy Bell. Nel primo caso sono state utilizzate dalle 20 alle 30 cariche esplosive del peso di 5 kg per volo di elicottero.

Le cariche armate, stoccate nell'elicottero, sono state sempre lanciate dal fochino, su indicazione del tecnico neve, nella zona dove si riteneva più probabile ottenere il distacco della valanga (Fig. 9). Il sistema Daisy Bell, invece, utilizza una apposita campana, agganciata al gancio baricentrico dell'elicottero, nella quale viene convogliata una miscela esplosiva di idrogeno e ossigeno, e genera una detonazione con una onda d'urto di 25 hPa (Fig. 10).

La detonazione della miscela esplosiva, che è più lenta dell'esplosivo, genera comunque una onda d'urto in grado di sollecitare il manto nevoso in modo tale da generare il distacco di una eventuale massa nevosa debolmente consolidata. La detonazione avviene in aria, ad una altezza dal manto nevoso variabile fra i 2 e i 5 metri. I due sistemi sono stati impiegati in funzione della loro disponibilità in quanto utilizzati da 2 compagnie aeree diverse. Nel comprensorio sciistico di Arabba il distacco artificiale delle valanghe avviene utilizzando la teleferica CATEX con cariche di esplosivo sempre da 5 kg e la rete di Gazex che sono installati a monte delle piste da sci.

### Utilizzo di stazioni sismiche per la rilevazione di valanghe

L'utilizzo di sismometri è stato testato nei siti sperimentali di misurazione delle velocità delle valanghe come ad esempio a Boi Taul an Nuria nei Pirenei Catalani, nella Valle della Sione in Svizzera o a Ryggfonn in Norvegia. Per questo tipo di ricerche sono stati utilizzati dei sismometri di tipo Lennartz Le-3D con banda passante da 5s a 0.2 Hz, installati appositamente all'interno o nelle immediate vicinanze dei canaloni/versanti da valanga (Vilajonana et alii, 2004). In questi siti è stato possibile misurare la velocità delle valanghe, mettere a punto dei filtri per distinguere anche le varie tipologie di valanghe e distinguerle anche dalle altre onde sismiche (Biescas et alii, 2003, Vilajonana et alii, 2007).

Il segnale prodotto da un piccolo evento sismico locale (Fig.11), di intensità paragonabile a quello prodotto da una valanga nevosa, è diverso per la composizione spettrale da quello prodotto da una valanga nevosa. Un evento sismico presenta evidenti un primo arrivo di fronte d'onda delle onde P e successivamente un secondo delle onde S più accentuato: in entrambi i casi i segnali hanno una frequenza predominante dell'ordine di qualche Hertz.

Viceversa, le valanghe nevose presentano un primo picco di segnale all'inizio del

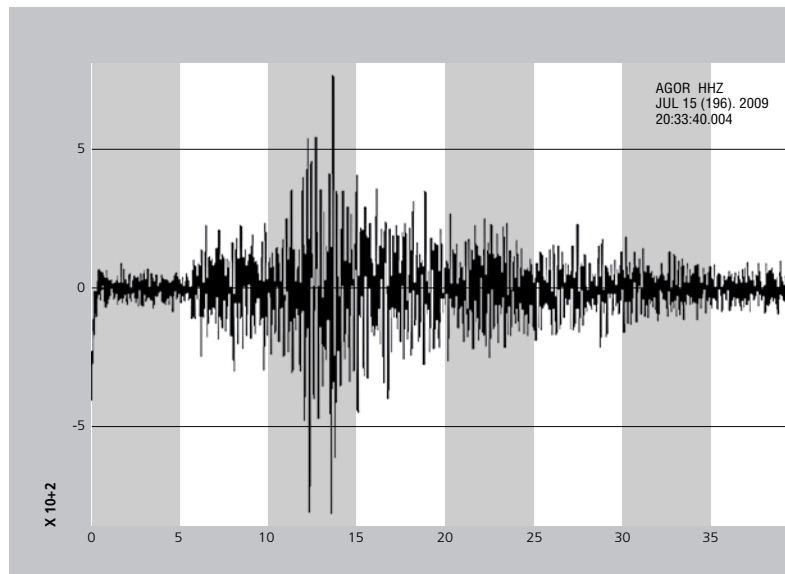


Fig. 11  
Esempio di segnale sismico prodotto da un terremoto.

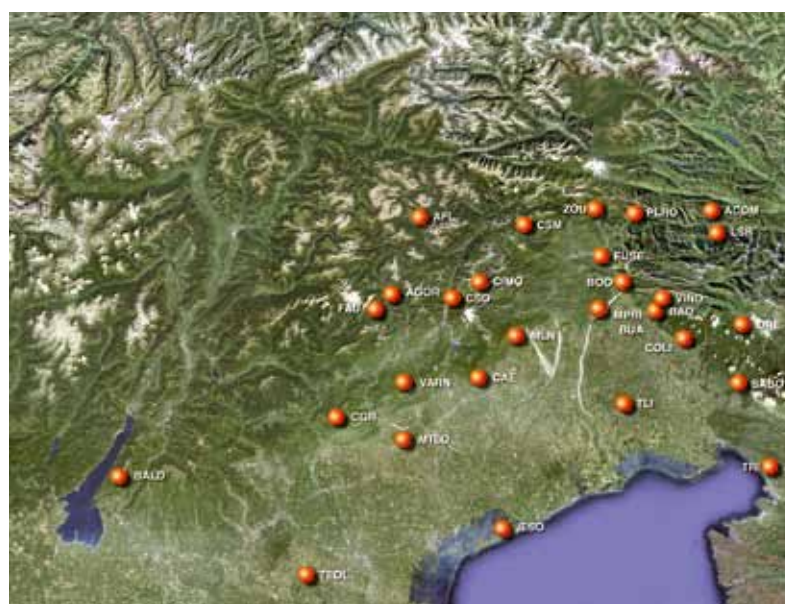


Fig. 12  
La rete OGS-CRS del nord est Italia.

fenomeno in corrispondenza del distacco della massa nevosa, seguito poi da un rumore ad ampio spettro caratterizzato dallo scivolamento con attrito di neve su neve (Biescas et alii, 2003).

### LA STAZIONE SISMICA DI AGORDO

La stazione sismica di Agordo fa parte della rete dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - OGS del nord est Italia (Fig. 12), i cui dati vengono trasmessi in tempo reale al Centro di



Fig. 13  
Foto dell'Istituto Minerario Umberto Follador.

RETE SISMICA OGS DEL NORD EST ITALIA						
STAZIONE	INIZIO ATTIVITA'	LATITUDINE	LONGITUDINE	QUOTA	NOME	TIPO
AGOR	06/06/2007	46°16'58"	12°02'49"	631	Agordo	BB
CIMO	18/03/2002	46°18'43"	12°26'42"	610	Cimolais	BB
AFL	01/01/1988	46°31'38"	12°10'28"	2235	Alpe Faloria	SP
CSO	01/01/1988	46°16'24"	12°19'26"	1060	Casso	SP
FAU	01/01/1988	46°13'56"	11°58'31"	1430	Forcella Aurine	SP

Fig. 14  
Caratteristiche delle stazioni sismiche utilizzare nel presente lavoro e limitrofe ad Agordo.



Fig. 15 a e b  
Valanghe spontanee osservate e registrate nel data base del Centro Valanghe di Arabba, con quota di distacco, arresto e massa di neve. I valori di durata teorica sono stati elaborati da CRS.



Ricerche Sismologiche di Udine.

La rete sismica è composta da stazioni sia a corto periodo che a banda larga ed elevata dinamica. La stazione sismica a banda larga di Agordo, diventata operativa nel giugno 2007, è installata nella galleria artificiale realizzata nel corso degli anni dagli studenti dell'Istituto Minerario "U. Follador" sotto le pendici del Monte Framont (Fig. 13). La stazione è composta da un acquirente Quanterra Q680 a 24 bit e un sismometro triassiale a banda larga Streckeisen STS-2, con risposta piatta in frequenza da 50 Hz fino a 120 secondi. La strumentazione corrisponde a quella usata dalla rete sismica globale GSN, impiegata per la rilevazione di attività sismica a livello mondiale: tuttavia, l'elevata dinamica e sensibilità, permettono di rilevare anche eventi locali deboli. Le stazioni limitrofe a quella di Agordo sono Forcella Aurine, Alpe Falaria, Casso e Cimolais (Fig. 14).

N° SULLA MAPPA	DATA	ORA	LOCALITA'	COMUNE	QUOTA DISTACCO	QUOTA MINIMA ACCUMULO	LUNGH. SCORRIM.	VOLUME	DURATA TEORICA EVENTO
1	lunedì 11/12/2008	6.37	Livinadac	Livinallongo d. Cd. L.	2100	1230	1500	30000	17,5
1	giovedì 11/12/2008	22.50	Livinadac	Livinallongo d. Cd. L.	2000	1230	1500	15000	17,5
2	giovedì 11/12/2008	16.50	Val Focobon Tamer	Falcade	2100	1230	1520	10000	17,6
3	giovedì 11/12/2008	16.20	Lastei	Canale d'Agordo	2200	1300	1540	10000	17,7
4	giovedì 11/12/2008		Val del Restel	Cencenighe	2000	900	1620	10000	18,2
5	giovedì 11/12/2008	22.50	Rivamonte	Rivamonte	2100	890	1700		18,6
6	martedì 16/12/2008	7.00	Passo Staulanza	Zoldo					
7	mercoledì 17/12/2008		Olantreghe	Castelavazzo	2018	670	2000		20,2
8	mercoledì 17/12/2008	8.40	Serva	Belluno	2800	930	2800	10000	29,9
31	martedì 20/01/2009	Notte	Ru de Porta	Alleghe	2100	1375	1000	9000	14,3
9	martedì 20/01/2009	17.00	Passo Giau	Colle Santa Lucia	2000	1800	425		9,3
10	mercoledì 21/01/2009	12.30	Catinaccio	Canazei					
11	mercoledì 21/01/2009	12.00	Passo Pordoi	Livinallongo d. Cd. L.					
12	mercoledì 21/01/2009	13.40	Buffaure	Soraga					
13	mercoledì 21/01/2009	7.30	Coldai	Alleghe	2400	1650	1050		14,6
13	mercoledì 21/01/2009	11.50	Coldai	Alleghe	2400	1600	1100		15
7	mercoledì 21/01/2009	7.20	Olantreghe	Castelavazzo	2018	670	2000	15000	20,2
	mercoledì 21/01/2009		Pian dei Sabion	Canale d'Agordo	1990	1220	800	23000	
22	mercoledì 21/01/2009	Notte	Marmolada	Rocca Pietore	2800	1830	1600	185000	
23	sabato 24/01/2009		Padon	Rocca Pietore					
14	domenica 25/01/2009	12.15	Tofana	Cortina d'Ampezzo					
15	martedì 27/01/2009	16.10	Arabba	Livinallongo d. Cd. L.	1620	1560	90	10000	
24	martedì 3/02/2009	Notte	Ru de Porta	Alleghe	2100	1325	1150	9000	15,3
1	martedì 3/02/2009	12.00	Livinè	Livinallongo d. Cd. L.	2000	1230	1500	15000	17,5
15	martedì 3/02/2009	19.00	Arabba	Livinallongo d. Cd. L.					
16	martedì 3/02/2009	10.50	Cencenighe	Cencenighe	1900	725	1800		19,2
17	martedì 3/02/2009	15.50	Mezzocanale	Cencenighe	2000	709	1890		19,6
18	mercoledì 4/02/2009	8.00	Monte Grappa	Borso del Grappa					
19	sabato 7/02/2009	12.00	Acquatona	Santo Stefano	2000	1040	1800	6000	
	sabato 7/02/2009	9-10.00	Pordoi	Livinallongo d. Cd. L.					
	domenica 8/02/2009	7.45	Punta Serauta	Rocca Pietore	3000	1900	2100		20,7
	domenica 8/02/2009	10.45	Punta Serauta	Rocca Pietore	3000	1780	2560	48000	22,8
20	domenica 8/02/2009	15.00	Dolada	Belluno	1500	550	1770	5000	19
21	domenica 8/02/2009	14.40	Palimina	Falcade	2100	1200	1600	15000	18
	domenica 8/02/2009	10.00	Gares	Canale d'Agordo					

## I RISULTATI

Sono state analizzate le tracce sismiche di 27 valanghe naturali (Fig. 16 a ,b) e di 12 eventi artificiali (Fig. 17a, b) causate da esplosioni controllate, registrate da 5 stazioni sismiche dell'OGS nel nord del Veneto: AFL (Alpe Faloria), AGOR (Agordo), CIMO (Cimolais, Friuli), CSO (Casso), FAU (Forcella Aurine). Le stazioni sismiche a corto periodo (AFL, CSO e FAU) non hanno rilevato gli episodi valanghivi per la loro distanza dagli eventi e la loro bassa sensibilità. Anche la stazione a banda larga ed alta dinamica di Cimolais (CIMO) non ha evidenziato in maniera sufficiente gli episodi, probabilmente per la distanza. A tal proposito è da rimarcare che il fattore naturale di attenuazione della neve è un grosso ostacolo per la rilevazione di valanghe con stazioni sismiche.

L'uso di una sola stazione sismica non ha pertanto permesso l'uso delle usuali tecniche sismiche di localizzazione (triangolazione, ecc.). Inoltre lo scarso rapporto segnale/rumore ha impedito l'uso di tecniche direzionali da polarizzazione delle onde per localizzare eventi da singola stazione sismica. Si è tuttavia riuscito a determinare la durata di 21 episodi naturali, mediante filtraggio passa alto a 1 Hz e calcolo dell'inviluppo, riuscendo così a correlare la durata di due episodi con la lunghezza di scorrimento degli episodi stessi, in analogia con quanto indicato da Biescas et alii [2003]. La bassa statistica è in gran parte dovuta alla non completa disponibilità dei parametri fisici delle valanghe quali tempo origine e lunghezza di scorrimento. In particolare nel caso dei distacchi spontanei di valanghe durante gli episodi più intesi, i segnali registrati dalla stazione si Agordo sono proposti nelle Fig. 17, 18 e 19. Il sismogramma di Fig. 17 è relativo alla valanga di Livinadac del 1 dicembre 2008 in Comune di Livinalongo del Col di Lana a 24 km di distanza in direzione 340 °N. La valanga è scesa alle 6:40 circa interrompendo la strada e isolando l'abitato di Arabba. In Fig. 18 è riportato il sismogramma generato dalla valanga osservata alle 17:30 circa del 20 gennaio 2009 lungo la strada regionale



Fig. 16 a e b  
Elenco della attività di distacco artificiale operata nelle Dolomiti Agordine nel periodo dicembre 2008 - febbraio 2009.

N° SULLA MAPPA	DATA	ORA	LOCALITA'	COMUNE	TIPOLOGIA D'INTERVENTO
1	17/12	8.00	Zoldo	Zoldo Alto	Daesy Bell
2	17/12	15.30	Portados Nord	Livinalongo d. Cd. L.	Gazex
2			Portados Est	Livinalongo d. Cd. L.	Gazex
5	17/12	15.30	Arabba	Livinalongo d. Cd. L.	Daesy Bell
3	17/12	15.30	Pordoi - Sasso Cappello	Livinalongo d. Cd. L.	Daesy Bell
3	17/12	15.30	Burz	Livinalongo d. Cd. L.	Daesy Bell
4	18/12	10.30	Passo Falzarego	Livinalongo d. Cd. L.	Esplosivo
5	19/12	15.00	Passo Campolongo	Livinalongo d. Cd. L.	Daesy Bell
6	19/12	15.30	Somor	Falcade	Daesy Bell
5	22/12	14.00	Arabba	Livinalongo d. Cd. L.	Daesy Bell
2	22/12	14.40	Sasso Cappello	Livinalongo d. Cd. L.	Daesy Bell
3	22/12	15.00	Pordoi	Livinalongo d. Cd. L.	Daesy Bell
2	03/02	8.00	Porta Vescovo - GAZEX	Livinalongo d. Cd. L.	Gazex
2	07/02	15.50	Passo Vescovo - GAZEX	Livinalongo d. Cd. L.	Gazex
	08/02		Falzarego	Livinalongo d. Cd. L.	Esplosivo
7	13/02	14.30	Ornella	Livinalongo d. Cd. L.	Esplosivo





Fig. 17  
Segnale sismico  
prodotto del 1 dicembre  
2008, valanga di  
Livinadac.

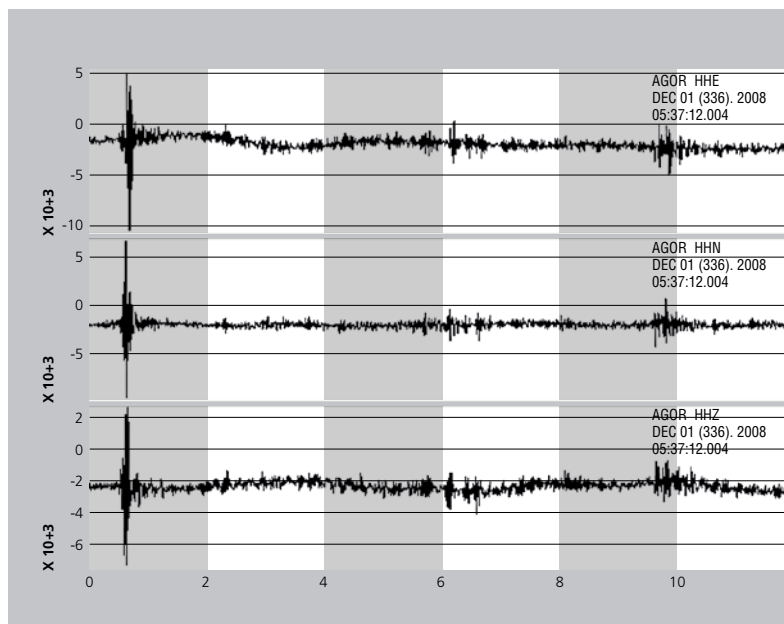


Fig. 18  
Segnale sismico  
prodotto del 20 gennaio  
2009, valanga di Passo  
Giau.

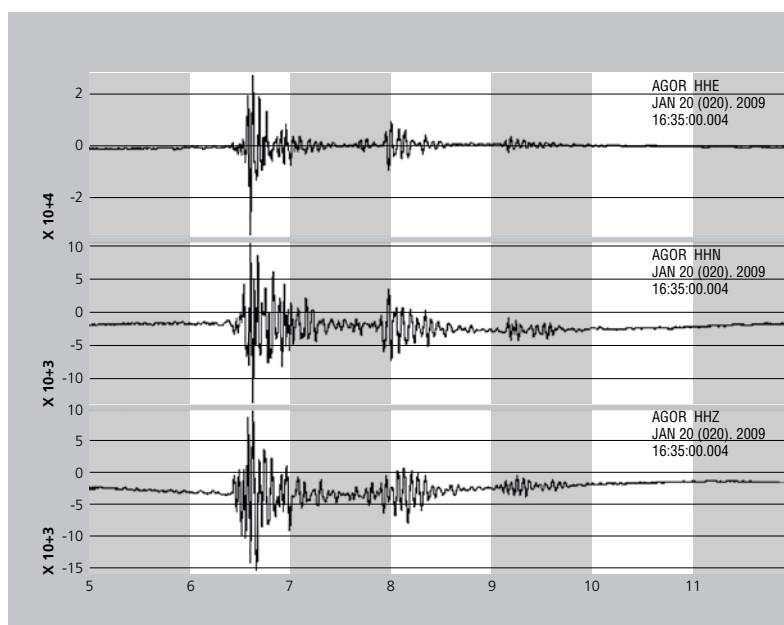
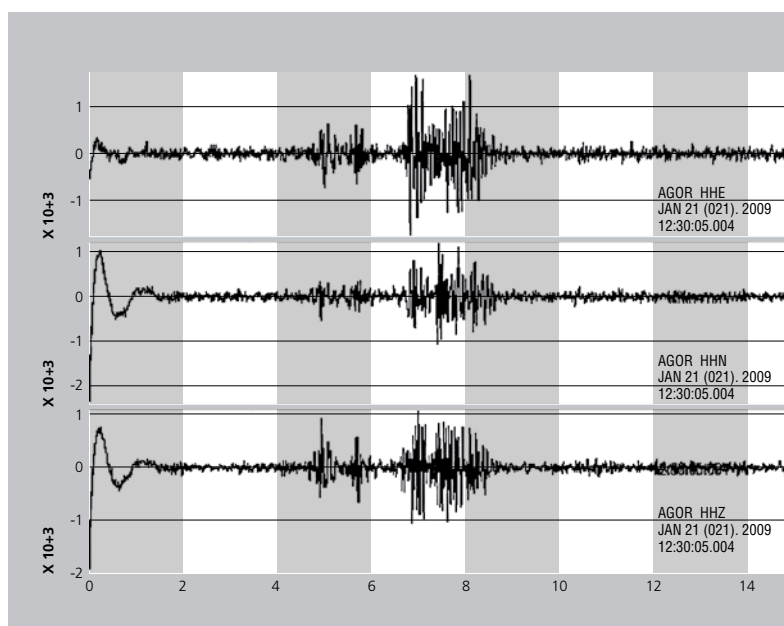


Fig. 19  
Segnale sismico  
prodotto del 21 gennaio  
2009.



n. 638 del Passo Giau che ha visto, fra l'altro, travolto un pulmino di turisti della Repubblica Ceca, per fortuna senza conseguenze. Il sito della valanga si trova a 23 Km in direzione 4°N in esposizione Est. Infine, in Fig. 19 è riportato il segnale sismico prodotto da una delle valanghe del 21 gennaio 2009. Fra le 12 e le 13 gli osservatori nivologici hanno osservato numerose valanghe, alcune anche con danni alle persone e pertanto è difficile, data l'incertezza degli orari, stabilire una possibile relazione con un preciso evento. In ogni caso le valanghe sono cadute sempre ad una distanza di 20-25 km in direzione 300-320°N. Per quanto riguarda i distacchi artificiali, nel tardo pomeriggio del 19 dicembre è stato utilizzato il sistema Daesy Bell a Falcade a 16,8 km di distanza in direzione 300°N (Fig. 20), senza ottenere nessun distacco e pertanto il segnale è solo quello prodotto dalle esplosioni sul manto nevoso. Mentre il 3 febbraio 2009, prima della apertura delle piste, sono stati effettuati con successo alcuni distacchi artificiali nel comprensorio sciistico di Arabba sia con il sistema Catex che con il Gazex e la traccia sismica è quella di Fig. 21. In Fig. 22 è invece illustrato l'involuppo del segnale di Fig. 18, calcolato dopo un filtraggio passa alto a 1 Hertz. La lunghezza del segnale valanghivo così determinato è pari a circa 3.3 secondi. Dall'analisi dell'involuppo del segnale sismico generato dal 21 valanghe nevose naturali, risultano delle durate che vanno da un minimo di 9.3 a un massimo di 23.9 secondi. La durata di tali segnali è in relazione al dislivello delle valanghe stesse: confrontando con il tempo necessario per la caduta di un grave per il dislivello stesso si ottengono in due episodi i secondi valori: 17.5s (osservato) e 10s (calcolato), 9.3 (osservato) e 3.3 (calcolato). C'è quindi una corrispondenza, anche se limitata per la statistica insufficiente, mentre la differenza tra il periodo osservato e calcolato è da imputarsi all'approssimazione del modello fisico usato, in particolare alla non considerazione dell'importante attrito neve-neve.

## CONCLUSIONI

In questo lavoro si è illustrato l'andamento della stagione invernale 2008-2009 e si è dimostrata l'importanza di utilizzare la rete sismica tradizionale per il rilevamento della attività valanghiva durante le nevicate particolarmente intense.

Per quanto riguarda la parte sismologica del lavoro, è stato raggiunto l'obiettivo minimo di correlare parametri fisici delle valanghe con caratteristiche dei segnali di registrazione di stazioni sismiche, anche se la statistica riportata è insufficiente.

Le tracce sismiche registrate dalla stazione di Agordo con caratteristiche tipiche del movimento delle valanghe, permettono di ricostruire i periodi di attività valanghiva dando un valido supporto alla verifica dei vari bollettini di pericolo da valanghe emessi nelle aree adiacenti. La ricerca condotta con questo lavoro suggerisce di installare una rete sismica più densa dedicata, anche in maniera temporanea, al rilevamento di valanghe.

## Ringraziamenti

Un particolare ringraziamento a tutti gli osservatori nivologici di ARPAV - Centro Valanghe di Arabba, a Renato Zasso, Alvisse Tomaselli e Anselmo Cagnati dell'Unità Operativa Neve e Valanghe e al Dr. Antonio Rovelli dell'Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia (INGV) di Roma per il suo aiuto e consiglio nell'analisi dati.

## Bibliografia

- Biescas B., Dufour F., Furdada G., Khazaradze G. and Surinach E., 2003. Frequency content evolution of snow avalanches seismic signals. *Survey in Geophysics* 24: 447-464.
- Cagnati A. (2003). Sistemi di Misura e metodi di osservazione nivometeorologici. AINEVA, Trento, 186 pp.
- Vilajonana I., Khazaradze G., Lied, E., Suri\_ach, E., 2004. Can the propagation speed of snow avalanches be determined by seismic methods? 4° Assembleia Luso Espanhola de Geodesia e Geofisica. 73-74
- Vilajonana I., Khazaradze G., Lied, E., Suri\_ach, E., K.Kristensen. 2007. Snow avalanche speed determination using seismic methods. *Cold Regions Science and Technology* 49 (2007), 1-10

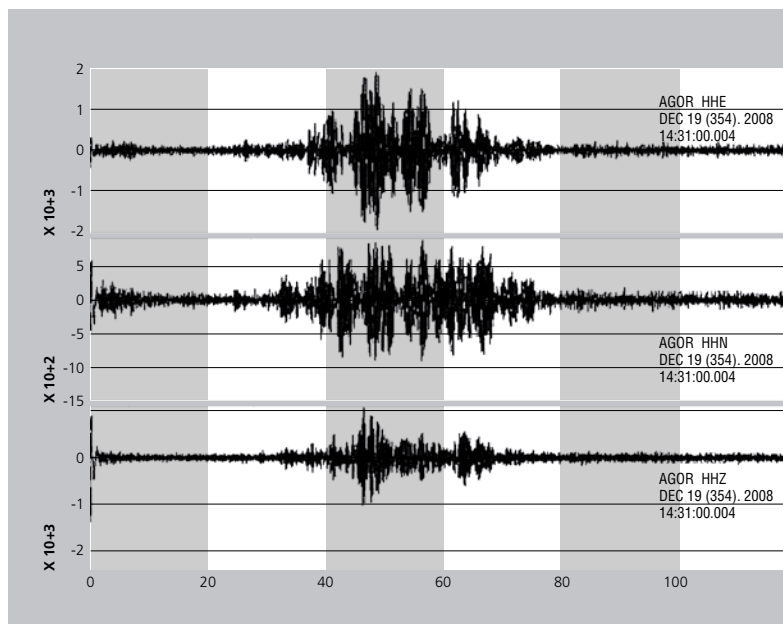


Fig. 20  
Segnale sismico  
prodotto dai tentativi  
di distacco artificiale  
con Daisy Bell del 19  
dicembre 2008.

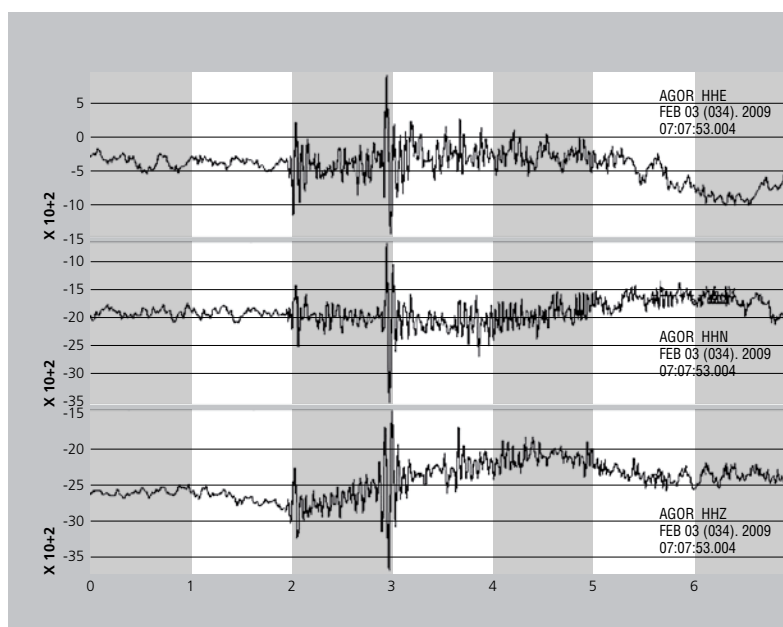


Fig. 21  
Segnale sismico  
prodotto dai tentativi  
riusciti di distacco  
artificiali con sistemi  
diversi del 3 febbraio  
2009.

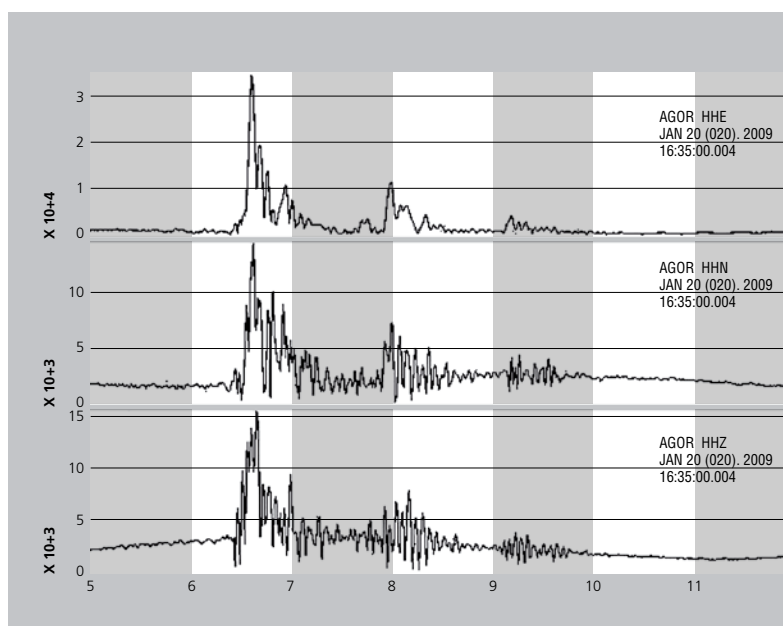


Fig. 22  
Inviluppo segnale  
sismico prodotto del 20  
gennaio 2009, valanga  
di Passo Giau.