

COMPARAZIONE tra gli **INDICI**, **d'INSTABILITÀ** **STRUTTURALE** (*Lemons*) ed i **PUNTEGGI** dei **TEST** di **STABILITÀ ECTeRB**

Igor Chiambretti
AINEVA, Trento
igor.chiambretti@aineva.it

Fabiano Monti
WSL, Istituto Neve e Valanghe SLF,
Davos, Svizzera

Mauro Valt
ARPAV-DRST, Servizio Neve e
Valanghe, Arabba (BL)

Quasi tutti i servizi di previsione valanghe possiedono una rete tradizionale di campi neve ove giornalmente o settimanalmente vengono eseguite misure o osservazioni sul manto nevoso (prove penetrometriche, analisi stratigrafiche, test di stabilità). La prova penetrometrica e l'analisi stratigrafica sono dati classificati a media entropia mentre i test di stabilità sono a bassa entropia e richiedono l'interpretazione di un previsore valanghe. Negli ultimi anni, sono stati sviluppati molti metodi per l'analisi dei profili e per una valutazione, più oggettiva, della stabilità del manto nevoso identificando i livelli critici, le loro caratteristiche e proprietà. Nel periodo tra il 2010 ed il 2013, diversi uffici regionali afferenti ad AINEVA hanno raccolto una banca dati di centinaia di profili del manto nevoso ciascuno accompagnato da test di stabilità (ECT e/o RB) eseguiti a fianco. Un campione di questa banca dati è stato analizzato utilizzando il metodo delle variabili critiche trovando correlazioni interessanti tra i livelli critici (indici d'instabilità strutturale o *lemons*, forma dei grani, spessore del livello e le sue proprietà) ed i risultati dei test di stabilità. Sono qui discussi i risultati preliminari di questo progetto di ricerca i quali mostrano come i valori più elevati degli indici d'instabilità strutturale e dei punteggi dei test di stabilità sono individuabili in livelli critici sviluppati con metamorfismi di gradiente medio o elevato. Correlazioni meno buone sono state individuate per i livelli critici composti da neve fresca (PP o DF) o da vari tipi di croste o interfacce lisce tra strati. Infine, l'intera banca dati è stata analizzata per comparare l'efficacia del test di stabilità ECT *versus* l'RB nell'individuare il principale livello critico e per trovare correlazioni tra i gradini di carico, le caratteristiche e profondità del piano di frattura, la qualità del piano di taglio e le caratteristiche del livello critico.



INTRODUZIONE

Le osservazioni nel manto nevoso consentono di delinearne la complessa struttura stratificata mano a mano che ogni nevicata si depono sotto forma di uno strato che si lega, in qualche maniera, con la precedente superficie del manto. I processi metamorfici, che si sviluppano durante la stagione invernale, cambiano nel tempo le caratteristiche di quegli strati spesso sviluppando nuovi strati e tipologie di grani. La nucleazione di un cedimento (crescita della cricca) entro il manto nevoso e la propagazione della frattura (con possibile distacco di una valanga) sono controllate da diversi parametri collegati alle proprietà meccaniche di ogni strato.

La nucleazione di un cedimento (crescita della cricca) avviene quando una sollecitazione meccanica (stress) supera, localmente, la resistenza del livello o dell'interfaccia tra strati più deboli. L'espansione di tale cricca (cedimento locale) lungo il livello o l'interfaccia tra strati sviluppa una frattura che può propagarsi, con meccanismi differenti, al resto del manto nevoso e che può evolvere in un cedimento catastrofico (valanga) quando la resistenza alla frattura viene superata. Secondo McCammon e Sharaf (2005), le osservazioni sul manto nevoso focalizzate sulla valutazione della stabilità dovrebbero registrare i seguenti parametri: struttura del manto nevoso (stratificazione), nucleazione della frattura (resistenza meccanica) e propagazione della frattura (tenacità). L'esecuzione di un profilo stratigrafico e degli associati test di stabilità (*rutschblock* – RB – Föhn, 1987 e del test della colonna estesa – ECT – Simenhois and Birkeland, 2006) consente questo tipo di osservazioni. I potenziali livelli critici sono identificati e descritti (posizione,

forma dei grani, dimensione, durezza della neve), il test di stabilità evidenzia il livello fragile (punteggio del test, tipologia della frattura o del distacco o tipo del piano di taglio – *sensu van Herwijnen e Jamieson, 2004*). Se tutte le osservazioni vengono eseguite correttamente, si possono ricavare gli indici d'instabilità strutturale basati sulle «threshold sum» come i *lemons* o le *yellow flags* (Jamieson e Schweizer, 2005; McCammon e Schweizer, 2002).

Schweizer, McCammon e Jamieson (2006) suggeriscono che le *threshold sum* (TSA – corrispondenti alla stratificazione dell'elemento staccato), i punteggi dei test di stabilità (corrispondenti alla nucleazione del cedimento) e la tipologia di distacco dei test di stabilità (corrispondente alla propagazione della frattura) sono tre variabili che possono essere utilizzate come predittori della stabilità di un pendio innevato.

Moner et alii (2008) hanno applicato il metodo *threshold sum approach* (TSA) alle tipologie di manto nevoso e di livelli critici più frequenti sui pendii dei Pirenei. Essi hanno considerato anche quali livelli instabili anche quelli formati da cristalli di precipitazione (PP e DF).

Monti (2008) e Monti et alii (2009) hanno applicato il TSA anche sulle Alpi italiane.

Monti et alii (2012) hanno proposto un approccio al TSA collegato alle tipologie di strato piuttosto che alle superfici di separazione tra strati, creando un nuovo metodo di rappresentazione grafica.

Monti e Schweizer (2013) hanno ulteriormente raffinato il TSA, trasformando ciascuna variabile in un indice adimensionale, standardizzato entro il singolo profilo del manto nevoso (*relative threshold sum approach* – RTA). Questo metodo consente, considerando le differenze relative ed i valori, di meglio identificare l'ubicazione dei potenziali livelli più instabili con minori errori legati alle misure ed alla loro soggettività.

DATI

Nel presente lavoro, abbiamo utilizzato due banche dati distinte, raccolte da diversi uffici regionali afferenti ad AINEVA, ciascuna composta da profili del manto nevoso accompagnati dall'esecuzione a fianco di test

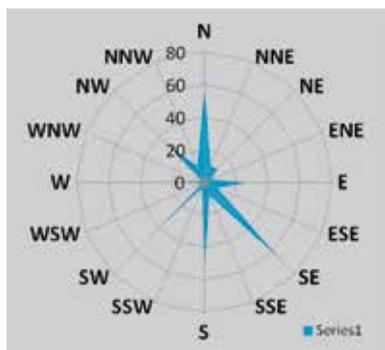
di stabilità (ECT e/o RB). I profili della prima banca dati sono stati eseguiti da numerosi osservatori nivologici durante le loro quotidiane attività per gli uffici previsionali della Regione Autonoma Valle d'Aosta, della Regione Lombardia, della Provincia Autonoma di Bolzano e Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. Sfortunatamente nella banca dati non sono disponibili dati circa l'esecuzione del profilo su pendii già testati dagli sciatori (assenza di valanghe provocate) o su pendii ove recentemente si è avuta attività valanghiva (spontanea o provocata). Complessivamente, questa prima banca dati conteneva 652 test di stabilità eseguiti vicino al profilo (ECT o RB). Tali dati sono stati raccolti nel periodo 2010-2013. Sfortunatamente, non tutti i profili presentavano complete informazioni sulla struttura ed alcuni mostravano scarso dettaglio e poca accuratezza nell'esecuzione.

La seconda banca dati conteneva 40 profili ciascuno caratterizzato da test di stabilità eseguiti vicino al profilo (ECT ed RB) e come per il primo caso, anche per questo gruppo non sono disponibili dati circa l'esecuzione del profilo su manto nevoso stabile od instabile. Su questa banca dati è stata eseguita un'analisi del TSA (secondo Moner et alii, 2008) e del RTA (seguendo Monti et alii, 2012).

METODI

Per le osservazioni del manto nevoso sono stati applicati i metodi standard (Cagnati, 2003; CAA, 2002; Greene, 2004). La quota alla quale sono stati eseguiti i profili varia tra 1550 m e 3490 m s.l.m. con una quota media di 2447 m s.l.m. per la prima banca dati e tra 1600 m e 2300 m s.l.m. con una quota media di 2200 m s.l.m. per la seconda. I profili sono stati effettuati sia su pendii in ombra (NO, NNO e N) sia soleggiati (E, ESE, SE, SSE e S) per la prima banca dati (Fig. 1), ove più frequentemente il manto nevoso può essere trovato meno stabile ed ove un gran numero degli incidenti in valanga avviene (Valt e Pivot, 2013) e su pendii in ombra (NO, NNO e N) per la seconda banca dati. I test di stabilità (RB e ECT) sono sempre stati eseguiti accanto al profilo del manto nevoso.

Fig. 1 - Distribuzione dell'esposizione dei versanti dei siti di esecuzione dei rilievi registrati nella prima banca dati.



Il test del *rutschblock* (RB – Föhn, 1987) viene realizzato su un blocco del manto nevoso isolato (2,0 m trasversali al pendio x 1,50 m lungo pendio) e sovraccaricato per cicli successivi da uno sciatore sino all'eventuale cedimento del livello fragile. I punteggi del test o cicli di carico (RB# da 1 a 7) sono registrati assieme al tipo di distacco: blocco intero – W; parte del blocco – P; margine del blocco – E (*sensu* Schweizer, 2002). Il test della colonna estesa (Extended Column Test ECT – Simenhois e Birkeland, 2006) viene realizzato su un blocco del manto nevoso isolato (90 cm trasversali al pendio x 30 cm lungo pendio) e sovraccaricato su un angolo, per cicli successivi, battendo su una pala da neve sino all'eventuale nucleazione della frattura e propagazione attraverso il resto della colonna. I punteggi del test o cicli di carico (ECT# da 1 a 31) sono registrati assieme al tipo di distacco: la frattura si propaga attraverso l'intera colonna durante l'isolamento del blocco – V; propagazione della frattura attraverso l'intera colonna al colpo # o #+1 – P; nucleazione della frattura osservata al colpo # ma mancata propagazione della frattura attraverso l'intera colonna al colpo # o #+1 – N; nessuna frattura osservata durante il test – X (*sensu* CAA, 2002). Per ciascun test di stabilità è stata registrata anche la tipologia del piano di taglio (Q1, Q2, Q3 – Johnson e Birkeland, 1998) ed il tipo di frattura: collasso improvviso – SC; planare improvviso – SP; compressione progressiva PC; planare resistente RP; frattura non planare B; assenza di frattura – X (Jamieson, 1999; van Herwijnen e Jamieson, 2002, 2004).

Per la prima banca dati, la prestazione dei predittori è stata valutata attraverso vari punteggi categorici statistici (Wilkis, 1995; Jamieson, Schweizer, Haegeli and Campbell, 2006). Poiché non è stato possibile valutare la prestazione di ciascun test di stabilità comparando il grado di stabilità del manto nevoso (previsto dal test) con la stabilità osservata (attività valanghiva o pendii testati con gli sci), abbiamo confrontato la prestazione relativa dei due test in base ai risultati comparabili. I punteggi dei test di stabilità (#) sono stati suddivisi in stabili ed instabili come segue (secondo Winkler e Schweizer,

2008, Schweizer e Jamieson, 2010): Successivamente, i test RB sono stati comparati con la propria tipologia di distacco ed i punteggi dei test (#) sono stati suddivisi in stabili ed instabili (Tab. 2a) ed anche i test ECT sono stati comparati con la propria tipologia di frattura ed i punteggi dei test (#) sono stati suddivisi in stabili ed instabili come segue (Tab. 2b):

Per la seconda banca dati, l'indice RTA basato sulla somma di sei variabili correlate per ciascun strato (dimensione dei grani, differenza di dimensione dei grani tra strati adiacenti, differenza in durezza tra strati adiacenti, durezza dello strato, forma dei grani, profondità dello strato fragile) derivate dal TSA. Il valore relativo per ciascuna variabile è il valore misurato per quello strato meno il valore medio lungo il profilo diviso la deviazione standard del valore. Questo valore relativo è quindi riscalato ad un indice compreso tra 0 ed 1 e gli strati potenzialmente instabili mostrano un valore di 1 o superiore ad una soglia (0,95, 0,90, etc.) che può essere fissata in base alle condizioni locali del manto nevoso. Diminuendo la soglia, aumentano il numero degli strati considerati instabili in un profilo.

RISULTATI

Risultati della prima banca dati

Per i punteggi ≤ 3 , i test RB mostrano una pressoché uguale suddivisione tra i tre tipi di distacco: blocco intero – W; parte del blocco – P; margine del blocco – E. Per i punteggi = 5 o 6, i test RB mostrano una leggera prevalenza del distacco del margine del blocco – E su parte del blocco – P, mentre pochissimi test sono registrati come distacco del blocco intero – W. Per i punteggi = 7, i test RB mostrano, com'è ovvio, solo assenza di frattura – X (Fig. 2).

Per i punteggi = 0, i test ECT mostrano pressoché solo la tipologia di distacco: la frattura si propaga attraverso l'intera colonna durante l'isolamento del blocco – V e solo pochi casi nucleazione della frattura ma mancata propagazione della frattura attraverso l'intera colonna – N. Per i punteggi = da 1 a 6, i test ECT mostrano una forte prevalenza della tipologia di distacco: propagazione della frattura attraverso

Tipo di test e punteggio (#)	Piuttosto Instabili	Piuttosto Stabili
RB#	≤ 3	> 4
ECT#	≤ 12	> 13

© AINEVA

Tipo di test e punteggio (#)	Tipo di distacco	
	Piuttosto Instabili	Piuttosto Stabili
RB#	W	P; E; X
ECT#	V; P	N; X

© AINEVA

Tipo di test e punteggio (#)	Caratteri della frattura	
	Piuttosto Instabili	Piuttosto Stabili
ECT#	SC; SP	PC; RP; B

© AINEVA

Tab. 1 - Probabilità d'individuazione (POD) per il Relative threshold sum approach.

Tab. 2a e 2b - Classificazione dei punteggi dei test (#) in stabili ed instabili in base alla tipologia di distacco o al carattere della frattura.

Fig. 2 - Punteggi dei test RB versus tipologia distacco.

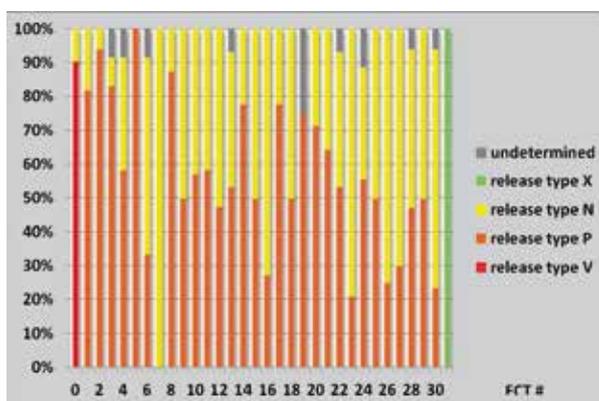
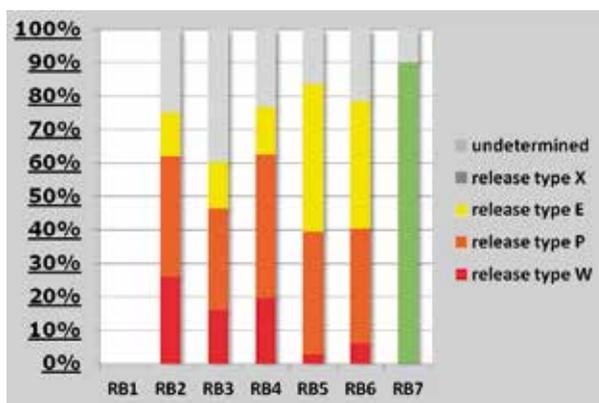
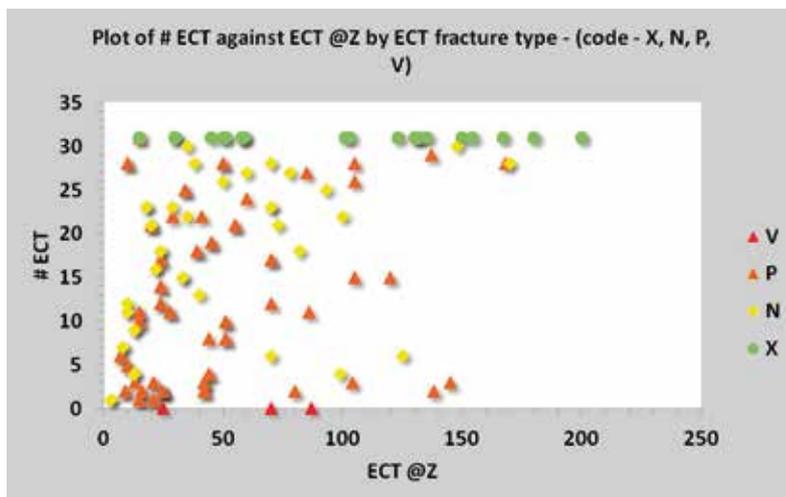


Fig. 3 - Punteggi dei test ECT versus tipologia distacco.

l'intera colonna al colpo # o #+1 – P; ed in minor numero del tipo la frattura si propaga attraverso l'intera colonna durante l'isolamento del blocco – V; e solo pochi casi di nucleazione della frattura osservata al colpo # ma mancata propagazione della frattura attraverso l'intera colonna al colpo # o #+1 – N. Per i punteggi = da 7 a 24, i test ECT mostrano due tipologia di distacco: propagazione della frattura attraverso l'intera colonna al colpo # o #+1 – P; ed il tipo nucleazione della frattura osservata al colpo n ma mancata propagazione della frattura attraverso l'intera colonna al colpo # o #+1 – N.

Fig. 4 - Punteggi dei test ECT versus profondità dello strato debole suddivisi per tipologia di frattura.



Tab. 3 - Tabella di contingenza comparante i risultati degli ECT con gli RB per test di stabilità adiacenti.

N=a+b+c+d=652		RB Rutschblock Test	
		Stabile	Instabile
ECT Extended Column Test	Stabile	a - Corretto stabile	b - Mancati (falsi stabili)
		422	79
	Instabile	c - Falsi allarmi (falsi instabili)	d - Centrati (corretti instabili)
		75	76
		64,72%	12,12%
		11,50%	11,66%

© AINEVA

Tab. 4 - Tabella di analisi di contingenza comparante i risultati degli ECT con gli RB per test di stabilità adiacenti.

	EQUATION	RB vs ECT	RB vs release type	ECT vs release type	Ect vs fracture type
Probability of correct detection	PCD	0,76	0,81	0,78	0,72
Unweighted average accuracy	UAA	0,67	0,68	0,71	0,50
Sensitivity	POD	0,49	0,52	0,52	0,50
False alarm rate	FAR	0,15	0,16	0,10	0,20
True skill score	TSS	0,34	0,36	0,42	0,30
Specificity	PON	0,85	0,84	0,90	0,80
Critical success index	CSI	0,73	0,79	0,74	0,82
Bias	B	1,01	0,91	1,12	0,98
Heidke and Kuipers skill score	KSS	0,75	0,81	0,62	0,72
Odds ratio	OR	5,63	5,44	9,62	4,10
False alarm ratio	FAR	0,16	0,07	0,20	0,18
Probability of false detection	POFD	0,51	0,48	0,48	0,50
Heicke skill score	HSS	0,34	0,28	0,46	0,30
Peirce skill score	PSS	0,34	0,36	0,42	0,30
Clayton skill score	CSS	0,35	0,24	0,51	0,29
Gilbert skill score	GSS	0,21	0,16	0,29	0,18
Odds ratio skill score	Q	0,70	0,69	0,80	0,61

© AINEVA

Per i punteggi = da 25 a 30, i test ECT mostrano la prevalenza della tipologia di distacco: nucleazione della frattura osservata al colpo n ma mancata propagazione della frattura attraverso l'intera colonna al colpo # o #+1 - N; ed in minor numero del tipo propagazione della frattura attraverso l'intera colonna al colpo # o #+1 - P. Per i

punteggi = 31, i test ECT mostrano, com'è ovvio, solo assenza di frattura - X (Fig. 3). Plottando i punteggi dei test ECT e la profondità dello strato fragile è possibile vedere che la frattura si propaga attraverso l'intera colonna durante l'isolamento del blocco (tipo di distacco V) se il livello fragile è a profondità < 50 cm dalla superficie del

manto nevoso. Di norma, la propagazione della frattura attraverso l'intera colonna allo stesso colpo (#) o al colpo successivo (#+1 - tipo di distacco P) se il livello fragile è a profondità < 70 cm dalla superficie del manto nevoso. La nucleazione della frattura osservata allo stesso colpo (#) ma la mancata propagazione della frattura attraverso l'intera colonna al colpo (#) o al successivo (#+1 - tipo di distacco N) non mostra nessun legame diretto con la profondità del livello fragile (Fig. 4).

Seguendo il metodo di Wilkis (1995) abbiamo valutato la prestazione relativa dei test di stabilità applicando le definizioni utilizzate nella tabella di contingenza (Tab. 3), e calcolata utilizzando le formule mostrate nella Tab. 4.

La probabilità d'individuazione corretta (PCD - anche conosciuta come precisione complessiva) per entrambe i test è abbastanza elevata (0,76) ma poiché la banca dati risulta sbilanciata (422 stabili / 76 instabili) la precisione media non ponderata (UAA = 0,67) fornisce una stima molto più imparziale.

La probabilità d'individuazione corretta (PCD) risulta leggermente migliore, considerando il tipo di distacco, per il test RB (0,81) rispetto al test ECT (0,78) ma la precisione media non ponderata (UAA) mostra un rapporto differente (RB=0,68; ECT=0,71). La probabilità d'individuazione corretta (PCD) per il test ECT, considerando il tipo di distacco, è di 0,72 e la precisione media non ponderata (UAA) è 0,50.

La probabilità di falso allarme (POFD) mostra un valore medio (0,51) per entrambe i test, leggermente più basso se si considera il tipo di distacco, 0,48 per entrambe i test RB ed ECT.

La sensibilità (probabilità d'individuazione POD) per entrambe i test è media (0,49) e risulta leggermente superiore alla media (0,52) per entrambe i tipi di test considerando il tipo di distacco, mentre la specificità è molto elevata (probabilità di evento nullo - PON - 0,85) per entrambe i tipi di test ed è ancora leggermente più elevata considerando il tipo di distacco (RB=0,84; ECT=0,90) o più elevata (0,80) considerando il tipo di frattura dell'ECT.

Risultati della seconda banca dati

La prima elaborazione svolta sulla seconda banca dati è stata la TSA per verificare se i livelli critici identificati fossero in correlazione con i test di stabilità eseguiti o no (ECT). I primi risultati non sono stati incoraggianti sia per i livelli fragili individuati ($POD=0,32$ su 38 livelli) sia per la propagazione della frattura ($POD=0,36$ su 88 strati).

La seconda elaborazione svolta sulla stessa banca dati è stata la RTA con risultati leggermente migliori: $POD(1)=0,42$; $POD(0,95)=0,47$; $POD(0,90)=0,48$; $POD(0,80)=0,69$ su 38 livelli fragili individuati e $POD(1)=0,46$; $POD(0,95)=0,50$; $POD(0,90)=0,50$; $POD(0,80)=0,75$ su 88 livelli fragili con propagazione della frattura (Fig. 5).

CONCLUSIONI

Nonostante la consistenza, il campione di popolazione analizzato con la prima banca dati non è sufficientemente ampio (nello spazio e nel tempo) per rappresentare adeguatamente la complessità delle aree dell'Italia.

L'analisi delle relazioni tra i due test di stabilità è complicata da un'elevata variabilità del manto nevoso (se comparato ad altre nazioni) e dalla necessità per alcuni tecnici di acquisire maggiore precisione nell'esecuzione dei test e nella registrazione dei dati. Comunque, questi primi dati suggeriscono che il test ECT potrebbe diventare, dopo un periodo di sperimentazione e di miglioramento delle tecniche di esecuzione dei rilevatori, un eccellente e veloce strumento di ausilio per i previsori valido quanto il test RB. L'analisi effettuata sulla seconda banca dati mostra migliori risultati dell'RTA rispetto alla TSA. L'RTA può essere un buon metodo per eliminare gli errori di misura legati alla soggettività del rilevatore o a leggere differenze nelle metodologie di esecuzione adottate dagli uffici regionali di previsione.

L'analisi della banca dati delle Alpi italiane, secondo Moner et alii (2008), ha migliorato le prestazioni di entrambe i metodi RTA e TSA. Questi risultati indicano come specifici TSA e RTA dovrebbero venir messi a punto per ogni area climatica (Alpi meridionali verso Alpi settentrionali, Pirenei, Urali, ecc.).

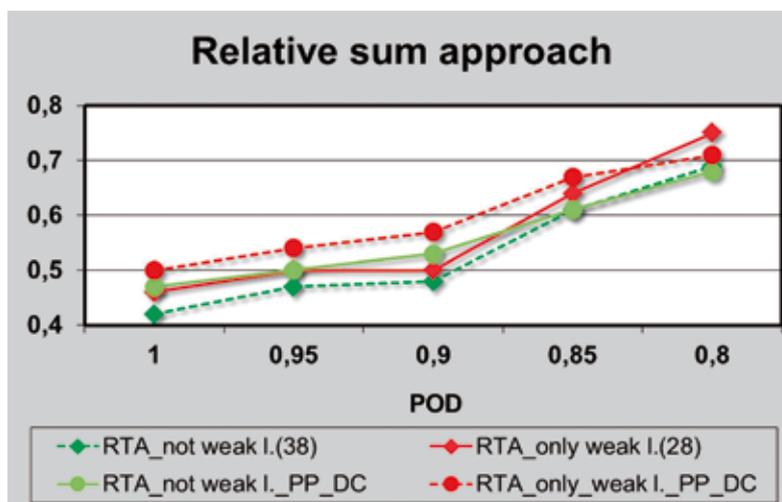


Fig. 5 - POD punteggi dei test ECT versus profondità dello strato debole suddivisi per tipologia di frattura.

Bibliografia

- CAA, 2002, Observation guidelines and recording standards for weather, snowpack and avalanches: Canadian Avalanche Association (CAA), Revelstoke BC, Canada, 78 pp.
- Cagnati, A., 2003, Strumenti di misura e metodi di osservazione nivometeorologici – manuale per i rilevatori dei Servizi di previsione valanghe: AINEVA, [Trento], Italy, 133 pp.
- Föhn, P.M.B., 1987, The Rutschblock as a practical tool for slope stability evaluation: Symposium at Davos 1986 - Avalanche Formation, Movement and Effects, IAHS Publ., 162, International Association of Hydrological Sciences, Wallingford, Oxfordshire, U.K.: 223-228.
- Greene, E. (Editor), 2004, Snow, weather and avalanches - Observational guidelines for avalanche programs in the United States: American Avalanche Association (AAA), Pagosa Springs CO, U.S.A., 136 pp.
- Jamieson, J.B., 1999, The compression test - after 25 years: The Avalanche Review, 18(1): 10-12.
- Jamieson, J.B. and Schweizer, J., 2005, Using a checklist to assess manual snow profiles: Avalanche News, 72: 57-61.
- Jamieson, J.B., Schweizer, J., Haegeli, P., and Campbell, A., 2006, Can stability tests help recreationists assess the local avalanche danger?: Proceedings ISSW 2006, International Snow Science Workshop, Telluride CO, U.S.A., 1-6 October 2006: pag. 1-10.
- Johnson, J.B., and Birkeland, K.W., 1998, Effectively using and interpreting stability tests: International Snow Science Workshop, Sunriver, OR, U.S.A., 5 pp.
- McCammon, I., and Sharaf, 2005, Integrating strength, energy, and structure into stability decisions: The Avalanche Review, 23(3), February, pag. 18-19.
- McCammon, I. and Schweizer, J., 2002, A field method for identifying structural weaknesses in the snowpack. In: J.R. Stevens (Editor), Proceedings ISSW 2002. International Snow Science Workshop, Penticton BC, Canada, 29 September-4 October 2002: 477-481.
- Monti, F., 2008, Modello SNOWPACK: verifica in area Dolomitica e applicazione al sistema di previsione valanghe: BSC Thesis, Università dell'Insubria, Como, 226 pp.
- Monti, F., Cagnati, A., Fierz, C., Lehning, M., Valt, M., Pozzi, A., 2009, Validation of the SNOWPACK model in the Dolomites. In: Schweizer, J., van Herwijnen, A. (Eds.), International Snow Science Workshop ISSW, Davos, Switzerland, 27th September-2nd October 2009. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL, pp. 313-317.
- Monti, F., Cagnati, A., Valt, M., Schweizer, J., 2012, A new method for visualizing snow stability profile: Cold Regions Science and Technology, Volume 78, pag. 64-72.
- Schweizer, J., 2002, The Rutschblock test – procedure and application in Switzerland: The Avalanche Review, 20(5): 1, pag. 14-15.
- Schweizer, J., and Jamieson, J.B., 2007, A threshold sum approach to stability evaluation of manual snow profiles: Cold Reg. Sci. Technol., 47(1-2), pag. 50-59.
- Schweizer, J. and Jamieson, J.B., 2010, Snowpack tests for assessing snow-slope instability: Annals of Glaciology, 51(54), pag. 187-194.
- Schweizer, J., McCammon, I., and Jamieson, J.B., 2006, Snow slope stability evaluation using concepts of fracture mechanics: Proceedings ISSW 2006, International Snow Science Workshop, Telluride CO, U.S.A., 1-6 October 2006: pag. 211-218.
- Schweizer, J., McCammon, I., and Jamieson, J.B., 2008, Snowpack observations and fracture concepts for skier-triggering of dry-snow slab avalanches: Cold Reg. Sci. Technol., 51(2-3), pag. 112-121.
- Simenhois, R. and Birkeland K.W., 2006, The extended column test - A field test for fracture initiation and propagation. In: Gleason J.A. (Editor), Proceedings ISSW 2006, International Snow Science Workshop, Telluride CO, U.S.A., 1-6 October 2006: pag. 79-85.
- Simenhois, R. and Birkeland K.W., 2007, An upgrade on the extended column test - New recording standards and additional data analyses: The Avalanche Review, 26(2).
- van Herwijnen, A. and Jamieson B., 2002, Interpreting fracture character in stability tests: International Snow Science Workshop, Penticton, B.C., Canada, 7 pp..
- van Herwijnen, A. and Jamieson B., 2004, More results on fracture characterization in compression tests: Avalanche News, 68, pag. 38-41.
- van Herwijnen, A. and Jamieson B., 2007, Fracture character in compression tests: Cold Reg. Sci. Technol. 47(1-2), pag. 60-68.
- Winkler, K., and Schweizer, J., 2008, Comparison of different snow stability tests including the extended column test: Proceedings ISSW 2008, International Snow Science Workshop, Whistler, B.C., Canada, 21-27 September 2008, pag. 393-400.
- Wilks, D.S., 1995, Statistical methods in the atmospheric sciences: an introduction. Vol. 59, International Geophysics, Academic Press, San Diego CA, U.S.A., 467 pp.