

# il RADAR "LISA" per le VALANGHE

**Giuseppe Antonello,  
Alberto Martinez-Vazquez,  
Joaquim Fortuny-Guasch,**  
DG Joint Research Centre (JRC)  
della Commissione Europea – Ispra (VA)

**Michele Freppaz, Margherita Maggioni**  
Università degli Studi di Torino, Di.Va.P.R.A. – LNSA

Primi risultati della campagna di  
misure nata dalla collaborazione tra  
CCR, Monterosa 2000 S.p.A. e LNSA  
dell'Università di Torino

Il sistema LISA (Linear SAR) è stato progettato e sviluppato presso i laboratori del CCR-JRC di Ispra verso la metà degli anni '90. Si tratta di un Radar ad Apertura Sintetica basato a terra, ovvero un Radar con 2 o 3 antenne che scorrono lungo un binario, in modo da ottenere un'immagine della scena osservata uguale a quella ottenibile mediante l'utilizzo di un'antenna di dimensioni pari alla lunghezza del binario. Questo Radar venne utilizzato inizialmente per misurare le deformazioni di edifici e strutture, ma ben presto la sua principale applicazione divenne il monitoraggio delle frane. Dopo le fasi di test ed il suo utilizzo operativo, attivo a partire dal 2003 con l'eruzione del vulcano Stromboli, la ricerca legata al LISA doveva essere rivolta ad una nuova applicazione, che venne individuata nel monitoraggio delle valanghe. È stata, per questo, effettuata una campagna di misure di 3 anni in collaborazione con la SLF nel loro sito di ricerca presso la Vallée de la Sionne (Canton Vallese, CH), dando la possibilità di acquisire informazioni e dati riguardo le variazioni del manto nevoso. Successivamente, dal Marzo 2006, un sistema simile ma più piccolo (con un binario di circa 2 m) è stato realizzato per monitorare le valanghe lungo il Vallone dell'Olen nel comprensorio MonterosaSki di Alagna Valsesia (VC, Italia). Dopo i primi mesi di test, le

misure sono state effettuate per tutta la stagione invernale 2006-2007, acquisendo più di 50000 immagini. L'obiettivo principale di questa campagna di misure è quello di capire se lo strumento è in grado di supportare la gestione della sicurezza di un comprensorio sciistico, fornendo dati in tempo reale analizzabili dal personale addetto. Un'altra importante potenzialità del sistema LISA, emersa grazie alla collaborazione tra il CCR e il Di.Va.P.R.A. dell'Università di Torino, è quella di poter essere utilizzato in affiancamento ai rilievi nivometeorologici in loco, per poter validare reciprocamente i risultati e migliorare la conoscenza dei fenomeni legati alle valanghe, nonché migliorare la catalogazione delle aree esposte al rischio valanghe. I primi risultati sono incoraggianti e dimostrano la validità della metodologia utilizzata e della collaborazione stabilita tra gli enti coinvolti. Durante la stagione estiva 2006 sono state effettuate, con il sistema LISA, misure Radar del ghiacciaio di Bors, che hanno evidenziato alcune prevedibili variazioni stagionali della sua parte superficiale che hanno dato luogo ad un arretramento del fronte del ghiacciaio. Una seconda campagna di misure estive del ghiacciaio sarà da effettuarsi in una prossima stagione estiva, in modo da poter avere un confronto di lungo periodo dei dati acquisiti.



## INTRODUZIONE

L'Unità "Sensors Radar Technologies and Cybersecurity" (SERAC) della DG JRC (Joint Research Center) della Commissione Europea è attiva presso il Centro Comune di Ricerca (CCR) di Ispra (VA), dove svolge ricerche da molti anni nel campo del Telerilevamento ambientale. Il lavoro di un piccolo gruppo di ricercatori provenienti da diversi paesi Europei ha portato, verso la metà degli anni '90, alla progettazione ed alla realizzazione di un Radar SAR basato a terra, come evoluzione del concetto di apertura sintetica (*Synthetic Aperture Radar*) già inventato ed implementato alcuni anni prima su piattaforma satellitare. La teoria che stava alla base del funzionamento di satelliti come ERS-1 ed ERS-2, RADARSAT, JERS-1 e dei più recenti ENVISAT e TerraSAR-X, è, infatti, quella di sfruttare il movimento dei sensori e delle antenne Radar lungo un determinato percorso (l'orbita, nel caso satellitare) per poter acquisire misure da diverse posizioni ed ottenere, grazie ad una speciale elaborazione dei dati, un'unica misura equivalente a quella ottenibile con un'antenna di dimensioni pari alla lunghezza del tratto percorso. Ciò implica l'evidente vantaggio di poter maneggiare strumentazione elettronica e meccanica con problematiche di gran lunga più semplici e gestibili rispetto ad una soluzione più "ingombrante", pur ottenendo i medesimi risultati. Il sistema realizzato presso i laboratori di Ispra è stato chiamato LISA, acronimo di *Linear SAR*. Nel termine Linear sta la caratteristica principale dello strumento, che lo differenzia dai suoi fratelli maggiori in orbita attorno alla Terra. Infatti LISA è un *Ground Based SAR*, ovvero nel suo caso il percorso effettuato da sensori

ed antenne è rappresentato da un binario rettilineo ancorato al terreno. La lunghezza di tale binario viene scelta in funzione della particolare situazione ambientale in cui si trova ad operare il Radar e, fino ad oggi, ne sono state realizzate diverse versioni, con dimensioni da 1 m fino a 5 m. La teoria SAR si è sviluppata per poter rispondere alla crescente necessità di monitorare continuamente e con la risoluzione più elevata possibile, le deformazioni che affliggono edifici, strutture di vario tipo e zone soggette a movimenti del terreno. In questo senso l'applicazione principale della tecnologia SAR è stata quella di misurare i movimenti causati da subsidenze e da movimenti franosi. Nel caso del sistema LISA, la sperimentazione dei primi anni è stata orientata a verificare le capacità dello strumento nel monitoraggio di queste situazioni e, una volta apportate le migliorie necessarie e sviluppati i software su misura sia per il controllo della strumentazione che per l'elaborazione dei dati, si è passati alla fase operativa, che ha potuto prendere il via a seguito dell'eruzione del vulcano Stromboli nel Dicembre 2002, quando una grande frana si è staccata sul versante chiamato "Sciara del Fuoco" ed ha originato uno tsunami di medie dimensioni, che ha provocato diversi danni (fortunatamente solo materiali) alla parte abitata dell'isola e che, in misura minore, ha successivamente raggiunto le coste delle altre isole Eolie. Da quel momento il sistema ha continuato ad essere utilizzato per campagne di misura realizzate principalmente in occasione di eventi franosi (Schwaz - Austria, Valsassina LC, PonteDolo RE), fino a quando, nel 2003, si è capito che questa tecnologia poteva essere utilizzata anche per lo

studio delle valanghe, in quanto esse posseggono una dinamica simile a quella delle frane. Si è cercato, perciò, di stabilire una collaborazione di ricerca con un ente internazionale che avesse sufficiente esperienza nello studio delle valanghe, poiché all'interno del CCR non sono presenti competenze specifiche in questo campo.

## APPLICAZIONE PRESSO IL SITO SPERIMENTALE DELLA VALLÉE DE LA SIONNE

Alla fine dell'estate 2003 si presentò l'occasione di incontrare l'Istituto SLF di Davos, certamente uno dei più rinomati centri di ricerca in ambito nivologico. Dopo una serie di colloqui tra le parti, si manifestò la disponibilità da parte dell'Istituto svizzero a supportare l'installazione di un sistema LISA presso il campo di ricerche della SLF già attivo vicino a Sion, nel Canton Vallese. La campagna di misure in questa postazione ha avuto inizio nel Novembre 2003 e si è protratta fino al Settembre 2006. Il sistema LISA utilizzato era quello nella versione con binario di 5 m, posto all'interno di un rimorchio che è stato trasportato su strada e, successivamente, portato in quota grazie all'ausilio di un elicottero Super Puma. La postazione si è rivelata ottimale per l'osservazione del versante dove, dal 1997, vengono effettuate misure sulla dinamica delle valanghe. Inoltre, quando le condizioni nivometeorologiche sono favorevoli, vengono effettuati dei distacchi artificiali con l'esplosivo, che provocano generalmente anche valanghe nubiformi di grosse dimensioni. Il versante, infatti, si sviluppa per una lunghezza totale di circa 2500 m, dalla quota di 2650 m fino a

1450 m s.l.m.. Il sistema LISA era installato ad un'altezza di 1800 m, in posizione frontale sul pendio opposto. L'obiettivo di questa campagna di misure era quello di acquisire esperienza e dati sull'accumulo di neve al suolo, identificando eventuali cambiamenti nella sua struttura che potessero essere interpretati come precursori di distacchi naturali. Dopo tre stagioni invernali di osservazione, sono state raccolte circa 30000 immagini Radar, con le quali si sono acquisite molte conoscenze sulla dinamica delle valanghe. In particolare è stato possibile completare una mappa delle aree in cui si verificavano maggiormente le valanghe, grazie alla possibilità dei Radar di osservare 24h/giorno continuamente l'area. Nell'inverno 2005, mentre volgeva al termine la collaborazione con la SLF, vista la positiva esperienza che ne era nata, si decideva di dare seguito al progetto di monitoraggio e studio delle valanghe anche negli anni seguenti, pensando ad un futuro sito di installazione del sistema LISA. Nel 2006, infatti, la strumentazione presente in Svizzera doveva rientrare al CCR di Ispra e bisognava, a quel punto, individuare un nuovo sito di installazione dove poter continuare la ricerca ed effettuare nuove e più approfondite misure.

## **APPLICAZIONE PER IL MONITORAGGIO DEL VALLONE DELL'OLEN (ALAGNA VALSESIA) - INVERNO 2005-2006**

L'occasione per scegliere il nuovo sito si presentò allorché uno degli autori, Giuseppe Antonello, parlando con Nicola Viotti (Guida Alpina di Alagna Valsesia) e Michele Cucchi (anch'egli Guida Alpina, nonché responsabile della sicurezza

sulle piste del comprensorio sciistico Monterosa Ski in Valsesia) venne a conoscenza del fatto che il comprensorio sciistico del paesino piemontese era catalogato tra quelli con il maggior numero di valanghe spontanee in un'area frequentata da sciatori, in pista e in fuoripista, in particolare lungo il Vallone dell'Olen. Dopo i sopralluoghi iniziali, parve chiaro come la postazione fosse molto favorevole per la presenza, sul versante opposto a quello da monitorare, degli impianti di risalita del Monterosa Ski. In particolare, venne subito presa in considerazione la stazione intermedia della nuovissima funivia "Funifor" che da Pianalunga raggiunge il Passo dei Salati, permettendo il collegamento tra la Valsesia e la Val d'Aosta, grazie alla telecabina che sale da Gressoney. La stessa società Monterosa 2000 S.p.A., che gestisce gli impianti di risalita nell'area di Alagna Valsesia, si dimostrò subito pienamente favorevole, in particolare nelle persone dell'Ing. Claudio Francione e del Dott. Andrea Colla, a mettere a disposizione le sue strutture ed il suo personale per supportare l'installazione e la successiva gestione del sistema, del quale si sarebbe potuta verificare non solo la capacità di rilevare la quasi totalità delle valanghe occorse nel Vallone, ma anche l'operatività nel supporto alla gestione della sicurezza delle piste, considerando il recente consistente aumento di passaggi di sciatori in relazione all'apertura del collegamento con tutto il Monterosa Ski. I mesi successivi furono dedicati alla progettazione di un sistema "ad hoc", in virtù della particolari condizioni climatiche che caratterizzano l'area della stazione intermedia della funivia, che venne finalmente scelta per l'installazione del Radar. La quota di 2600 m,

unitamente all'esposizione alle frequenti raffiche di vento e all'abbondante copertura nevosa che caratterizza l'area durante tutto l'inverno, richiedevano una protezione della strumentazione superiore alla normale configurazione utilizzata, ad esempio, nel caso di Sion. Per questo, presso i laboratori di Ispra venne costruita una casetta di circa 7 m<sup>3</sup> e del peso complessivo di circa 500 Kg, con un telaio metallico ma ben coibentata con dei pannelli isolanti, che potesse ospitare un binario di 2 m di lunghezza, oltre alla strumentazione di supporto. Nel Marzo 2006 si effettuò il trasporto presso Alagna della casetta, che venne successivamente elitrasportata a ridosso della stazione intermedia della funivia presso Cimalegna. Qui, con l'ausilio di un Tirfor e del lavoro del personale di Monterosa 2000, venne sollevata a circa 50 cm da terra e fissata su alcune travi di legno. La stagione invernale era ormai prossima alla conclusione e l'altezza del manto nevoso era di conseguenza non molto elevata; ciò consentì di effettuare le operazioni in condizioni abbastanza favorevoli e, dopo qualche giorno di test, iniziare con le prime misure. L'obiettivo di questa prima fase era quello di poter sfruttare le ultime settimane della stagione invernale per poter preparare al meglio il sistema in vista della successiva, concentrandosi principalmente su due aspetti: identificare la scelta ottimale dei parametri, che avrebbe permesso di ottenere la migliore risposta del segnale Radar e, in secondo luogo, valutare le condizioni ambientali di alta quota a cui sarebbe stato soggetto il sistema per lungo tempo, al fine di rendere la struttura sufficientemente resistente.

Come detto, il principio di fun-



Fig. 1 - il sistema LISA al Passo dei Salati per il monitoraggio del ghiacciaio di Bors.

zionamento del sistema LISA si basa sul movimento lineare dei sensori lungo un binario. Sul carrello che effettua questo movimento trovano posto i seguenti componenti:

- un Network Analyzer, lo strumento principale che genera la forma d'onda del segnale elettromagnetico, ovvero un'onda continua emessa a scansione di frequenza;
- un amplificatore di potenza del segnale elettromagnetico con la sua fonte di alimentazione;
- le 3 antenne, di cui una per la trasmissione del segnale e 2

per la ricezione della sua riflessione;

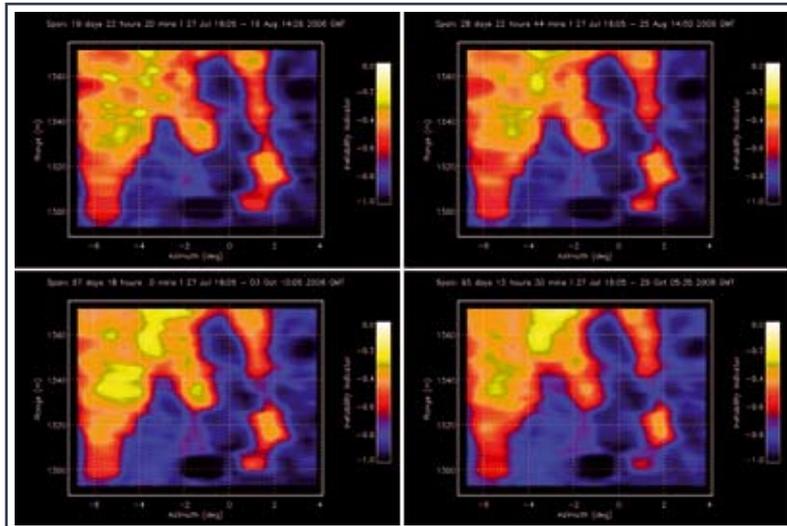
- vari componenti elettronici a Radiofrequenza necessari alla gestione del segnale nei vari stadi del sistema.

Nel restante spazio della casetta sono poi sistemati un piccolo gruppo di continuità (UPS), il box per il controllo meccanico del binario, il PC per l'elaborazione dei dati, una webcam puntata sulla Valle dell'Olen, un'altra webcam per il controllo della strumentazione all'interno, una piccola stazione meteo interna per tenere sotto controllo le condizioni di lavoro della delicata strumentazione e l'hardware che consente di avere la connessione alla rete locale di Monterosa 2000 e, tramite questa, ad Internet, per poter effettuare i collegamenti in



Fig. 2 - zoom sul fronte del ghiacciaio di Bors.

Fig. 3 - sequenza di immagini SAR acquisite tra Luglio e Ottobre 2006.



remoto dagli uffici di Ispra.

I primi dati si dimostrarono subito di buona qualità, confermando che la zona monitorata era soggetta a frequenti scaricamenti di neve provenienti dai numerosi canali presenti nell'Olen, dove alcune valanghe di medie dimensioni si staccavano ancora, nonostante la ormai bassa copertura nevosa dell'area.

### APPLICAZIONE PER IL MONITORAGGIO DEL GHIACCIAIO DI BORS (ALAGNA VALSESIA)

Terminata la stagione invernale, alla fine del Maggio 2006 si pensò a come sfruttare la presenza dello strumento anche per la stagione estiva e si presentò la possibilità di elitrasportare tutto il sistema fino alla quota di 3000 m del Passo dei Salati, individuando una postazione a fianco dell'arrivo del Funifor come punto ideale da cui osservare il ghiacciaio di Bors, adiacente a quello di Indren. In effetti questa nuova postazione era favorita dalla presenza di tutte le connessioni elettriche e di rete già presenti presso la stazione di arrivo ed inoltre la visuale verso la parete Sud del Monte Rosa, dove da diversi anni è evidente l'arretramento dei ghiacciai, risultava ottimale. La possibilità di osservare per una stagione estiva intera l'evoluzione dell'ambiente ghiacciaio così da vicino era un'opportunità da non perdere. E così, all'inizio di Luglio, venne effettuata la risistemazione del Radar al Passo dei Salati (Figura 1). Anche in questo caso le prime misure servirono da test per ottimizzare i parametri di misura, essendo tali misure effettuate per la prima volta dal nostro gruppo ed in condizioni molto diverse da quelle della precedente postazione. L'estrema variabilità

delle condizioni ambientali e dello stato della superficie del ghiacciaio, infatti, rendono difficile l'interpretazione dei dati, richiedendo molto lavoro in fase di post-processing, fase che non si può dire ancora conclusa al momento della pubblicazione del presente articolo, ovvero ad un anno di distanza dalla campagna di misure. Per poter estrarre dei dati più facilmente interpretabili sarà necessario effettuare una seconda campagna di misure estive sul ghiacciaio, che possa servire come confronto per un'analisi a più lungo periodo. Dai risultati preliminari, tuttavia, emerge una evidente quanto attesa dinamica di arretramento, che interessa buona parte della zona frontale del ghiacciaio. L'esposizione del versante a Sud accentua certamente la dinamicità dell'area, che genera una rapida evoluzione della risposta del segnale elettromagnetico utilizzato dal Radar, anche solamente nell'avvicinarsi del giorno e della notte. Un esempio dei dati raccolti durante la stagione estiva 2006 è mostrato nelle Figure 2 e 3, dove viene mostrato il confronto tra l'immagine ottica e la corrispondente zona monitorata dal Radar, con la sequenza delle immagini acquisite in 3 mesi.

La campagna "estiva" al Passo dei Salati si è protratta ben oltre l'equinozio autunnale, poiché la situazione climatica non ha portato ad avere precipitazioni rilevanti alle medie quote prima del mese di Novembre, consentendoci, così, di prolungare la permanenza del sistema a 3000 m fino alla fine del mese di Ottobre. Successivamente si è proceduto a riportare la "casetta" del sistema LISA alla stazione intermedia di Cimalegna, per poter avere la completa copertura dell'imminente stagione invernale 2006-2007.

## **APPLICAZIONE PER IL MONITORAGGIO DEL VALLONE DELL'OLEN (ALAGNA VALSESIA) - INVERNO 2006-2007**

Apportate le migliorie necessarie, basate sull'esperienza delle misure del primo periodo di test, si è deciso di sollevare maggiormente il sistema da terra, fissandolo ad un'altezza di circa 3 m, in modo da impedirne la parziale copertura da parte della neve attesa per la stagione ed evitare una fastidiosa riflessione del segnale elettromagnetico sul terreno antistante, il cui effetto degradante sulla qualità delle immagini era stato individuato nelle prime fasi di misura. Avvalendosi di tutta l'esperienza e la disponibilità del personale Monterosa 2000 e delle Guide di Alagna, la procedura è stata portata a termine sfruttando come appoggio una delle cabine della funivia, a cui è stata temporaneamente appesa la casetta, poi fissata con delle travi di acciaio alla base del pilone della funivia per ottenere anche una migliore visione della parte bassa del Vallone d'Olen, proprio dove vi è il tracciato dell'omonima pista di sci (Figura 4).

La configurazione finale di acquisizione, mantenuta fino al Maggio 2007, che verrà utilizzata anche nell'inverno 2007-2008, prevede l'utilizzo delle antenne

con polarizzazione verticale e banda di frequenze del segnale spazzolata con 1601 punti tra 8.80 GHz e 8.92 GHz. La scansione lungo il binario ha la durata di circa 10 minuti e viene completata tramite una successione di 231 passi che il carrello con la strumentazione esegue tra una singola acquisizione e la successiva. Ad ogni acquisizione, infatti, il segnale elettromagnetico viene emesso e se ne riceve la riflessione dallo stesso punto; il carrello quindi si sposta di un passo ed esegue nuovamente la procedura, fino a coprire la lunghezza del binario. Terminata la scansione, tutte le 231 acquisizioni effettuate vengono raggruppate e se ne ottiene una singola immagine, che risulta essere, perciò, la media di quanto successo nei 10 minuti della scansione (Figura 5). Tale valore di 10 minuti non rappresenta un limite fisico della strumentazione (che consentirebbe di fare una scansione anche in 2-3 minuti), ma è stato scelto per una serie di ragioni pratiche, tra cui la necessità di non accumulare una quantità di dati troppo elevata da poter essere gestita in modo adeguato durante questa fase ancora di ricerca. In una situazione futura di piena operatività del sistema e di richiesta di dati in tempo reale, esiste già la predisposizione per ridurre il tempo di misura, considerando l'elevata

Fig. 4 - installazione del LISA a Cimalegna per il monitoraggio durante la stagione invernale.

Fig. 5 - interno della casetta che ospita il sistema LISA.



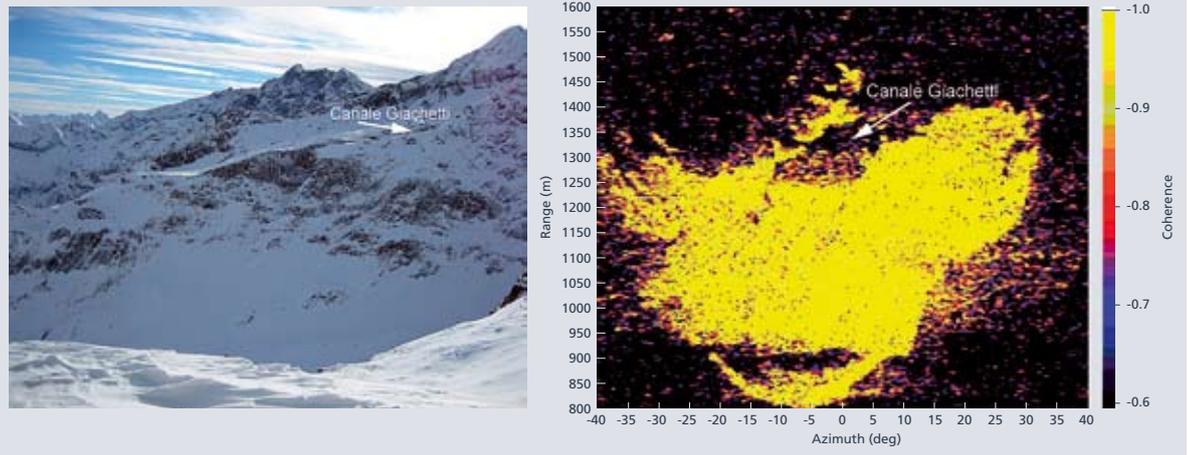
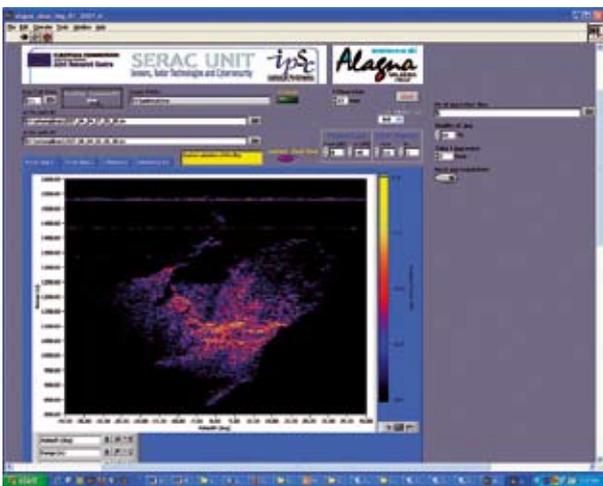


Fig. 6

Fig. 7 - screenshot del software per l'individuazione automatica delle valanghe.



velocità con cui si manifesta il fenomeno delle valanghe. Se necessario, è altresì possibile, in fase di post-processing, risalire a quanto successo all'interno della singola scansione, ovvero dei 10 minuti, dovendo tuttavia fare i conti con un'inevitabile perdita di risoluzione delle immagini.

Seguendo, invece, la normale procedura sopra esposta, le immagini ottenute coprono un'area di circa 800x800 m e consentono di avere una risoluzione di 1.25 m nella direzione detta "range", ovvero quella perpendicolare al binario, mentre lungo la direzione parallela la risoluzione va dai 7 m del punto più vicino a 800 m di distanza, ai 14 m del punto più lontano, posto a 1600 m dal Radar. Questa è la cosiddetta "risoluzione del pixel" di una singola immagine. Ma la risoluzione che maggiormente interessa un SAR

che, come il nostro, venga usato in modalità Differenziale e per questo chiamato con la sigla più appropriata di "DInSAR" (Differential Interferometric SAR), è quella ottenibile confrontando due immagini prese ad intervalli di tempo successivi (multipli dei nostri 10 minuti), che può arrivare fino al decimo di millimetro. Il dato grezzo del Radar, infatti, è matematicamente espresso sottoforma di numero complesso e si compone di una fase e di un modulo: dalla fase si ottiene il valore di spostamento rilevato tra due immagini successive, mentre dal modulo si estrae la coerenza tra le due immagini, ovvero un indice che assume in ogni singolo pixel dell'immagine valori da 0 (nel caso i pixel corrispondenti nelle due immagini abbiano subito una totale variazione) a 1 (nel caso non ci sia stata alcuna variazione). Nel monitoraggio di frane, strutture o dei ghiacciai a lungo termine, la precisione data dalla fase è ciò che rende il sistema LISA ineguagliabile in una misurazione continua di un'area molto estesa; mentre, nel caso delle valanghe, è la coerenza ad essere maggiormente utilizzata, poiché le variazioni di fase che intercorrono durante una valanga sono talmente veloci da non essere distinguibili. Analizzando

la coerenza si possono definire con precisione le aree di distacco, scorrimento e deposito delle valanghe e tenere traccia di tutte le minime variazioni del manto nevoso.

In Figura 6 è mostrato un esempio di "mappa di coerenza" relativa ad una misura effettuata nel Vallone dell'Olen nel Gennaio 2007 in assenza di eventi valanghivi, confrontata con la corrispondente immagine ottica della stessa area.

Bisogna aggiungere, a scanso di equivoci, che la potenza con cui viene emesso il segnale elettromagnetico non raggiunge valori che possano compromettere la salute di chi vi opera né degli sciatori di passaggio nelle zone coperte dal Radar. Infatti essa va relazionata all'area su cui viene irradiato il segnale e alla sua distanza che, nel nostro caso, non è inferiore agli 800 m. Solo la zona immediatamente antistante lo strumento è stata chiusa precauzionalmente al passaggio delle persone, ma si tratta di una zona fuoripista già adeguatamente segnalata come inaccessibile ed invalicabile, trovandosi a monte di un salto di roccia di diverse decine di metri. Per fare un confronto, la potenza utilizzata da un telefonino cellulare risulta essere superiore a quella utilizzata dal Radar, se confrontata sulla stessa

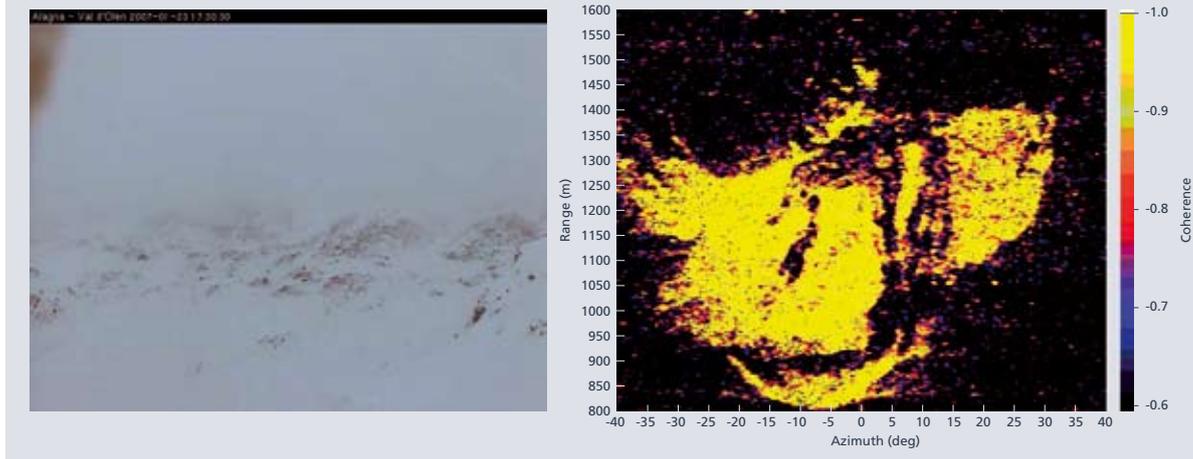


Fig. 8

unità di superficie.

La prima neve della passata stagione invernale, è apparsa ad Alagna alla fine del Novembre 2006, consentendoci di avere delle buone misure già dalle prime settimane. Per noi era molto importante avere un set di dati relativi alla prima parte dell'Inverno, sia perché le condizioni nivometeorologiche di questo periodo sono ovviamente diverse dal resto della stagione, sia perché si voleva verificare la procedura preliminare di individuazione automatica delle valanghe, decisa di comune accordo con Monterosa 2000 e con Michele Cucchi, responsabile della sicurezza delle piste. Tale procedura rappresenta il punto fondamentale del progetto di collaborazione tra il CCR e la società di gestione degli impianti di risalita, che deve innanzitutto permettere di capire se questo tipo di strumento può essere utilizzato come supporto operativo alla gestione della sicurezza di un comprensorio sciistico. La procedura citata prevede la presenza di un PC di supporto presso la casetta del Radar a Cimalegna, dove vengono processati i dati subito dopo il completamento della scansione. Pochi secondi dopo, si ha così a disposizione il dato processato, un'immagine chiamata "master", che viene

immediatamente confrontata con una delle immagini, detta "slave", già acquisite e processate. La scelta dell'immagine slave varia in funzione delle condizioni nivometeorologiche e del tipo di dato che si vuole ottenere. Se, ad esempio, non vi sono state precipitazioni da diverse settimane ed il manto nevoso si è stabilizzato, si può decidere di visualizzare il confronto tra due immagini prese a distanza di 1 o più ore, perché verosimilmente non ci saranno variazioni rapide nel manto nevoso. Mentre nel caso di una forte nevicata in corso, si può decidere di visualizzare il confronto tra un'immagine e quella immediatamente precedente (acquisita 10 minuti prima) e di aggiornare il risultato appena una nuova immagine master si rende disponibile. Va detto che nel corso dell'inverno si è lavorato perché questa procedura potesse essere svolta direttamente dagli uffici della Monterosa 2000, senza richiedere l'intervento del personale del CCR, nemmeno tramite connessione in remoto. In particolari situazioni di precipitazioni iniziate durante la notte, è anche possibile, in supporto alla decisione di aprire o meno alcune zone del comprensorio, verificare l'andamento delle misure effettuate nel corso delle ore notturne per verificare se siano

già cadute delle valanghe che, altrimenti, potrebbero essere pericolose per gli operatori alla sistemazione delle piste.

Nella Figura 7 è mostrato uno screenshot del software di visualizzazione delle valanghe appositamente sviluppato dal CCR. Come già accennato, per poter mettere in atto tale procedura è stato necessario avvalersi della connessione di rete pre-esistente lungo la tratta della funivia. Dagli uffici posti alla partenza degli impianti nel paese di Alagna, è così possibile collegarsi al PC di supporto presente a Cimalegna ed effettuare le operazioni della procedura appena descritta, con l'evidente vantaggio di non dover accedere direttamente al sito di misura né, tantomeno, alla zona monitorata. In Figura 8 viene proposto un esempio di valanghe rilevate durante la nevicata del 23 Gennaio, confrontato con una contemporanea immagine della webcam esterna puntata sulla Valle dell'Olen.

Come nella precedente esperienza presso il sito di Sion, un secondo aspetto del progetto di ricerca del CCR sulle valanghe è quello che riguarda la possibile misurazione del volume di neve interessato durante una valanga oppure durante una nevicata. Tale fase della ricerca è, tuttavia, ancora allo stato embrionale,

poiché queste misure richiedono una configurazione meccanica meno facilmente gestibile, soprattutto in relazione alla quota di installazione, ed un'elaborazione del dato più complessa. Si tratta di trovare un compromesso tra i due diversi tipi di misura che si vorrebbero effettuare contemporaneamente, ma, per queste prime fasi della ricerca, si è voluta privilegiare la risoluzione nella identificazione delle valanghe piuttosto che quella nella misurazione volumetrica che, di conseguenza, risulta avere una risoluzione vicina al limite strumentale. Tuttavia le misure sono state effettuate aggiungendo, alle due antenne già presenti per la trasmissione e la ricezione del segnale, un'altra antenna in rice-

zione, in asse con l'altra preposta a questo scopo, circa 70 cm sotto di essa. Ciò consente, durante la scansione, di ottenere contemporaneamente una seconda misura della riflessione del segnale, che percorre un tratto leggermente diverso e, per questo, dà luogo ad una differenza di fase del segnale ben visibile nel confronto tra queste due immagini "master". Si sfrutta, cioè, la "baseline spaziale" e non, come nel caso precedentemente illustrato, la "baseline temporale". Si ottiene così una sorta di immagine tridimensionale, che, opportunamente elaborata, può dare le informazioni volumetriche cercate. Un esempio di queste immagini è mostrato nella Figura 9.

Durante la stagione invernale, le misure effettuate dal Radar LISA hanno suscitato l'interesse del gruppo di ricerche del Dipartimento di Valorizzazione e Protezione delle Risorse Agroforestali dell'Università di Torino coordinato dal Prof. Ermanno Zanini, operante con il Laboratorio Neve e Suoli Alpini (LNSA) presso l'Osservatorio Meteorologico del Col d'Olen, localizzato in prossimità del Passo dei Salati. È bastato un breve colloquio tra i ricercatori dell'LNSA ed il personale del CCR per capire che vi erano evidenti possibilità di collaborazione tra le parti: da un lato il CCR necessita di competenze specifiche in ambito nivologico e, per poter calibrare al meglio la strumentazione ed interpretare correttamente i dati del Radar, di misure indipendenti effettuate possibilmente nell'area coperta dal Radar stesso; dall'altra parte i ricercatori dell'Università di Torino hanno intravisto nell'utilizzo del Radar un possibile completamento delle proprie misurazioni. Ad esempio, l'individuazione delle zone valanghive tramite il Radar fornisce dati preziosi

per la verifica dei risultati della procedura automatica GIS per la definizione delle potenziali aree di distacco valanghe, applicata in passato al territorio del Vallone dell'Olen (Freppaz et al., 2003). Durante la stagione invernale 2006-2007, si è sviluppato un buon coordinamento tra il CCR, la Monterosa 2000 ed il LNSA, che si sono tenuti sempre in stretto contatto per un continuo aggiornamento sull'evoluzione delle condizioni nivometeorologiche dell'area di studio. Quando il Radar evidenziava dei cambiamenti nella superficie del manto, il CCR avvisava tempestivamente il personale del LNSA e della Monterosa 2000, che usciva in campo per raccogliere informazioni relative agli eventi verificatisi.

Un sopralluogo tipico a seguito di una segnalazione del Radar consisteva in:

1. recupero delle immagini del Radar e della webcam e localizzazione grossolana degli eventi sulla carta topografica;
2. verifica delle condizioni nivometeorologiche per l'esecuzione del rilievo in sicurezza;
3. rilievo fotografico;
4. rilievo GPS;
5. compilazione del Modello7 AINEVA;
6. analisi stratigrafica del manto nevoso.

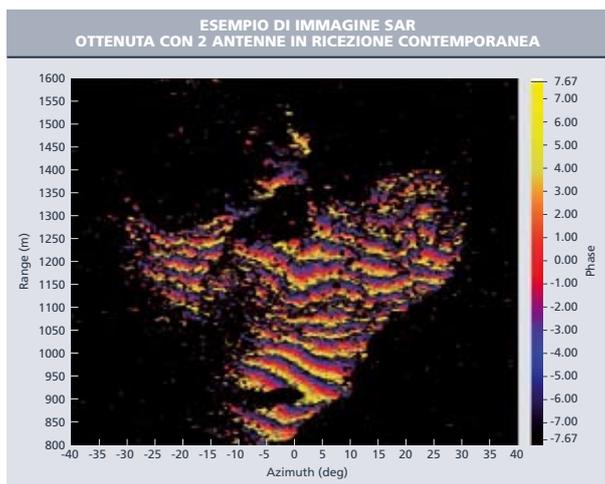
Lo scopo dei sopralluoghi è stato, appunto, confermare il verificarsi dell'evento e localizzarlo correttamente sulla carta topografica, in modo da confrontarne l'estensione con quella rilevata dal Radar.

Le valanghe di maggiori dimensioni verificatisi durante la stagione 2006-2007 sono state quelle del mese di Marzo.

Nel caso della valanga staccatisi dal pendio a fianco del canale Giachetti (Figura 10) si è rilevata un'altezza al distacco regolare

Fig. 9

Fig. 10 - outline su foto 9 Marzo 2007.



di circa 80 cm. L'esecuzione dell'analisi stratigrafica (Figura 11) ha individuato il distacco del lastrone di neve fresca (densità media di 150 kg/m<sup>3</sup>) su uno strato di brina di superficie sepolta, formatasi al di sopra di uno strato molto più duro e denso (350 kg/m<sup>3</sup>) nel corso delle notti fredde e umide che hanno preceduto la nevicata del 7 Marzo 2007. Il rilievo GPS (Figura 12) ha portato alla localizzazione della zona di scorrimento e di accumulo della valanga sulla carta topografica e tale estensione è stata confrontata con quella data dalle immagini Radar, rilevando un buon accordo.

Si è notato come, a volte, il Radar identificasse come "valanghe" anche piccoli scaricamenti di neve a debole coesione, ritenuti non rilevanti ai fini della sicurezza della pista da sci. Ciò è legato al fatto che lo strumento è stato impostato per la identificazione delle valanghe di tutte le dimensioni, senza effettuare una precisa misurazione volumetrica, che richiederebbe una differente impostazione dei parametri.

## CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

L'utilizzo del Radar come supporto alla gestione del rischio valanghivo nel Vallone dell'Olen nel Comprensorio MonterosaSki è stato testato nella stagione invernale 2006-2007, rivelando grandi potenzialità nella identificazione di fenomeni valanghivi. La potenzialità dello strumento risiede nel fatto che può operare 24 ore al giorno e in ogni condizione di tempo, con una precisione molto elevata. Nel caso di intense neviccate e di valanghe che si verificano nel corso della precipitazione stessa, lo strumento riesce ad identificarle, consentendo agli addetti alla sicurezza piste una ottimizzazio-

ne delle operazioni di messa in sicurezza delle piste.

Fino ad ora sono state acquisite più di 50000 immagini SAR, che hanno consentito di identificare la quasi totalità degli eventi valanghivi occorsi, ma studi più approfonditi devono essere condotti per la quantificazione dei volumi delle neviccate e della massa di neve in movimento; bisognerà, cioè, tarare lo strumento con ulteriori misure in campo per poter definire la dimensione delle valanghe, intesa come estensione spaziale per lo spessore di neve coinvolto nell'evento.

La possibilità di avere simultaneamente misure nivometeorologiche in campo e di migliorare l'interpretazione dei dati ottenuti, grazie alla collaborazione con gli enti preposti a tali attività e con gli istituti che effettuano ricerche specifiche in questo campo, non potrà che favorire l'ulteriore sviluppo del sistema LISA verso il raggiungimento dell'obiettivo di poter disporre di uno strumento a tutti gli effetti operativo nella gestione della sicurezza negli ambienti montani frequentati dall'uomo.

## Ringraziamenti

Tesisti e stagisti del Di.Va.P.R.A. - LNSA (Andrea Re, Alberto Trombetta, Antoine Brulport) e Paolo Piccini Ing. Claudio Francione, Dott Andrea Colla e personale della Monterosa 2000 S.p.A. in servizio ad Alagna Valsesia  
Michele Cucchi e Nicola Viotti - Guide Alpine di Alagna Valsesia e addetti alla sicurezza piste  
Marco Basso, Dario Tarchi, Gianluigi Ruzzante, Jorge Figueiredo Morgado - CCR Ispra

## Bibliografia

Freppaz M., Stanchi S., Maggioni M., Cucchi M., Welf A., Fournier F. e Zanini E. (2003). Sistemi informativi geografici per la gestione del rischio valanghivo in aree freeride segnalate (Monte Rosa). Atti 7a Conferenza Nazionale ASITA, Verona, 28-31 Ottobre 2003, pp. 1111-1115.

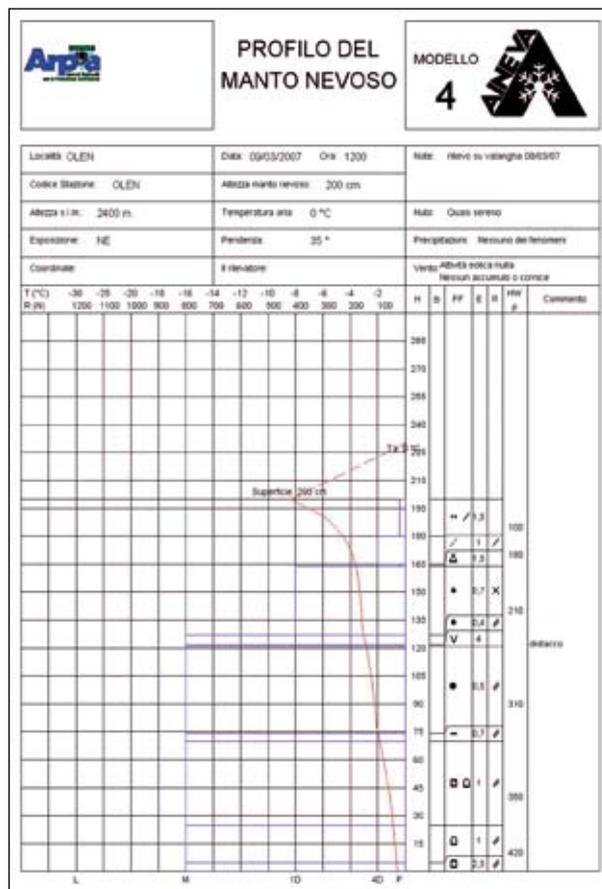


Fig. 11

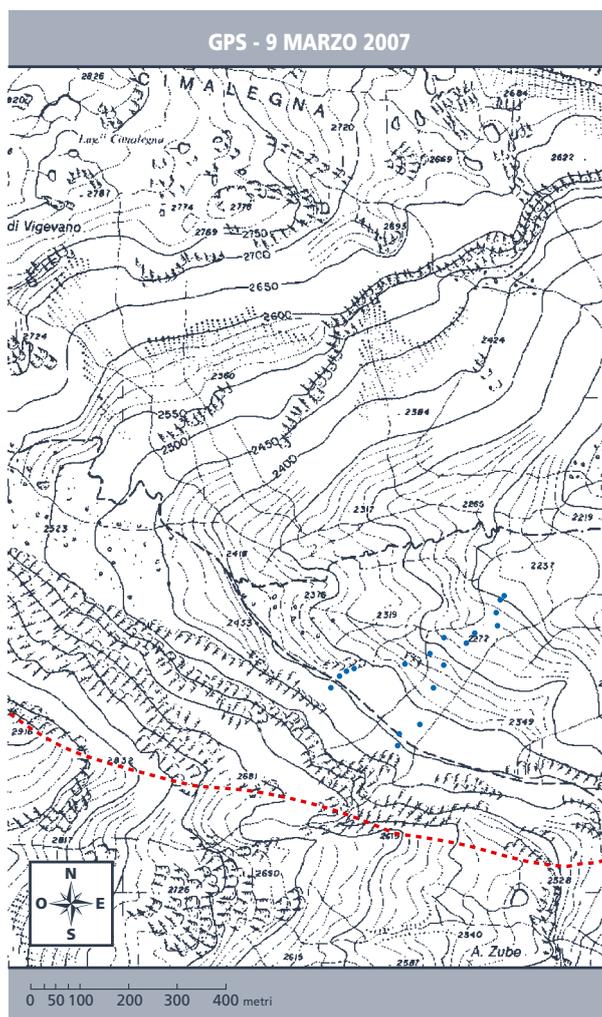


Fig. 12