

ARRAY INFRASONICO di STAFFAL

sperimentazione di array infrasonici alle pendici del massiccio del Monte Rosa (Gressoney-La-Trinité) per il monitoraggio e la prevenzione delle valanghe

INTRODUZIONE

Una valanga è una sorgente molto efficace di onde infrasoniche che vengono prodotte durante le fasi di accelerazione del flusso. Queste consistono in onde acustiche compressionali che si propagano in atmosfera e che sono del tutto analoghe al suono ma con frequenza più bassa (<20 Hz).

Tuttavia, sebbene l'infrasuono prodotto dalle valanghe sia ben documentato e descritto in letteratura (Bedard, 1994; Naugolnykh and Bedard, 2002), il suo uso come sistema di monitoraggio è, ad oggi, poco diffuso (Chritin et al., 1996; Comey and Mendenhall, 2004; Scott et al., 2007). Questo è dovuto principalmente al fatto che numerose sorgenti naturali (vento, microsisma oceanico, terremoti) e antropiche (attività industriali, traffico, aerei, ...) producono onde infrasoniche, rendendo l'interpretazione e l'identificazione dei singoli segnali molto complessa.

Questa ambiguità è aggravata dal fatto

che un'onda infrasonica si può propagare per grandi distanze (decine/centinaia di km), anche in funzione della direzione e dell'intensità del vento, rendendo difficile la discriminazione tra le varie sorgenti.

Negli ultimi anni, l'impiego di array infrasonici, che consistono in 3 o più sensori posizionati nello spazio secondo una certa geometria ed utilizzati come un'antenna, ha contribuito molto al miglioramento dell'analisi infrasonica delle valanghe (Scott et al., 2007). L'utilizzo di un array, rispetto ad un sensore singolo, ha infatti il grande vantaggio di aumentare il rapporto segnale/rumore riducendo così drasticamente le ambiguità nel riconoscimento dei segnali. Ad oggi, il monitoraggio infrasonico delle valanghe è però ancora limitato ad aree di pochi km² (Scott et al., 2007), in quanto l'impiego a più ampio raggio (> di alcuni km) è fortemente limitato dalla presenza di numerose sorgenti di infrasuono oltre alle valanghe.

Negli ultimi due decenni l'acustica infrasonica ha vissuto uno sviluppo notevole in termini di sensoristica, di strategie per l'abbattimento del rumore e di procedure di analisi. Come conseguenza l'infrasuono rappresenta uno strumento di monitoraggio e ricerca sempre più efficace per un'ampia varietà di fenomeni, tra cui le esplosioni e i processi industriali (Cerrana et al., 2009), le esplosioni vulcaniche (Ripepe and Marchetti, 2002), i flussi di massa (Ripepe et al., 2010), gli impatti di meteoriti (Evers and Haak, 2002), fino ai processi atmosferici (vedi Infrasound Studies for Atmospheric Studies).

L'ARRAY INFRASONICO DI STAFFAL

Durante la stagione invernale 2009-2010, il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze, Centro di Competenza della Protezione Civile Nazio-

Nella pagina a fianco, installazione dell'array infrasonico a Staffal.



Fig. 1 - DTM dell'area di studio con riportate la posizione (stella) e geometria (riquadro b) dell'array infrasonico a 4 elementi (S1-S4) installato nelle Alpi Occidentali a Staffal (Gressoney-La-Trinité, AO), all'interno del comprensorio sciistico del Monterosa Ski. Il quadrato nero indica l'area di interesse per la Figura 3.

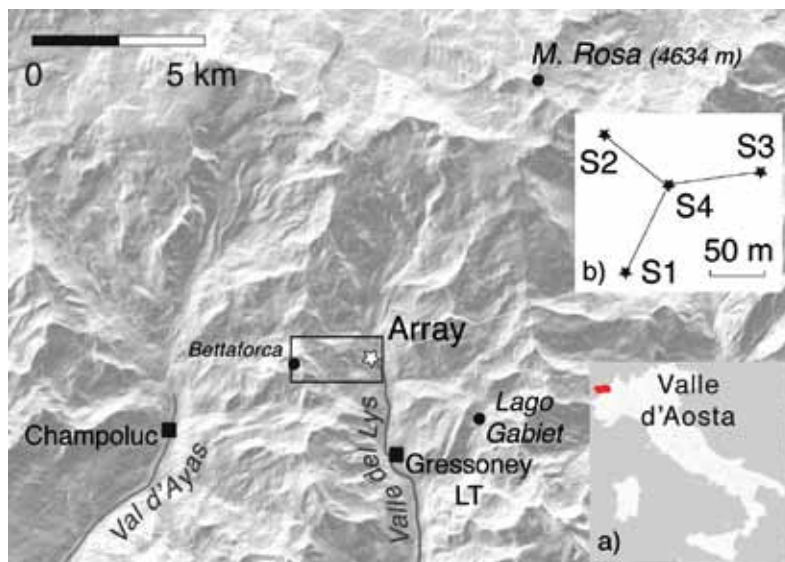


Fig. 2 - Installazione dell'array infrasonico: a) La stazione centrale di acquisizione dati è stata alimentata con 2 pannelli solari da 85 W. I sensori infrasonici, alloggiati all'interno di scatole coibentate (b), ed il cavo (c) sono installati sotto la neve.



nale, in accordo con la Regione Autonoma della Valle d'Aosta, Ufficio Neve e Valanghe, ha installato un array infrasonico nei pressi di Staffal (Gressoney-La-Trinité) alle pendici del massiccio del Monte Rosa, ad una quota di circa 2000 m s.l.m. (Fig. 1). L'array si compone di 4 elementi disposti secondo una geometria triangolare con un'apertura (massima distanza tra due elementi) di ca. 150 m (Fig. 1). Ciascun elemento dell'array è dotato di un pressimetro differenziale iTem-prs0100a (HYPERLINK "http://www.item-geophysics.it" www.item-geophysics.it), con una sensibilità di 25 mV/Pa nella banda di frequenze 0.001-50 Hz ed un livello di rumore pari a 0.01 Pa (Marchetti et al., 2009). Questi sensori consentono di coprire un'ampia banda di

frequenze con una buona sensibilità ed un basso consumo (ca. 60 mW). I singoli sensori dell'array sono stati connessi ad un unico digitalizzatore a 24 bit (Guralp CMG-DM24, Fig. 2a), campionati a 100 Hz e memorizzati in locale. La sincronizzazione oraria è garantita da ricevitore GPS. Il basso consumo (ca. 2.5 W) del sistema ha permesso il funzionamento durante tutta la stagione invernale con due pannelli solari da 85 W. Il sistema è stato progettato anche per la trasmissione dei dati in tempo reale. L'efficienza e la funzionalità di un array infrasonico dipendono molto, oltre che dall'utilizzo di sensori appropriati, dalla scelta del sito di installazione, dalla corretta progettazione della geometria ed apertura dell'array, che dipende dalla frequenza

dei segnali che si vogliono analizzare, e dall'utilizzo di tecniche appropriate per la riduzione del rumore acustico ambientale. L'array di Staffal è stato installato all'interno di un bosco ed i sensori di pressione, alloggiati all'interno di scatole ermetiche, sono stati ricoperti di neve (Fig. 2). Questi semplici accorgimenti hanno garantito un basso livello di rumore e quindi un'ottima efficienza del sistema.

LA TECNICA DI ARRAY

Le tecniche di analisi di array si basano sull'assunzione che un segnale deve essere registrato con un certo grado di coerenza ai diversi sensori del sistema, mentre il rumore non mostra nessuna correlazione. Per l'array infrasonico di Staffal abbiamo applicato la tecnica di correlazione multi-canale (multi-channel correlation analysis, MCCA) che consente, in base al grado di correlazione (coerenza) dei tracciati registrati dai quattro elementi dell'array, di identificare un segnale infrasonico e di fornire la sua direzione di provenienza (back-azimuth) e velocità di propagazione (velocità apparente).

Questi due parametri costituiscono la chiave per la caratterizzazione della sorgente infrasonica. Il *back-azimuth* identifica la direzione di provenienza del segnale e fornisce quindi una localizzazione azimutale della sorgente, mentre la *velocità apparente* (c) è la velocità di propagazione misurata che dipende dall'angolo di incidenza del segnale infrasonico e fornisce quindi una stima della quota. Velocità apparenti molto elevate ($c > 400$ m/s) sono coerenti con angoli di incidenza prodotti da sorgenti ad alta quota (fenomeni atmosferici, aerei) e possono così essere ignorati. Inoltre, una variazione della velocità apparente può indicare una variazione di quota e quindi una sorgente in movimento.

Nel caso di una valanga ci aspettiamo una diminuzione graduale della velocità apparente durante il percorso.

Nella prima fase della sperimentazione, sono state analizzate le registrazioni effettuate durante le operazioni di bonifica che hanno prodotto valanghe artificiali, al fine di caratterizzare i parametri infrasonici di

una sorgente valanghiva. L'analisi è stata poi applicata alla registrazione infrasonica continua relativa a tutto il periodo di indagine (2 Dicembre 2009 - 28 Aprile 2010) con lo scopo di estrarre automaticamente tutti i possibili eventi infrasonici compatibili con le valanghe. La procedura sviluppata richiede tempi di calcolo molto brevi e può essere applicata per il monitoraggio in tempo reale.

ANALISI DI ARRAY DELLE VALANGHE ARTIFICIALI

Una serie di 4 esplosioni mediante carica Vassale (dinamite Goma 2 eco) effettuate il 4 Dicembre 2009 (Bettaforca) ad una distanza di 2 km dall'array (Fig. 3), hanno innescato 4 scaricamenti superficiali ed una valanga di medie dimensioni.

La sequenza, di cui sono disponibili riprese video dall'elicottero (Fig. 4), è stata rilevata perfettamente dall'array (Fig. 5).

Le 4 esplosioni sono caratterizzate da transienti di pressione con ampiezza elevata (1-2 Pa), breve durata (0.5 s) ed elevato contenuto in frequenza (5-20 Hz), mentre gli scaricamenti prodotti subito dopo le detonazioni sono registrati dall'array come transienti di bassa ampiezza (0.1 Pa), 4-6 secondi di durata e contenuto in frequenza più elevato (ca. 20 Hz). La quarta esplosione ha innescato, inoltre, una valanga di medie dimensioni che ha prodotto un segnale infrasonico emergente, di lunga durata (ca. 20 sec) e bassa ampiezza (0.1 Pa), e contenuto in frequenza nettamente inferiore (ca. 3 Hz).

Il confronto tra il tempo di ritardo tra la detonazione e l'inizio della valanga, valutato dalle riprese video (Fig. 4) e dai tracciati infrasonici (Fig. 5), evidenzia come la valanga generi infrasuono non subito dopo l'innesco, ma solamente quando il flusso aumenta in volume ed accelera.

Le 4 esplosioni e la valanga sono chiaramente identificate, e localizzate, dall'analisi di array (Fig. 6) che viene applicata su porzioni progressive di dati infrasonici.

Per ogni finestra di analisi si definisce una

detezione in caso si identifichi un segnale, e si associa ad essa un valore di *velocità apparente* e di *back-azimuth*.

Di conseguenza, si possono ottenere detezioni multiple per un singolo evento, in relazione alla durata del fenomeno e della finestra di analisi. Nessuna detezione di segnale coerente è invece associata ai 4 scaricamenti superficiali. Questo è da attribuire al contenuto in frequenza (> 20 Hz) di questi segnali, ben al di sopra della risoluzione dell'array.

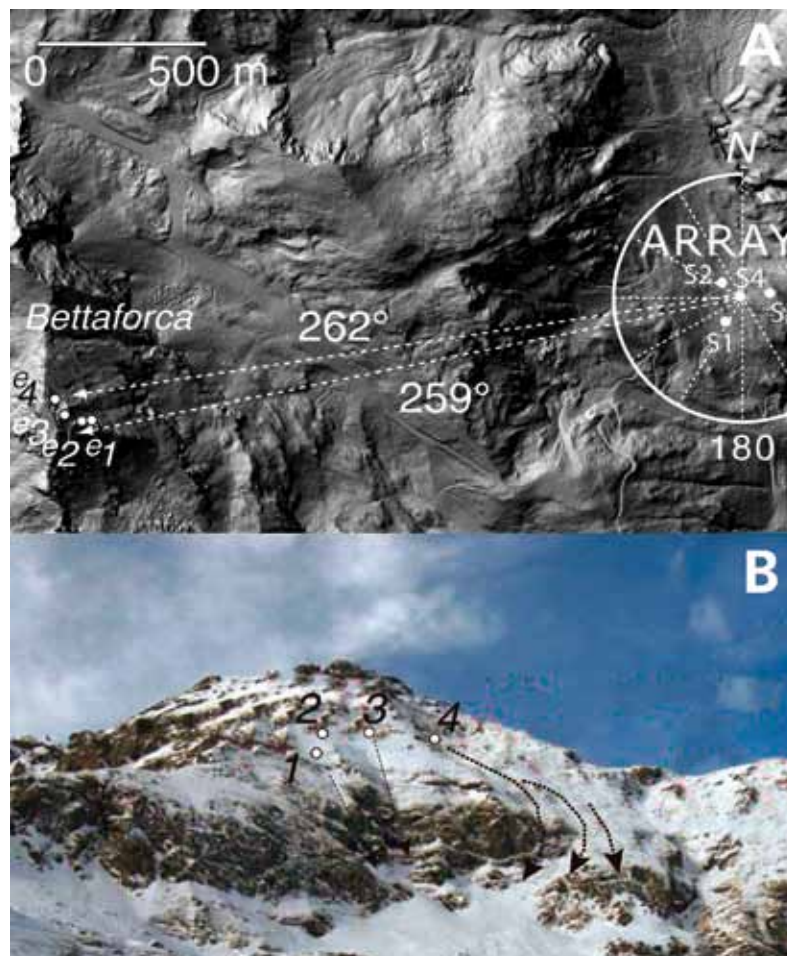


Fig. 3 - a) DTM dell'area evidenziata in figura 1 che mostra la posizione dei 4 elementi dell'array (S1-S4) e delle 4 esplosioni (e1-e4) eseguite il 4 Dicembre 2009 a Bettaforca, con un back-azimuth rispetto all'array di 259-262°N (freccie tratteggiate). b) Immagine che mostra la posizione delle 4 esplosioni, il percorso di due scaricamenti superficiali innescati dalle esplosioni 1 e 3 e quello di una valanga di medie dimensioni innescata dalla quarta carica.

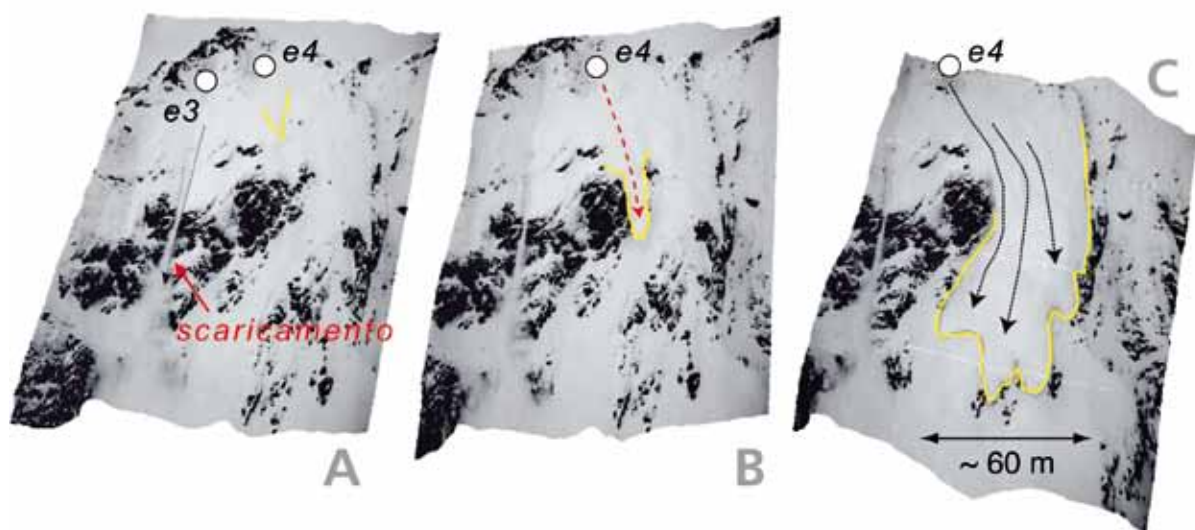


Fig. 4 - Tre immagini (a, b, c) estratte dal video effettuato dall'elicottero relativo alla valanga innescata a Bettaforca il 4 Dicembre 2009 (Figura 3). Il fronte del flusso di valanga è segnato dalla linea gialla, mentre il percorso dalle linee tratteggiate. In (a) la freccia tratteggiata indica il percorso dello scaricamento superficiale innescato dalle terza esplosione.

Fig. 5 - Traccia (a) e spettrogramma (b) dell'infrasuono prodotto dalle 4 esplosioni (e1-e4), dai 4 scaricamenti (s1-s4) e dalla valanga (v) del 4 Dicembre 2009 (Figura 3) e registrato dall'array.

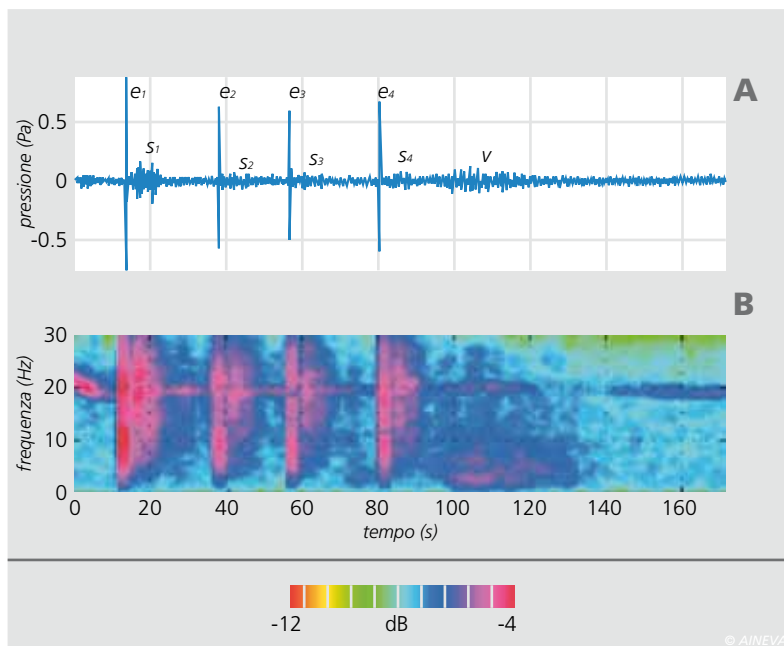
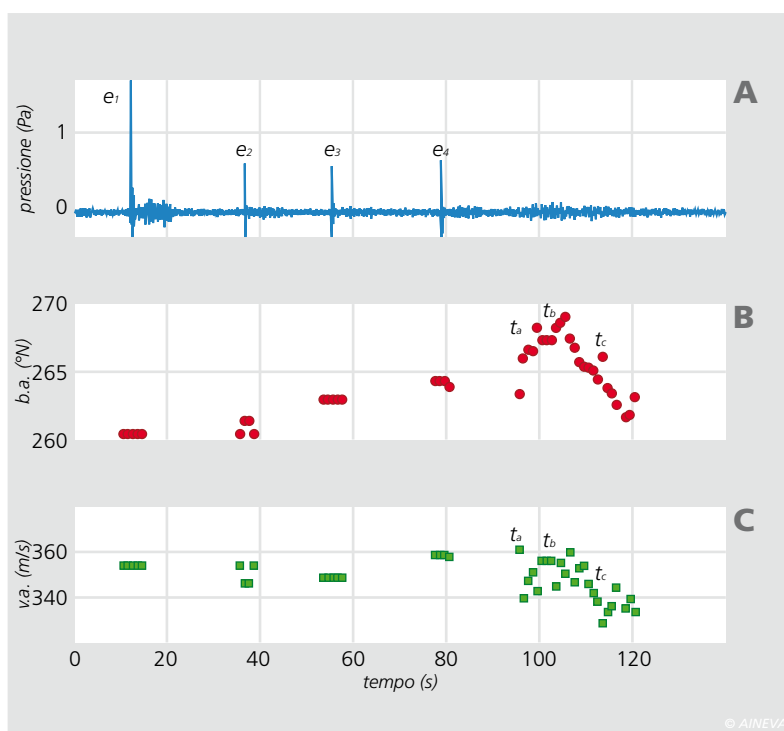


Fig. 6 - Analisi di array dell'infrasuono prodotto durante le operazioni di bonifica. a) Forma d'onda. b) Back-azimuth. c) Velocità apparente. I tre tempi (t_a , t_b e t_c) corrispondono alle immagini mostrate in Figura 4.



L'analisi di array mostra una graduale variazione del back-azimuth da 260°N a 264°N per le 4 esplosioni e, parallelamente, una variazione della velocità apparente tra 345 e 360 m/s. Il back-azimuth infrasonico è congruente con le posizioni delle 4 esplosioni che formano con l'array un angolo tra 259.8 e 262.2°N (Fig. 3), indicando un'accuratezza della procedura di localizzazione pari a ca. 1° , che corrisponde alla distanza di 2 km ad una precisione di ca. 35 m. Le detezioni relative al segnale infrasonico generato dalla valanga mostrano un back-azimuth ed una velocità apparente

variabile ed indicativo di una sorgente in movimento. Mentre la velocità apparente decresce progressivamente da 360 a 335 m/s, si evidenzia un'iniziale migrazione del back-azimuth da 267°N a 270°N e una successiva inversione di tendenza fino a 262°N . I risultati dell'analisi sono coerenti con una sorgente in movimento verso il basso e che ruota in senso orario, perfettamente in accordo con quanto osservato dalle registrazioni video (Fig. 4). Durante i 5 mesi di monitoraggio le varie operazioni di distacco artificiale che sono state eseguite ad una distanza di 0.8-3 km

dall'array, hanno prodotto prevalentemente piccoli scaricamenti superficiali analoghi a quelli mostrati in Figura 6.

Per identificare questi segnali ad alta frequenza è necessario ridurre l'apertura dell'array e adottare una maggiore frequenza di campionamento del segnale. Con questi accorgimenti, l'array infrasonico può essere impiegato per il monitoraggio, anche in tempo reale, dell'efficacia delle operazioni di bonifica.

ATTIVITÀ INFRASONICA NEL PERIODO DI INDAGINE

Durante l'inverno 2009-2010, l'analisi dei dati infrasonici dell'array ha permesso di individuare 343 segnali infrasonici prodotti sia da valanghe che da altri fenomeni naturali (microsisma) ed antropici (esplosioni, DaisyBell, traffico, aerei etc.).

L'analisi statistica degli eventi mostra chiaramente due classi di segnali (Fig. 7).

La prima classe (Fig. 8, rosso) è caratterizzata da un'ampiezza elevata (> 0.5 Pa), una breve durata (< 5 s), una frequenza elevata (> 5 Hz) ed un tempo di accadimento concentrato nelle prime ore del mattino. Questa classe comprende gran parte dei segnali prodotti dalle esplosioni effettuate nell'alta valle del Lys, in particolare nei settori di bonifica del comprensorio del Monterosa Ski (Fig. 9a), dove le operazioni sono normalmente programmate prima dell'apertura degli impianti, e all'interno del sito sperimentale della P.ta Seehore.

La seconda classe di eventi (Fig. 8, blu) è composta da segnali con ampiezza media più bassa (< 0.5 Pa), maggiore durata (> 5 s) ed un basso contenuto in frequenza (1-4 Hz).

Queste caratteristiche sono compatibili con quelle attese per l'infrasuono prodotto dalle valanghe e, infatti, questa classe include anche la valanga innescata alla Bettaforca il 4 dicembre 2009 (Fig. 5).

Anche il tempo di accadimento di questi eventi, concentrati prevalentemente nelle ore pomeridiane (12:00-16:00 GMT), durante la massima insolazione diurna, è compatibile con quanto atteso per valan-

ghe di neve bagnata innescate per brusco innalzamento della temperatura (Baggi and Schweizer, 2009). Questa seconda classe di eventi è associata a tre direzioni di provenienza (*back-azimuth*) prevalenti (Fig. 9b), compatibili con i settori N (325-360°N), W-SW (225-270°N) e S (170-180°N).

I segnali provenienti da N sono probabilmente da attribuire all'attività dei seracchi all'interno del ghiacciaio del Massiccio del M. Rosa, che producono segnali infrasonici simili a quelli osservati per le valanghe (Richardson et al., 2010).

Allo stesso modo, i segnali provenienti da S potrebbero essere in parte causati da attività antropiche (traffico, impianti di risalita) in quanto la direzione di provenienza coincide con l'asse della valle.

Gli ultimi invece, che provengono da un settore (W-SW) dove non sono attese sorgenti di rumore mentre sono probabili accumuli critici di neve sui pendii, potrebbero essere particolarmente rappresentativi dell'attività valanghiva nell'area.

CONFRONTO CON L'ATTIVITÀ VALANGHIVA

L'attività valanghiva nell'area di studio, per tutto il periodo di indagine, è documentata dalle osservazioni dirette dei distacchi naturali, effettuate giornalmente dai rilevatori

(Valt, 2010) per la realizzazione dei bollettini valanghe da parte dell'ufficio Neve e Valanghe della Regione Autonoma della Valle d'Aosta. Il rilievo è effettuato sulla base del Codice Meteorivometrico per il rilievo giornaliero (MOD. 1 AINEVA), in accordo con gli standard europei.

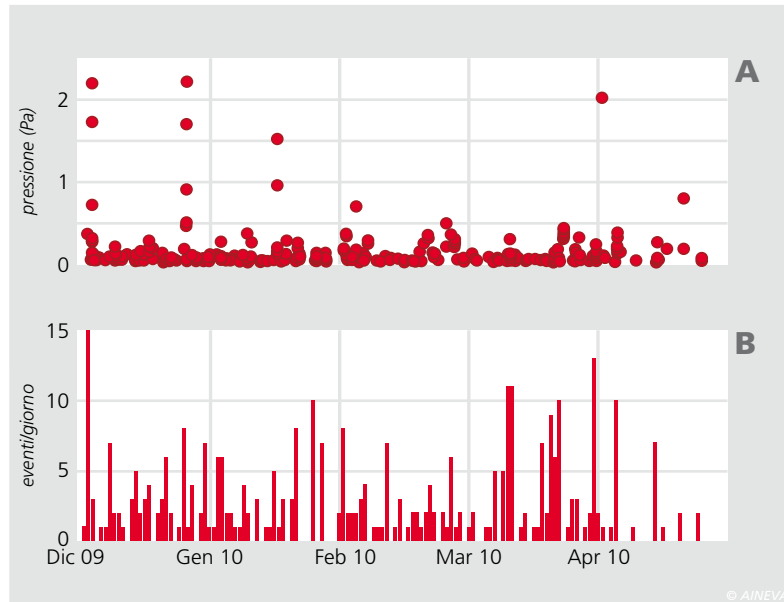


Fig. 7 - Pressione acustica (a) e numero di eventi al giorno (b) dei 343 eventi infrasonici identificati dall'analisi di array durante i 5 mesi di monitoraggio.

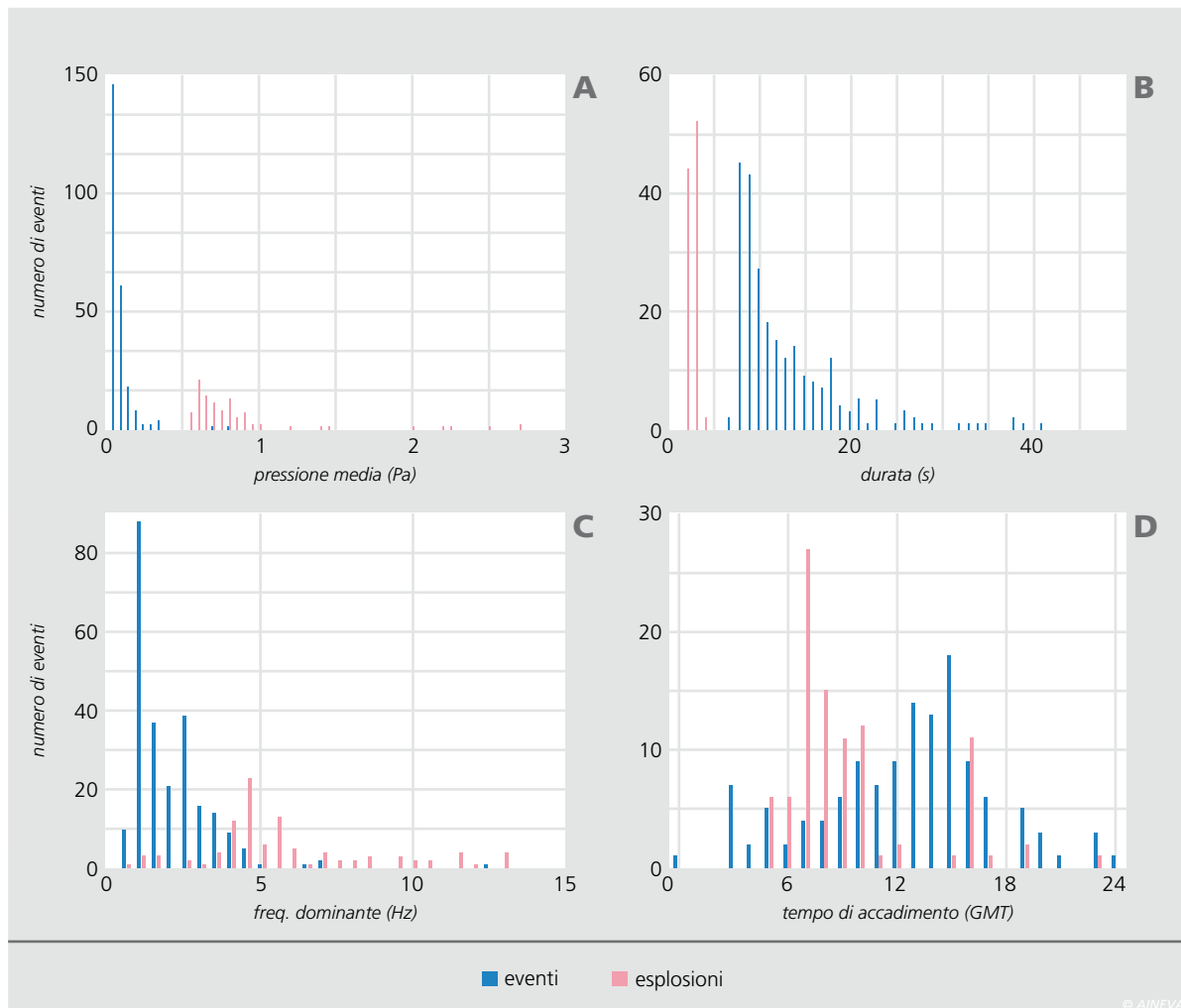
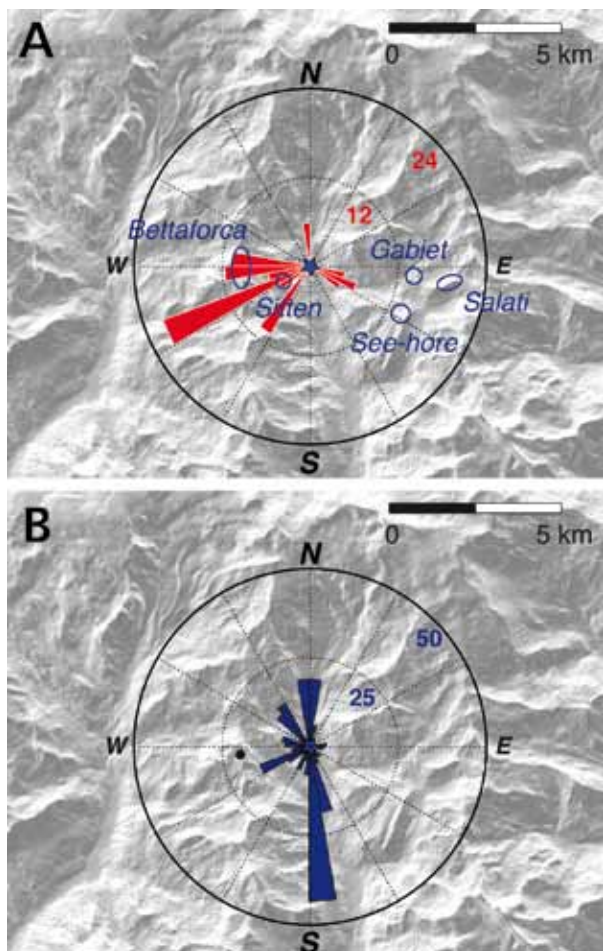


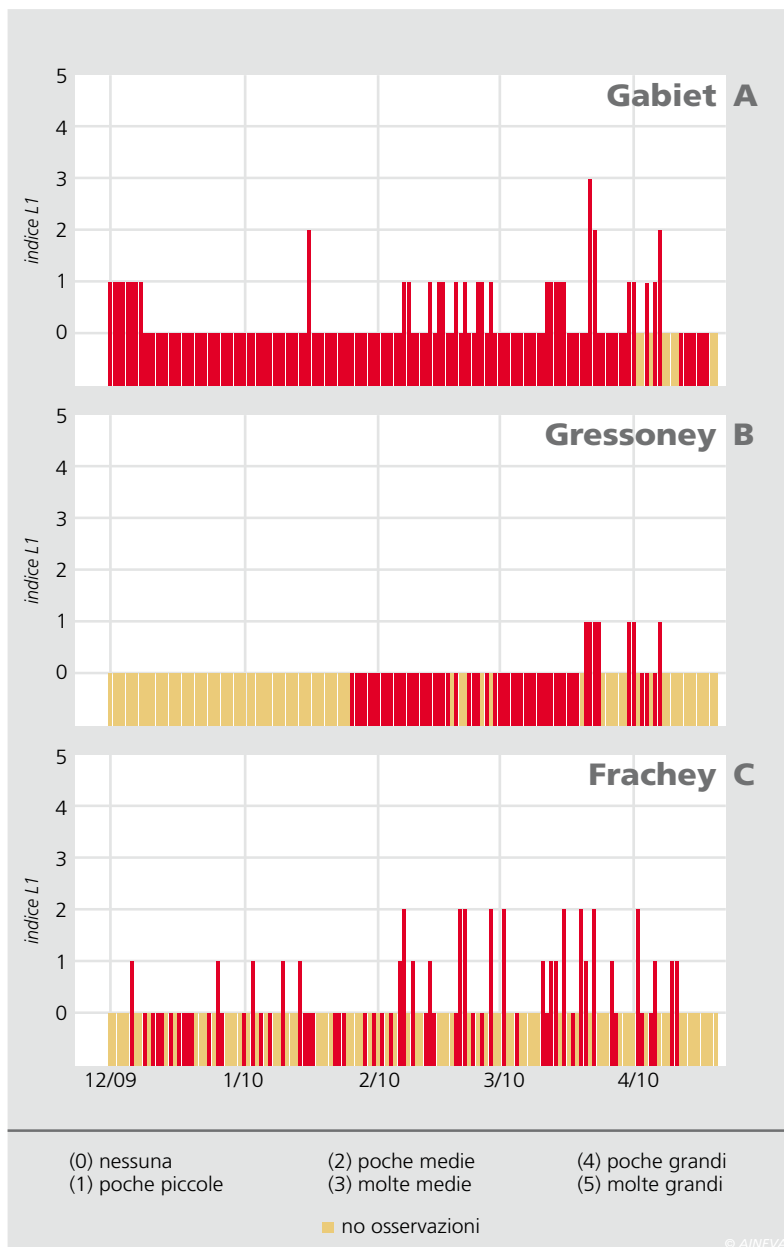
Fig. 8 - Istogramma della pressione media (a), della durata (b), della frequenza di picco (c) e dell'orario di accadimento (d) dei 343 eventi identificati dall'array nel periodo di monitoraggio (3 Dicembre 2009 - 28 Aprile 2010). In accordo con questi parametri gli eventi possono essere raggruppati in due classi separate di 99 (rosso) e 244 eventi (blu), compatibili rispettivamente con esplosioni e possibili valanghe.



Sopra, fig. 9 - Distribuzione del backazimuth delle due classi di eventi mostrate in figura 8: 99 esplosioni (a) e 244 eventi infrasonici a bassa frequenza (b). I cerchi rossi in a) identificano i settori in cui è stata effettuata bonifica nel periodo d'indagine. Il cerchio nero (b) identifica la posizione della valanga artificiale del 4 Dicembre 2009.

In alto a destra, fig. 10 - Attività valanghiva nell'area di studio valutata dalle osservazioni giornaliere in tre punti di osservazione (Gabiet, Gressoney e Frachey), ed espresse in termini dell'indice L1 del MOD. 1 AINEVA. In grigio sono indicati i giorni in cui non sono state possibili le osservazioni.

In particolare, per valutare l'attività valanghiva da confrontare con l'attività infrasonica abbiamo utilizzato l'indice L1, che fornisce un'indicazione sulla quantità e sulla dimensione delle valanghe spontanee osservate. I settori di osservazione presi in considerazione sono 3, Gabiet, Gressoney-La-Trinité e Frachey (Fig. 10), i primi due posti nell'alta valle del Lys (Gabiet, Gressoney-La-Trinité) e il terzo nell'adiacente val d'AYas. L'andamento dell'indice L1 dal 1 dicembre 2009 al 20 aprile 2010 per Gabiet e Frachey è grossomodo confrontabile (Fig. 10a e Fig. 10c) e caratterizzato da una concentrazione di valanghe tra febbraio ed aprile 2010. Per Gressoney-La-Trinité (Fig. 10b) le osservazioni iniziano da fine gennaio 2010 e le valanghe spontanee osservate sono limitate a soli 7 giorni tra marzo ed aprile. Per ottenere una descrizione quanto più possibile completa dell'attività valanghiva nell'area di indagine abbiamo integrato le osservazioni effettuate nei tre settori, considerando in ogni giorno il valore dell'indice L1 più elevato (Fig. 11a).



In linea di massima l'attività valanghiva nell'area è stata piuttosto contenuta. Durante questi 141 giorni, le avverse condizioni meteorologiche non hanno consentito l'osservazione in tutti i tre siti nel 19.8% del tempo (28 giorni), mentre nel 46.8% del tempo (66 giorni) non è stata osservata nessuna valanga spontanea (L1=0). In generale, l'attività valanghiva è stata di piccole dimensioni (L1=1 per 35 giorni), mentre poche valanghe di medie dimensioni (L1=2) sono state osservate in 11 giorni e solo il 22 marzo 2010 si sono osservati distacchi di medie dimensioni (L1=3). Il numero di eventi infrasonici a bassa frequenza mostra un andamento piuttosto irregolare nel tempo, con una media di 1.6 eventi al giorno, un valore massimo

di 11 eventi registrato il 12 marzo 2010, e numerosi picchi (Fig. 11b). Questo andamento dell'attività infrasonica, che risente pesantemente dell'effetto delle sorgenti antropiche provenienti da S, mostra una scarsa correlazione con l'attività valanghiva osservata nell'area. Rimuovendo gli eventi (98) provenienti dal settore S, i restanti 146 eventi infrasonici mostrano una distribuzione più omogenea nel tempo, con una media di 0.9 eventi al giorno e pochi picchi discreti (Fig. 11c). In questo caso il massimo di 8 eventi al giorno è raggiunto il 21 marzo 2010, immediatamente prima del picco di attività valanghiva spontanea, indicando una migliore correlazione tra le osservazioni ed il monitoraggio infrasonico.

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

I risultati ottenuti durante questo primo anno di sperimentazione indicano che un array infrasonico, opportunamente progettato ed installato, rappresenta uno strumento efficiente per il monitoraggio delle valanghe fino a dimensioni medio-piccole in un raggio di alcuni km, con importanti possibili ripercussioni sui modelli previsionali e sulle valutazioni del pericolo valanghe. Un array, infatti, può fornire indicazioni sull'attività valanghiva spontanea, in termini di posizione e tempo di accadimento preciso dei fenomeni, che rappresentano parametri utilissimi per la validazione dei modelli previsionali degli scenari di pericolosità e di rischio nel breve termine 24-72 h (Chritin et al., 1996). Inoltre, le informazioni ottenute dall'analisi di array durante le attività di distacco artificiale indicano chiaramente che un array infrasonico può essere impiegato per il monitoraggio e controllo delle attività e per l'accertamento, anche in condizioni di scarsa visibilità, dell'efficacia degli interventi di bonifica con un'ottima precisione, senza esporre gli operatori ad ulteriori rischi. Tuttavia, gran parte degli eventi infrasonici identificati durante l'inverno 2009-2010 sono di natura incerta e potenzialmente legati a sorgenti diverse da quelle valanghive, indicando chiaramente che il metodo di analisi deve essere ancora affinato e validato. In questo senso, come prima cosa, l'ambiguità nell'identificazione dell'infrasuono

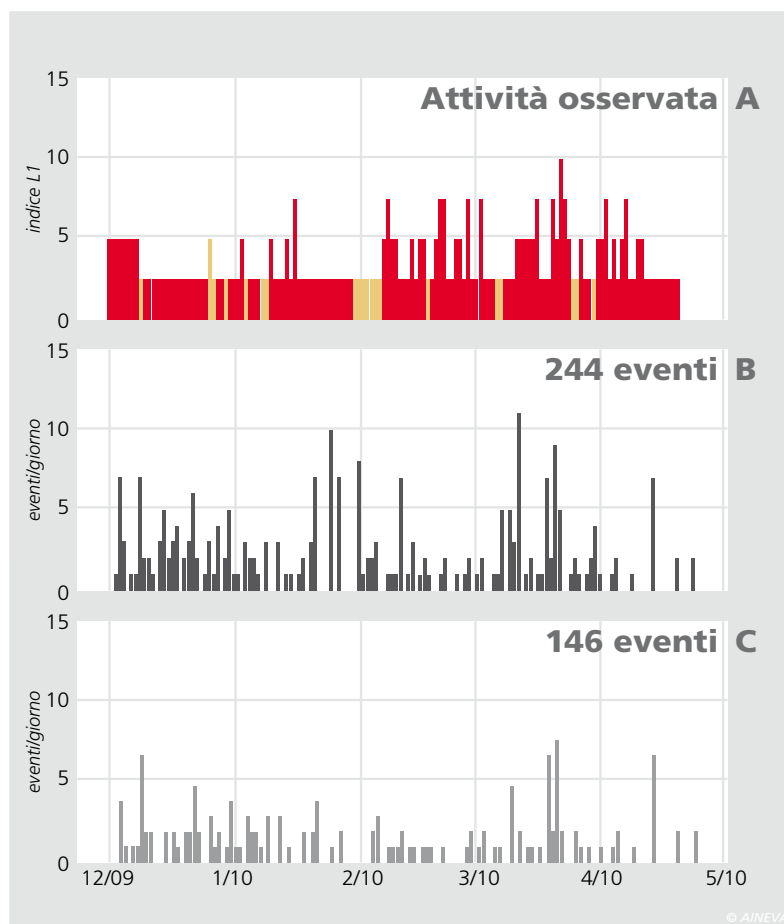


Fig. 11 - a) Sintesi dell'Attività Valanghiva nell'area di studio ottenuta integrando le informazioni dei tre punti di osservazione (Figura 10). In grigio sono indicati i giorni in cui non sono state possibili le osservazioni. Andamento giornaliero del numero di eventi infrasonici a bassa frequenza (b) rimuovendo gli eventi provenienti da Sud (c).

prodotto dalle valanghe può essere ridotta incrociando le informazioni di un array con osservazioni dettagliate di campagna per ottenere una migliore caratterizzazione dei segnali. Nonostante ciò, l'utilizzo di un solo array, che permette di identificare solo una direzione di provenienza, non fornisce una localizzazione precisa degli eventi e sarà sempre associato ad un certo grado di incertezza. Questa può però essere superata tramite l'utilizzo di due array o di un array

e più stazioni singole posizionate in modo opportuno, che permetterebbero di identificare in modo univoco l'infrasuono prodotto dalle valanghe. Visti i risultati ottenuti durante il primo anno di sperimentazione, nel novembre 2010 è stato installato un array infrasonico permanente ad elevata sensibilità in val d'Ayas (Champoluc) sempre in collaborazione con la Regione Autonoma Valle d'Aosta nell'ambito del progetto strategico RISKINAT.

Bibliografia

- AA.VV., 2009. Infrasonic Monitoring for Atmospheric Studies. A. Le Pichon, E. Blanc and A. Hauchecorne Eds., Springer.
- Baggi S., Schweizer J., 2009. Characteristics of wet-snow avalanche activity: 20 years of observations from a high alpine valley (Dischima, Switzerland). Nat. Hazards, 50, 97-108.
- Bedard A., 1994. An evaluation of atmospheric infrasound for monitoring avalanches. Proceedings, 7th International Symposium on Acoustic Remote Sensing and Associated Techniques of the Atmosphere and Oceans, 3-5 October 1994, Boulder, CO, NOAA/ERL/Environmental Technology Laboratory, Radian Corp., and AeroVironment, Inc., Boulder, CO.
- Ceranna L., Le Pichon A., Green D. N., Mialle P., 2009. The Buncefield explosion: a benchmark for infrasonic analysis across Central Europe. Geophysical Journal International, 177: 491-508. doi: 10.1111/j.1365-246X.2008.03998.x
- Chritin V., Rossi M., Bolognesi R., 1996. Acoustic detection System for Operational Avalanche Forecasting. Proceeding of International Snow Science Workshop, Banff, Alberta.
- Comey R.H., Mendenhall T., 2004. Recent Studies Using Infrasonic Sensors to Remotely Monitor Avalanche Activity. Proceeding of International Snow Science Workshop, Jackson, WY.
- Evers L. G., Haak H. W., 2003. Tracing a meteoric trajectory with infrasonic. Geophys. Res. Lett., 30(24), 2246, doi:10.1029/2003GL017947.
- Marchetti E., Ripepe M., Poggi P., 2009. Low cost differential pressure transducers used to investigate low frequency volcano infrasonic. Infrasonic Technology Workshop 2009, Brasilia.
- Naugolnykh K., Bedard A., 2002. A model of the avalanche infrasound radiation. Proceedings of the 24th Canadian Symp. Rem. Sens., 871-872.
- Richardson J.P., Waite G.P., FitzGerald K.A., Pennington D., 2010. Characteristics of seismic and acoustic signals produced by calving, Bering Glacier, Alaska, 2010, Geophys. Res. Lett., 37, L03503, doi:10.1029/2009GL04113.
- Ripepe M., Marchetti E., Coli M., 2010. Seismo-acoustic array monitoring of large quarry drill and blast activity close to a natural park, Tuscany (Italy). Rock Mechanics in Civil and Environmental Engineering – Zhao, Labiouse, Dudt & Mathier (eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-58654-2.
- Ripepe M., Marchetti E., 2002. Array tracking of infrasonic sources at Stromboli volcano. Geophys. Res. Lett., 29(22), 2076, doi:10.1029/2002GL015452.
- Scott E. D., Hayward C.T., Kubichek R.F., Hamann J.C., Pierre J.W., Corney B., Mendenhall T., 2007. Single and multiple sensor identification of avalanche-generated infrasonic. Cold Reg. Sci. and Technol., 47, 159-170.
- Valt M., 2010. Les BRA en Italie, Neige et Avalanches, 130.