

GLI EFFETTI dell'**INTERFERE** **VALANGHIVA**

IL CASO DELLA VALANGA CATASTROFICA DI LES THOULES - VALSAVARENCHÉ (AO)

Valerio De Biagi,
Barbara Frigo,
Bernardino Chiaia
DISEG – Dipartimento di
Ingegneria Strutturale, Edile
e Geotecnica, Politecnico di
Torino, Italia

Hervé Fusinaz
DIATI – Dipartimento di
Ingegneria dell'Ambiente,
del Territorio e delle
Infrastrutture, Politecnico di
Torino, Italia

Si presenta la procedura utilizzata per la stima delle pressioni d'impatto di valanga di neve sulle costruzioni: una back-analysis strutturale dei danni. Come caso studio di riferimento, si considera l'evento del dicembre 2008 accaduto a Les Thoules in Valsavarenche (AO) che provocò la distruzione o il danneggiamento di dodici edifici e delle reti di mobilità, elettriche e telefoniche, che comportarono l'isolamento della frazione per parecchi giorni. La procedura utilizzata per la stima del range delle pressioni d'impatto indotte da un evento valanghivo si divide in due parti: la prima di rilievo danni e informazioni, e la seconda di analisi strutturale a ritroso dei meccanismi di collasso e dei relativi danni indotti a edifici scelti.

In particolare, il lavoro qui presentato si concentra su quattro edifici: due parzialmente danneggiati e due completamente distrutti. Partendo dall'analisi della dinamica dell'evento, si introduce la fase conoscitiva delle strutture danneggiate, eseguita consultando gli elaborati progettuali e la documentazione fotografica degli edifici, e il rilievo fotografico/strutturale dei danni mediante una scheda appositamente realizzata. Dopo una breve descrizione dei danni indotti, si riporta la back-analysis basata sulla distribuzione dei detriti e sui meccanismi di collasso, e si presenta la stima della pressione dinamica della valanga, della velocità del flusso e della direzione d'impatto. I risultati ottenuti sono alla base della valutazione di nuove strategie di progettazione e consolidamento di costruzioni.

RENZA SUGLI EDIFICI



L'EVENTO DEL DICEMBRE 2008

L'interazione tra valanga di neve e costruzioni e, allo stesso tempo, la risposta delle strutture all'azione generata dall'impatto di valanga sono fenomeni ancora poco conosciuti. Oltre alle misure effettuate su bersagli strumentati in siti sperimentali (Maggioni et al., 2013; Barbero et al., 2013), le *back-analysis* - analisi ritroso - di impatti su strutture a scala reale sono uno strumento essenziale, sebbene molto complesso, per meglio comprendere gli effetti delle valanghe sulle opere civili (Voellmy, 1955).

L'analisi dei danni e la comprensione dei meccanismi di collasso generate dalle valanghe di neve possono essere, inoltre, molto utili per lo studio della dinamica valanghiva (Bovet et al., 2011) e per la stima di sovraccarichi su strutture ed in-

frastrutture (Margreth e Ammann, 2004). Inoltre, lo studio del danneggiamento di strutture da parte di un evento valanghivo consente una migliore quantificazione del rischio (De Biagi et al., 2012a) e fornisce indicazioni essenziali per una miglior progettazione o ristrutturazione di costruzioni in zona soggette a pericolo valanghe (De Biagi et al., 2012b).

In questo articolo, viene presentata l'analisi dei danni causati dall'evento valanghivo del dicembre 2008 al villaggio di *Les Thoules* nella Valsavarenche (AO) su quattro costruzioni (in parte o totalmente distrutte), alla luce del loro comportamento strutturale, seguendo un approccio seguito nelle indagini forensi e basato su misure in campo (Augenti e Chiaia, 2011).

Questo evento valanghivo fa parte di una numerosa serie di distacchi naturali oc-

corsi nella metà del dicembre 2008 nelle Alpi Occidentali.

In tale periodo si sono, infatti, registrate abbondanti precipitazioni nevose (150 cm di neve fresca a 2000 m s.l.m.) che hanno portato il pericolo valanghe al grado 5 (molto forte) (European Avalanche Warning Services, 2012) e che hanno causato danni diffusi (distruzione di boschi, danneggiamenti a centri abitati e ad infrastrutture, 4000 persone interessate - Maggioni et al., 2009; RAVA, 2009) in tutto l'Arco alpino.

Localizzato in destra orografica della Valsavarenche - Valle d'Aosta, a 1600 m s.l.m., in pieno Parco nazionale del Gran Paradiso, *Les Thoules* è un villaggio sito in un ampio pascolo alpino al piede di un sistema di balze rocciose che caratterizzano il territorio della vallata, alla cui sommità sono presenti estesi pendii con pendenza pari a circa 40-50 gradi che si sviluppano fino a quota 2.500 m. *Les Thoules* presenta perlopiù costruzioni destinate a "seconde case", tipico di frazioni nate negli anni '60 del secolo scorso in pieno boom edilizio che ha caratterizzato tutte le zone alpine del Nord-Ovest.

Storicamente, la valanga di *Les Thoules*, indicizzata al Catasto Regionale Valanghe valdostano come "039-La Frange", non aveva mai interessato il fondovalle in maniera così importante come durante l'evento del 15 dicembre 2008. Censita solo in tre occasioni - febbraio 1971, 16 febbraio 1974 e nell'inverno 1981/82 - aveva solo marginalmente interessato il conoide omonimo. Nel 2008, un lastrone di circa 350 m di larghezza e spessore di circa 1.5 m, si distacca dalla *Localité-La Tour* con un volume stimato attorno ai 50.000 m³ e percorre un dislivello di circa 800 m (Fig. 1).

Per la particolare topografia della zona di arresto, la valanga si divide in due rami e impatta dodici costruzioni (cinque costruzioni parzialmente danneggiate e sette totalmente distrutte), le linee telefoniche, l'elettrodotto che attraversa la vallata e invade le strade comunale e regionale depositando tre metri di neve, legname e macerie.

Fig. 1 - In evidenza le zone di distacco (rosso), scorrimento (giallo) e di arresto (verde) della valanga di 039-La Frange del 15 dicembre 2008 in Valsavarenche (AO). Il villaggio di *Les Thoules* è sito nel fondovalle, in corrispondenza della zona di arresto. I punti rossi indicano le quattro costruzioni interessate dal presente studio (Ufficio Neve e Valanghe - Reg. autonoma Valle d'Aosta; De Biagi et al.).



Fortunatamente, l'impatto della valanga con l'abitato non causa alcuna vittima, ma, a seguito dell'evento, la Regione autonoma Valle d'Aosta mette in sicurezza la zona costruendo un'imponente opera di difesa attiva (ombrelli da neve) sui pendii a monte delle balze rocciose per mitigare il rischio valanghivo (RAVA, 2009).

Vista l'importanza dell'episodio di interferenza valanghiva in centro abitato per numero di edifici di diversa tipologia edilizia coinvolti e grazie alla disponibilità dei proprietari delle costruzioni e degli uffici regionali competenti, è stato possibile eseguire una back-analysis strutturale completa delle costruzioni impattate con lo scopo di identificarne i meccanismi di danneggiamento/collasso e, conseguentemente, stimare il possibile intervallo di pressioni di indotte dal flusso valanghivo.

LE INDAGINI PRELIMINARI: REPERIMENTO DATI ED INFORMAZIONI PER L'INDAGINE STRUTTURALE

Come per tutti i rischi idrogeologici, alla base dello studio delle conseguenze indotte dall'interferenza di un fenomeno con le costruzioni vi sono le indagini preliminari comprendenti sia la raccolta dati per la comprensione della dinamica dell'evento occorso, sia lo stato (le condizioni di esercizio e danneggiamento subito) pre e post evento delle costruzioni coinvolte. L'analisi della complessa dinamica del flusso valanghivo è stata svolta a più mani e a successivi livelli di approfondimento indirizzati non solo ai fini dello studio dell'interferenza valanghiva con le costruzioni, ma anche alla progettazione e successiva rapida realizzazione delle opere di difesa attiva, nonché all'aggiornamento della cartografia del rischio valanghe (L.R.11/98 e s.m.i.) e del Catasto Valanghe valdostano.

Come per ogni analisi di evento valanghivo, è ovviamente stato necessario ricostruire l'evento nivo-meteorologico del periodo a cavallo del distacco (rilievi nivologici, dati delle stazioni meteorolo-

giche automatiche e manuali, osservazioni dei tecnici delle commissioni locali valanghe, forestali e guardiaparco, ecc...), ricercare informazioni circa l'attività valanghiva storica nell'area ed integrare con le caratteristiche morfologiche del bacino valanghivo, altimetrie e le pendenze. Ai fini dell'interferenza con le costruzioni, particolare attenzione è stata posta alle caratteristiche morfologiche/forestali della zona di arresto, procedendo in primo luogo con la stima delle velocità del flusso valanghivo con il semplice modello analitico di Voellmy (1955).

In parallelo, si sono ricercati gli elaborati progettuali delle strutture interessate dall'impatto presso l'ufficio tecnico comunale di Valsavarenche (AO) si è svolta una raccolta fotografica dello stato pre-impatto delle costruzioni.

Per il reperimento dati *in situ* sul danneggiamento degli edifici è stata messa a punto una metodologia di rilievo sia dei danni che della posizione dei loro detriti trasportati dal flusso valanghivo, nel seguito riportata.

Rilievo dei danni sulle costruzioni causati da impatto valanghivo

La valutazione degli effetti della valanga sulle costruzioni del villaggio di Les Thoules è stata svolta grazie alla realizzazione di una scheda di rilievo.

Concepito per un uso generale (non limitato al caso dell'evento valanghivo di cui al presente articolo), tale strumento operativo è nato con l'obiettivo di valutare, in maniera sbrigativa e, soprattutto, oggettiva i danni arrecati da valanghe di neve sul patrimonio edilizio.

Il documento prende spunto dalla "Scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento ed agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica", adottata a partire dal 1998 dal Dipartimento Nazionale della Protezione Civile nelle emergenze post-terremoto.

La redazione di un'analogha scheda di valutazione dell'integrità o meno degli edifici colpiti da eventi valanghivi è stata pensata come un utile supporto all'attività

di primo intervento nelle zone colpite da valanghe interferenti con centri abitati ed attività antropiche.

La scheda consente di compiere un primo rilievo speditivo, in regime d'immediato post-emergenza insieme ad una prima catalogazione degli edifici coinvolti.

Essa permette, inoltre, di segnalare l'eventuale esigenza di operazioni di bonifica, in modo tale da poter meglio gestire le risorse economiche ed umane disponibili, indirizzandole esattamente dove vi è maggior necessità.

La compilazione esaustiva della scheda è in grado di fornire una prima valutazione dell'agibilità dei fabbricati con la possibilità di richiedere, dove ritenuto necessario dal rilevatore, un'analisi più approfondita ed attenta da parte di personale qualificato.

Va da sé che l'uso di uno strumento schedografico unificato permette un rilievo del danno oggettivo ed omogeneo su tutto il patrimonio edilizio colpito ed una successiva informatizzazione del dato che porta ad una rapida catalogazione e confronto, anche ai fini statistici e di ricerca, come nel presente caso.

La scheda è stata pensata per rilevare i danni subiti da edifici di tipologia costruttiva ordinaria, come abitazioni, strutture turistico – ricettive oppure adoperati per fornire servizi. Essa si presta molto bene anche a sopralluoghi in rifugi, alpeggi e fabbricati utilizzati nella monticazione estiva del bestiame.

Per edifici speciali, ad utilizzo industriale o per scopi particolari, quali impianti di risalita o edifici di interesse storico-artistico, questa scheda potrebbe essere in parte rivista e modificata.

Il sopralluogo, fondamentale per raccogliere le informazioni necessarie alla compilazione del materiale schedografico, dovrebbe essere svolto immediatamente nelle ore o nei giorni successivi alla valanga, o comunque non appena le condizioni nivo-meteorologiche lo rendano possibile in sicurezza.

In tale modo si fornisce una più precisa fotografia dei danni indotti al fine di una più accurata pianificazione degli inter-

Fig. 2 - La scheda di rilievo dei danni sul patrimonio edilizio causati da valanga di neve (Fusinaz, 2010).

Scheda di rilevamento e segnalazione di danni a seguito di eventi valanghivi					
numero scheda:		anno:			
SEZIONE A: identificazione del compilatore e dell'evento valanghivo					
A₁	Compilazione scheda a cura di:				
nome e cognome:					
ufficio/ente:					
indirizzo:					
telefono:		cellulare:			
A₂	Luogo e data dell'evento valanghivo:				
data compilazione:		data evento:			
comune di:					
località:					
nome valanga:					
SEZIONE B: identificazione e descrizione dell'edificio					
B₁	Localizzazione dell'edificio:				
comune di:					
località:					
via:				n°	
dati catastali:		mappale:		particella:	
zona di rischio:		<input type="checkbox"/> rossa	<input type="checkbox"/> blu	<input type="checkbox"/> gialla <input type="checkbox"/> bianca	
B₂	Tipologia dell'edificio:				
posizione edificio:		<input type="checkbox"/> isolato	<input type="checkbox"/> interno	<input type="checkbox"/> d'estremità <input type="checkbox"/> d'angolo	
proprietà:		<input type="checkbox"/> pubblica	<input type="checkbox"/> privata	<input type="checkbox"/> servizi tecnologici e trasporti	
uso:		<input type="checkbox"/> abitativo	<input type="checkbox"/> produttivo	<input type="checkbox"/> commercio <input type="checkbox"/> uffici	
		<input type="checkbox"/> serv. pubblici	<input type="checkbox"/> deposito	<input type="checkbox"/> strategico <input type="checkbox"/> turistico	
utilizzazione:		<input type="checkbox"/> totale	<input type="checkbox"/> < 6 mesi	<input type="checkbox"/> < 3 mesi <input type="checkbox"/> abbandonato	
età:		<input type="checkbox"/> < 5 anni	<input type="checkbox"/> < 15 anni	<input type="checkbox"/> < 30 anni <input type="checkbox"/> > 30 anni	
n° piani fuori terra:		n° piani interrati:			
superficie media piano:		<input type="checkbox"/> < 80 mq	<input type="checkbox"/> < 150 mq	<input type="checkbox"/> > 150 mq	
Altezza massima fuori terra:		<input type="checkbox"/> < 6 m	<input type="checkbox"/> < 10 m	<input type="checkbox"/> > 10 m	
B₃	Descrizione dell'edificio:				
struttura portante:		<input type="checkbox"/> legno	<input type="checkbox"/> muratura	<input type="checkbox"/> cemento armato	
muri perimetrali:		materiale:	<input type="checkbox"/> legno	<input type="checkbox"/> pietra <input type="checkbox"/> mattoni	
		spessore:	<input type="checkbox"/> < 25 cm	<input type="checkbox"/> < 50 cm <input type="checkbox"/> > 50 cm	
stato di conservazione:		<input type="checkbox"/> insufficiente	<input type="checkbox"/> sufficiente	<input type="checkbox"/> buona	
tetto:		struttura:	<input type="checkbox"/> legno	<input type="checkbox"/> cemento <input type="checkbox"/> acciaio	
		copertura:	<input type="checkbox"/> lose	<input type="checkbox"/> lamiera	
SEZIONE C: identificazione danni					
C₁	Definizione impatto:				
tipologia della valanga:		<input type="checkbox"/> polverosa	<input type="checkbox"/> densa	<input type="checkbox"/> mista	
punto di impatto:		<input type="checkbox"/> parete	<input type="checkbox"/> tetto	<input type="checkbox"/> spigolo <input type="checkbox"/> indefinito	
lato di impatto:		<input type="checkbox"/> nord	<input type="checkbox"/> sud	<input type="checkbox"/> ovest <input type="checkbox"/> est	
superficie d'impatto:		<input type="checkbox"/> < 20 mq	<input type="checkbox"/> < 50 mq	<input type="checkbox"/> > 50 mq	
C₂	Danni ad elementi strutturali				
tipo di elemento:		livello di danno			
		grave	medio	leggero	nessuno
pilastrini		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
solette / solai		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
pareti perimetrali		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
struttura del tetto		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C₃	Danni ad elementi non strutturali				
tipo di elemento:		livello di danno			
		grave	medio	leggero	nessuno
copertura del tetto		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
comignoli		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
balconi		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
porte e finestre		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SEZIONE D: provvedimenti di pronto intervento					
D₁	Interventi:				
eseguiti in regime di emergenza		<input type="checkbox"/> nessuno	<input type="checkbox"/> rimozione	<input type="checkbox"/> riparazione	
		<input type="checkbox"/> demolizione	<input type="checkbox"/> isolamento	<input type="checkbox"/>	
da eseguire		<input type="checkbox"/> nessuno	<input type="checkbox"/> rimozione	<input type="checkbox"/> riparazione	
		<input type="checkbox"/> demolizione	<input type="checkbox"/> isolamento	<input type="checkbox"/>	
servizi ripristinati		<input type="checkbox"/> telefono	<input type="checkbox"/> gas	<input type="checkbox"/> elettricità <input type="checkbox"/> rete idrica	
SEZIONE E: agibilità dell'edificio					
E₁	pericoli presenti:				
tipo di pericolo:		livello			
		alto	medio	basso	nessuno
crollo altri edifici		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
instabilità struttura		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
crollo tetto		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
caduta di parti		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E₂	giudizio di agibilità:				
<input type="checkbox"/> edificio agibile		<input type="checkbox"/> edificio parzialmente agibile			
<input type="checkbox"/> edificio inagibile		<input type="checkbox"/> edificio parzialmente agibile con interventi			

venti di messa in sicurezza o ripristino ed una stima delle pressioni d'impatto. L'ispezione deve essere condotta da un tecnico (geometra, ingegnere, architetto o perito) in grado di poter compilare in modo corretto la scheda, valutando con occhio critico ed esperto tutti gli aspetti richiesti.

Se possibile, essa va preceduta da un'intervista ai tecnici locali ed al proprietario dell'immobile, al fine di reperire informazioni di carattere generale, quali l'età di costruzione, i materiali impiegati, le tipologie strutturali, eventuali modifiche e/o ampliamenti.

L'accertamento dei danni va condotto inizialmente dall'esterno e, qualora non vi siano elementi tali da far temere il crollo dell'edificio, o parte di esso, si può procedere alla successiva ispezione interna. Durante l'ispezione, è bene esaminare tutti i livelli dell'edificio osservando le facciate (non solo quella colpita direttamente dalla valanga) insieme alla copertura e struttura portante del tetto, sia dall'esterno che dall'interno per poter individuare eventuali danni arrecati dalla neve presente. Per un'ancora più completa valutazione dei danni presenti, è necessario allegare alla scheda la documentazione fotografica realizzata durante il sopralluogo.

La scheda (Fig. 2) è composta delle seguenti cinque sezioni raccolte su tre pagine: (A) identificazione del compilatore e dell'evento valanghivo, (B) identificazione e localizzazione dell'edificio, (C) identificazione danni, (D) provvedimenti di pronto intervento, (E) agibilità dell'edificio.

Rilievo della posizione dei detriti delle costruzioni impattate

Il rilievo della disposizione dei detriti rappresenta un'ulteriore fonte di informazioni dell'evento calamitoso e dell'effetto dell'interazione tra valanga e costruzioni. Grazie alla documentazione fotografica fornita dai uffici competenti della Pubblica Amministrazione, dai proprietari delle abitazioni interessate e dai rilievi condotti in sito dagli autori nei giorni successivi

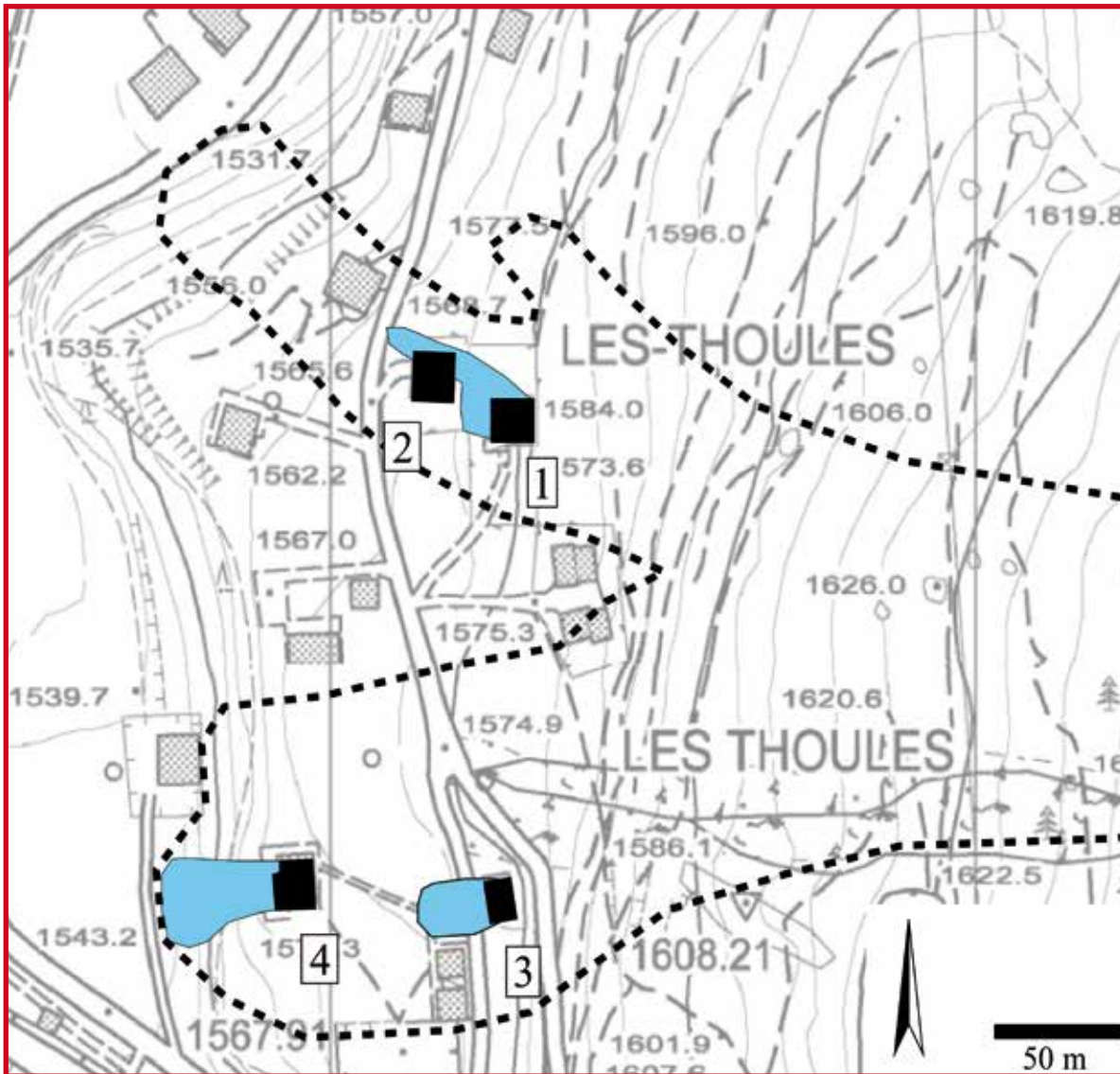


Fig. 3 - Posizione delle quattro costruzioni interessate dall'indagine strutturale ed estensione dei detriti, riportati in azzurro. L'estensione della valanga è riportata con la linea tratteggiata spessa (De Biagi et al.).

all'evento valanghivo e dopo lo scioglimento del manto nevoso è stato possibile determinare la posizione dei detriti delle costruzioni trasportati dal flusso della valanga e valutarne, in parte, la stratigrafia. Riportando tali dati in cartografia (Fig. 3), si è constatato che la valanga ha interessato l'abitato di Les Thoules con direzioni di impatto differenti.

Come riscontrabile dalle fotografie aeree, la valanga si è separata in zona di deposito in due rami. Tale evidenza è emersa anche nell'analisi della disposizione dei detriti. In riferimento alla Figura 3, le macerie delle costruzioni n.1 e 2 sono state trasportate dal flusso in direzione nord-ovest, mentre quelle delle costruzioni n.3 e 4 in direzione ovest.

E' inoltre emerso un effetto di mutua protezione degli edifici, che ha comportato la variazione, seppur locale, della

direzione della componente densa della valanga. Infatti, a seguito dell'impatto con la costruzione n.1, il flusso è stato indirizzato sul lato settentrionale del gruppo di costruzioni. Questo ha comportato l'interferenza del fenomeno con la costruzione n.2 esclusivamente sul suo spigolo nord-orientale. La disposizione dei detriti attorno a queste costruzioni (Figg. 4 e 5) lo conferma.

VALUTAZIONE DEI DANNI SULLE COSTRUZIONI

Ai fini della back-analysis strutturale, il successivo passaggio, tutt'altro che semplice, è quello che porta dalla raccolta dati sui danni svolta, attraverso la comprensione della dinamica valanghiva, alla stima dei parametri di danneggiamento (e.g., spostamenti e rotazioni rigide) che

conducono direttamente al meccanismo di danneggiamento o collasso indotto. Questa fase non è altro che un confronto tra lo stato pre e post impatto valanghivo di edifici scelti per quantità e qualità di informazioni note dei quali se ne valuta il grado di danneggiamento e, a seguire, le pressioni d'impatto.

La stima del range delle pressioni d'impatto indotte da un evento valanghivo passa attraverso l'analisi strutturale a ritroso, dei meccanismi di collasso e dei relativi danni indotti a edifici scelti.

Qui di seguito vengono descritti i danni riportati a quattro dei dodici edifici - n. 2 chalet (parzialmente) e n. 2 edifici (totalmente) - grazie allo studio dei quali è stata poi effettuata la modellazione strutturale del danneggiamento e calcolate le pressioni indotte dal fenomeno sugli edifici.

Fig. 4 - Localizzazione dei detriti attorno ad un'abitazione in muratura e calcestruzzo impattata dal ramo destro dell'evento del dicembre 2008 a valle degli Chalet n.1 e 2 oggetti di studio. Grazie all'analisi del deposito valanghivo, si possono comprendere le successive fasi di danneggiamento delle strutture coinvolte oltre a particolari sulla dinamica del fenomeno (Foto: Ufficio Neve e Valanghe - Regione autonoma Valle d'Aosta, 2009).



Fig. 5 - Aprile 2009: operazioni di sgombero neve e pulitura boschi e pascoli dai detriti trasportati dall'evento del dicembre 2008. Sulla sinistra, si noti la piegatura delle lamiere attorno al larice segno sia della direzione che della potenza del flusso valanghivo (Foto: Ufficio Neve e Valanghe - Regione autonoma Valle d'Aosta, 2009).



Costruzioni parzialmente danneggiate

L'abitazione n.1 si trova nella parte mediana del conoide di Les Thoules (Fig. 1 e 3) e viene colpita dal ramo destro del deposito. Si tratta di un tipico chalet alpino costituito da un unico corpo di fabbrica, completamente indipendente, su tre piani: il piano seminterrato in muratura con il primo ed il secondo mansardato interamente in legno (Fig. 6a).

Il fabbricato presenta una pianta rettangolare (7,5 m x 9 m), con le facciate di dimensioni maggiori esposte a nord e sud. Il piano seminterrato è interrato solamente nei lati nord ed est, i quali sporgono fuori terra in minima parte (circa 50 cm), mentre gli altri lati risultano interamente fuori terra.

Il tetto presenta due falde, rivolte ad ovest e est, con copertura in lose e due comignoli in pietra.

L'altezza massima di 8 m fuori terra dell'abitazione si ha nel lato sud (lato d'ingresso dell'abitazione) mentre il lato est impattato ha un'altezza fuori terra di poco più di 6 m.

Il fabbricato ha subito danni irreparabili ai piani fuori terra (Fig. 6b): la parte in legno, appoggiata alla soletta del piano seminterrato, è stata completamente abbattuta dalla forza della valanga. Impattando l'abitazione sul lato est, la valanga ha prima sollevato il tetto - quasi per intero, depositandolo sul prato ad ovest dell'abitazione - per abbattere la porzione in legno costituente il primo piano e la mansarda.

Il piano seminterrato ha subito danni minori sia perché in parte protetto dal terreno, sia per la sua maggiore resistenza essendo in muratura. Solamente il piano seminterrato dello chalet, che necessita di pochi interventi di ristrutturazione, risulta essere agibile nell'immediato post-evento.

La seconda abitazione analizzata si trova poco più a valle dello Chalet n.1.

Anch'esso realizzato secondo la tipologia classica, lo Chalet n.2 è costituito da un piano seminterrato a livello della strada e

da due piani fuori terra, di cui il secondo mansardato.

Di pianta pressoché quadrata (11 m x 10,5 m), l'abitazione presenta altezza massima di 8 m sul lato ovest (lato di ingresso) e di 6,5 m sul lato est impattato, sebbene la forza distruttiva del flusso valanghivo si sia concentrata sullo spigolo con il lato nord.

Realizzato in muratura, il seminterrato sporge sul lato est per meno di un metro a causa della morfologia del pendio.

I due piani fuori terra sono realizzati interamente in legno e si appoggiano sulla soletta in calcestruzzo.

Il tetto, in legno, è costituito da due falde, rivolte a nord e sud con la copertura in lose ed un comignolo in pietra sulla falda a sud.

I danni diretti si presentano sul lato est dell'edificio con la parete in legno interamente sfondata, il tetto schiacciato con la rottura di travi e travetti che ha causato uno spanciamento della parete perimetra-



Fig. 6 - Due viste dello Chalet n.1: (a) prima dell'evento del 15 dicembre 2008 (Foto: fam. Chiaraviglio), (b) dopo l'impatto con la valanga (Foto: H. Fusinaz). In (c) vengono riportati i parametri del modello roto-trasazionale della costruzione al fine della stima della pressione d'impatto con metodo inverso (De Biagi et al.).

le in legno dei due piani fuori terra - lato nord, rendendo così totalmente pericolante la copertura (Figg. 7a, 7b).

Il piano seminterrato, protetto dal terreno, non ha subito danni significativi, se non il distacco di alcune pietre di rivestimento. Anche sul lato ovest, opposto all'impatto, la parete perimetrale ha subito uno spostamento verso l'esterno pregiudicando la stabilità dell'intera struttura.

Danni ingenti sono stati riscontrati anche internamente, dal crollo del mansardato e tramezze, agli arredamenti interni.

Costruzioni totalmente danneggiate

L'Edificio n.3 è la seconda abitazione colpita dal ramo sinistro della valanga sulla strada comunale che serve le abitazioni di località Les Thoules e prosegue verso il villaggio di Tignet (Fig. 8a).

Piccola abitazione indipendente con accesso diretto alla strada comunale - lato ovest, la casa è composta da un piano terra a livello strada, piano primo e secondo mansardato.

A pianta rettangolare (8 m x 5 m), con i lati maggiori esposti ad ovest e est - lato d'impatto, l'edificio è realizzato interamente in muratura con struttura portante in cemento armato.

L'altezza massima di 8 m fuori terra dell'abitazione si ha nel lato ovest mentre sul lato est, per la conformazione del pendio, è di soli 6 m.

Il piano seminterrato, sul lato est e adibito a garage con ripostiglio, è interamente interrato; il tetto presenta struttura in legno e copertura in lose ed è costituito da due falde simmetriche esposte a nord e a sud con, in prossimità del colmo, due camini in cemento.

L'evento valanghivo cancella quasi completamente l'abitazione (Fig. 8b): il piano primo e la mansarda vengono completamente abbattuti dalla forza della massa nevosa, il tetto viene scaraventato sulla strada comunale e sui prati antistanti insieme a tutta una serie di detriti.

Grazie alle operazioni di bonifica degli edifici coinvolti, asportando la massa nevosa depositatasi, si scopre che soltanto la parte nord del piano seminterrato, per effetto della protezione fornitagli dal terreno, subisce danni minori, quali la caduta del rivestimento in pietra.

L'Edificio n.4 è l'abitazione di maggiori dimensioni coinvolta nell'evento del dicembre 2008 insieme ad un piccolo fabbricato ad uso garage di pertinenza (Fig. 9a).

Localizzata nella parte terminale del conoide di Les Thoules, immediatamente a valle dell'Edificio n. 3, sia l'abitazione che l'autorimessa vengono colpiti dal ramo sinistro della valanga che ne impatta il lato est.

Entrambi gli edifici sono realizzati in muratura con struttura portante in cemento armato e tetto in legno con copertura in lose.

Di pianta rettangolare (12 m x 9 m) con lato lungo esposto ad est e ovest, l'abitazione presenta tre piani: seminterrato, primo piano e mansarda.

Il piano seminterrato è interrato soltanto per una minima parte (lato est di circa un metro; lato ovest a livello terreno) ed ospita la cantina ed altri locali, oltre ad una soletta a sbalzo in cemento armato su cui si sviluppa parte dell'abitazione.

Il piano primo, sul lato est, è leggermente sopraelevato rispetto al terreno (circa 1,5 m) e vi si accede tramite una scalinata.

Qui, l'abitazione presenta la sua area giorno caratterizzata da ampie vetrate e da un balcone che ne percorre tutto il perimetro. Nella mansarda trova posto la zona notte. Il tetto è realizzato in legno con copertura in lose; le falde principali sono due esposte ad ovest ed a est, ma il lato est presenta due piccole falde nord/sud. Supportato da due pilastri in legno, con base in muratura, il tetto sporge notevolmente

Fig. 7 - Due viste dello Chalet n.2 dopo l'impatto con la valanga del 15 dicembre 2008. (Foto: H. Fusinaz, V. De Biagi).



sul lato est – lato impattato - per proteggere la scalinata d'ingresso e il balcone. L'abitazione, per nulla protetta dalla morfologia del terreno, viene impattata dal flusso valanghivo sul suo lato maggiore (lato est) e viene rasa al suolo completamente (Fig. 9b).

I detriti vengono sparsi nel raggio di qualche decina di metri: dopo le operazioni di bonifica, a primavera inoltrata, soltanto qualche impronta lasciata dalle fondazioni e dai muri perimetrali rimane a testimoniare la presenza dell'edificio cancellato dall'eccezionale evento valanghivo del 2008.

Anche l'autorimessa di pertinenza a due piani, realizzata in muratura con soletta in cemento armato e tetto in legno viene danneggiata seriamente, sebbene di dimensioni ragguardevoli (pianta rettangolare 7 m x 5 m – lato lungo esposto ad est, altezza massima di poco superiore ai 4 m con tetto a due falde est/ovest). Il primo piano, a livello strada, viene spazzato via, mentre il piano interrato non subisce danni importanti.

MODELLAZIONE STRUTTURALE DEL DANNEGGIAMENTO

La modellazione strutturale delle costruzioni ha permesso di stimare alcuni parametri della valanga.

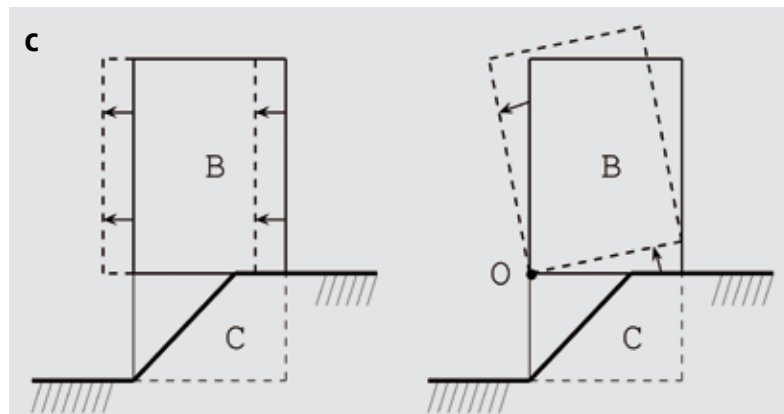
In questa sezione si presentano alcuni risultati di tale step di analisi, per una trattazione più dettagliata si rimanda a De Biagi et al..

La modellazione dell'impatto sullo Chalet n.1 tiene in considerazione il fatto che la massa della neve, a seguito dell'impatto, ha generato uno spostamento sulla costruzione.

Tale effetto è stato rilevato nella parte di struttura non inglobata nel flusso.

Supponendo una roto-traslazione rigida, è possibile scrivere le equazioni di equilibrio alla traslazione ed alla rotazione come (vedi Fig. 6c) (1)

$$\begin{cases} m\ddot{x} = F - \mu mg \\ I\ddot{\theta} = Fb - \sum_{i=1}^4 R_i r_i \end{cases}$$



dove m è la massa della costruzione, F è la risultante delle forze esercitate dalla valanga sulla costruzione, μ è il coefficiente di attrito legno-calcestruzzo, g è l'accelerazione di gravità, I è il momento giroscopico della massa della costruzione, b identifica la posizione della forza F , R_i e r_i sono rispettivamente i valori delle azioni resistenti (dovute ad attrito allo scorrimento) offerte dalle pareti laterali

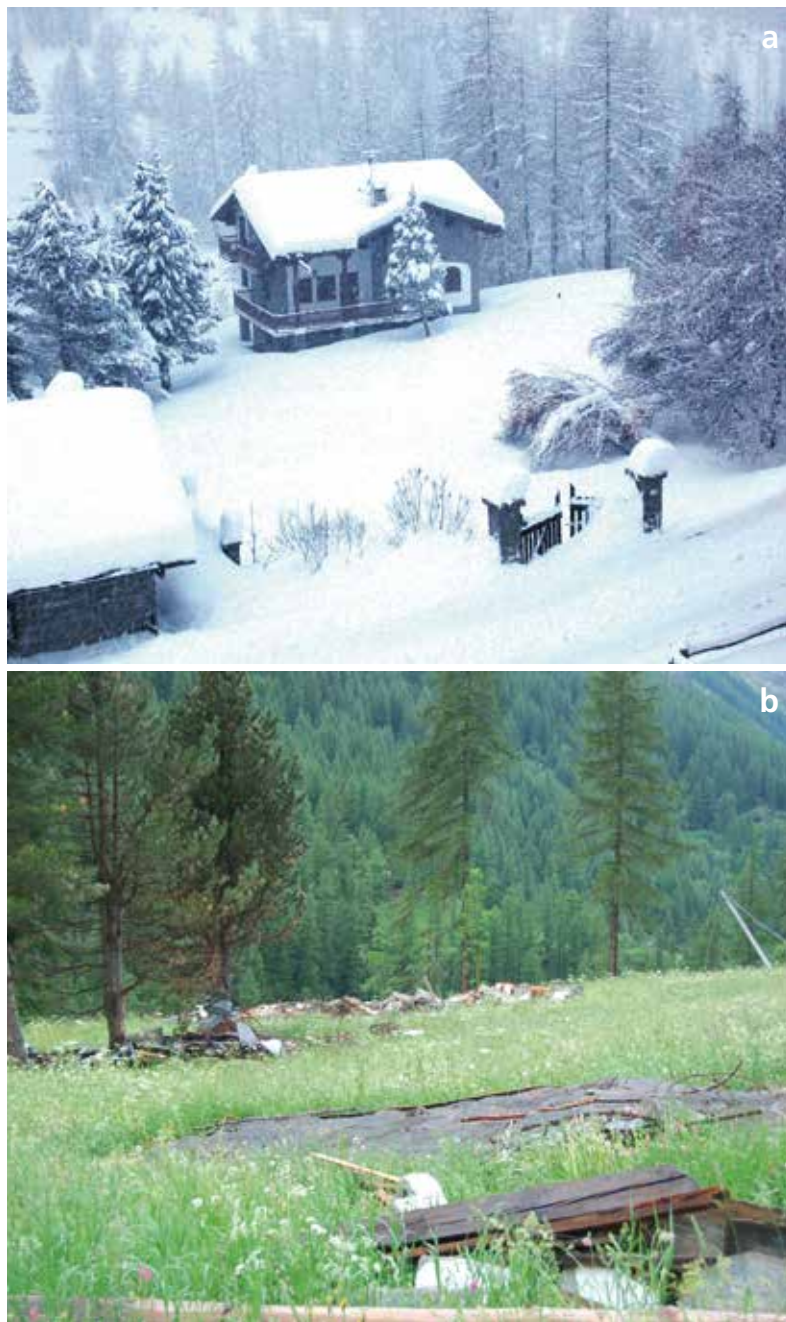
ed i rispettivi bracci rispetto al baricentro delle masse G . Il doppio punto sulla coordinata lineare x e angolare θ indica la doppia derivazione temporale.

La risoluzione del sistema differenziale consente di associare a ciascuna terna di valori relativi alla forma della distribuzione di pressione (Fig. 10), una rotazione ed una traslazione.

Dal confronto tra valori rilevati e valori

Fig. 8 - Due viste dell'Edificio n.3: (a) prima dell'evento del 15 dicembre 2008 (Foto: fam. Rosai), (b) dopo l'impatto con la valanga (Foto: H. Fusinaz). In (c) si riportano i modi di rottura dell'Edificio n.3: (a) modo traslazionale, (b) modo rotazionale. La B identifica la parte superiore di fabbricato realizzata in laterizio (dall'inglese brick), la C identifica la parte inferiore di fabbricato realizzata in calcestruzzo armato (dall'inglese concrete). Il punto O identifica la posizione attorno a cui sono calcolate le coppie per il momento stabilizzante e instabilizzante (De Biagi et al.).

Fig. 9 - Due viste dell' Edificio n.4: (a) prima dell'evento del 15 dicembre 2008 (Foto: fam. Cella), (b) dopo l'impatto con la valanga. (Foto: V. De Biagi).



simulati si perviene ad un valore di pressione di impatto compresa tra 60 e 65 kPa. La modellazione dello Chalet n.2 è stata invece basata sul tempo di rotazione della copertura a seguito dell'asportazione dello spigolo investito dal flusso della valanga.

Il tempo di rotazione, e quindi il tempo durante il quale la massa di neve ha potuto entrare nella costruzione, è stato determinato sulla base di un equilibrio dinamico alla rotazione, con un sistema simile a quello dell'eq. (1).

Per l'Edificio n.3 si sono supposti due modi di rottura: un modo traslazionale

(Fig. 8c) che si attiva quando la spinta orizzontale impressa dalla valanga supera la resistenza a scorrimento della parte superiore di fabbricato (B) sulla fondazione (C) offerta dalla resistenza a tranciamento del laterizio, e un modo rotazionale (Fig. 8c) che si verifica quando il momento instabilizzante, generato dall'azione della valanga, supera il momento stabilizzante, generato dal peso proprio della costruzione, ossia quando

$$M_i \geq M_s \quad (2)$$

Ne è risultato che il meccanismo di rottura preferenziale è quello traslazionale, che è attivato con pressioni di impatto di circa 32 kPa per un flusso valanghivo di

profondità pari a 2.5 m (stimato).

L'Edificio n.4 è stato completamente demolito dalla forza di impatto della valanga di neve.

La simulazione ha tenuto in considerazione il meccanismo di resistenza di pannelli di muratura portante a forze ortogonali al piano medio. Tale verifica ha mostrato come la resistenza fosse talmente bassa che una forza di debole intensità (5 kPa) avrebbe potuto generare il medesimo danno.

Non è stato possibile estrarre alcun dato dall'analisi di tale collasso totale.

Si riportano in tabella (Fig. 11) i risultati dell'analisi compiuta sulle quattro costruzioni danneggiate parzialmente, o totalmente collassate.

CONCLUSIONI

L'analisi descritta in questo articolo ha consentito, mediante un'analisi a più step, di studiare il fenomeno dell'impatto di valanga di neve su costruzioni di civile abitazione.

La procedura impiegata è basata su un approccio di tipo forense, in cui la fase di indagine con il reperimento del materiale disponibile, la definizione di scenari di collasso, la valutazione (e la confutazione) di ipotesi di danneggiamento gioca un ruolo fondamentale.

L'analisi del danneggiamento e la modellazione dello stesso ha consentito di estrarre alcune interessanti indicazioni circa il fenomeno valanghivo in oggetto.

In particolare, dall'analisi di costruzioni parzialmente collassate, ovvero per le quali sono rimaste in posizione alcune parti di costruzione, è emerso un valore minimo di pressione di impatto (vedi Chalet n.1).

Al contrario, l'analisi degli Edifici n.3 e 4, vista la debole resistenza offerta dall'organismo strutturale alle azioni orizzontali, ha potuto fornire un valore per il quale le costruzioni sono state portate a rottura, valore che non necessariamente identifica la pressione di impatto della valanga che avrebbe potuto essere decisamente maggiore.

Lo studio in dettaglio dell'interazione tra

valanga di neve ed edificio ha consentito, inoltre, di valutare possibili nuove strategie di progettazione e di consolidamento di costruzioni esistenti poste in aree a pericolo valanghe. Le regole di progettazione si basano su una corretta modellazione del fenomeno e, in particolare, della distribuzione delle pressioni da impatto sulla costruzione.

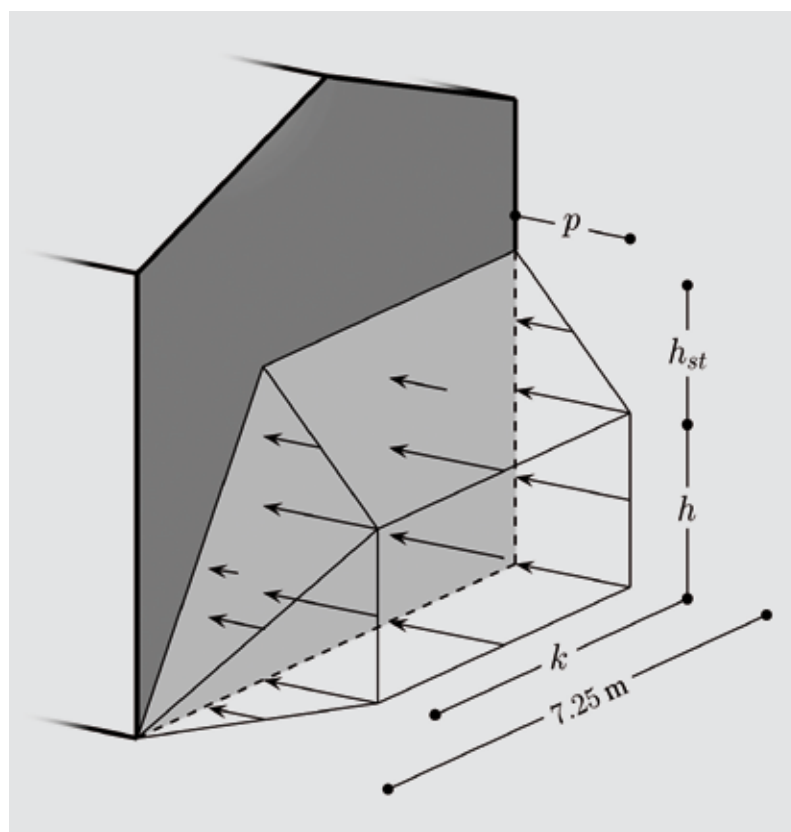
Il calcolo delle resistenze trae spunto dall'impiego di nuove tecnologie (quali

i fibrorinforzi) che garantiscono, da un lato, la resistenza strutturale e, dall'altro, il mantenimento dell'impianto architettonico tradizionale delle costruzioni poste in ambiente montano (De Biagi et al., 2012b).

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano le famiglie Chiara-viglio, Bovara, Rosai e Cella per la loro disponibilità e le preziose informazioni

forniteci durante lo svolgimento delle analisi e delle operazioni di rilievo e l'Ufficio Neve e Valanghe della Regione autonoma Valle d'Aosta.



	Danno	Risultati dell'analisi
Chalet n.1	Collasso parziale	Pressione di impatto compresa tra 60 e 65 kPa
Chalet n.2	Collasso parziale	Velocità del flusso pari a 22 m/s
Edificio n.3	Collasso totale	Pressione di impatto necessaria ad attivare il meccanismo di collasso pari a 32 kPa
Edificio n.4	Collasso totale	Pressione di impatto necessaria ad attivare il meccanismo di collasso inferiore a 5 kPa

© AINEVA

Fig. 10 - Modellazione dello Chalet n.1: distribuzione della pressione di impatto (De Biagi et al.).

Fig. 11 - Risultati dell'analisi strutturale. Si nota come le informazioni ricavate dai collassi parziali sono maggiori rispetto a quelle desunte dall'analisi di strutture totalmente collassate.

Bibliografia

- Augenti, N., Chiaia, B. (Eds.), 2011. Ingegneria Forense: metodologie, protocolli, casi di studio. Dario Flaccovio.
- European Avalanche Warning Services, 2012. Avalanche Danger Scale. Available at HYPERLINK "http://www.avalanches.org" www.avalanches.org.
- Bovet, E., Chiaia, B., De Biagi, V., Frigo, B., 2011. Pressure of snow avalanches against buildings. Applied Mechanics and Materials 82, 392–397.
- CEN (Ed.), 2004a. Eurocode 5 Design of timber structures, part 1-1. CEN.
- CEN (Ed.), 2004b. Eurocode 6 Design of masonry structures, part 1-1. CEN.
- CEN (Ed.), 2009. EN 338 - Structural timber - Strength classes. CEN.
- De Biagi, V., Chiaia, B., Frigo, B., 2012a. Vulnerability of buildings against avalanche hazard, in: Fukuhara, T., Takahashi, T. (Eds.), Snow Engineering VII: Proceedings of the Seventh International Conference on Snow Engineering, 6-8 June 2012, Fukui, Japan, pp. 53–68.
- De Biagi, V., Chiaia, B., Frigo, B., 2012b. Linee guida per la progettazione di edifici soggetti ad impatto valanghivo. Regione Autonoma Valle d'Aosta. (www.risknat-alcotra.org).
- De Biagi, V., Chiaia, B., Frigo, B. Structural back-analysis of avalanche impact on buildings. Cold Regions Science and Technology, in stampa.
- Fusinaz, H., 2010. Vulnerabilità delle costruzioni a rischio valanghe: applicazione ad un evento reale in Valle d'Aosta. Tesi di laurea specialistica in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio – Politecnico di Torino.
- Maggioni, M., Caimi, A., Freppaz, M., Godone, D., Berthea, A., Cordola, M., Pro-la, M., Bertoglio, V., Frigo, B., 2009. The avalanches of December 16th, 2008 at Ceresole Reale (Turin). Neve e Valanghe 63, 22–27.
- Margreth, S., Ammann, W., 2004. Hazard scenarios for avalanche actions on bridges. Annals of Glaciology 38, 89–96.
- Regione Autonoma Valle d'Aosta (RAVA) - Ufficio Neve e Valanghe (Ed.). Rendiconto nivometeorologico. Inverno 2008-2009. Regione Autonoma Valle d'Aosta
- Voellmy, A., 1955. Über die Zerstörungskraft von Lawinen (On the destruction force of avalanches). Schweizerische Bauzeitung 73, 159–162, 212–217, 246–249, 280–285.