

**PROVE PENETROMETRICHE A BATTAGE, CON SONDA AVATECH SP2 E TEST DELLA MANO. COMPARAZIONE DEI PROFILI DI DUREZZA RICAVATI DA RILEVAMENTI IN SITO SULLE ALPI ITALIANE NELLA STAGIONE 2015-2016**

Author: Flavio Berbenni<sup>1</sup> - Igor Chiambretti<sup>2</sup> - Flavio Papetti<sup>3</sup> - Massimo Raviglione<sup>4</sup> Co-Autor: Michela Barberis<sup>5</sup>

Nel rilevamento nivologico, per poter determinare il profilo di durezza del manto nevoso, si eseguono secondo metodi codificati e standardizzati, prove penetrometriche e test della mano. Entrambe hanno lo scopo di determinare la durezza degli strati che compongono il manto nevoso.

La prova penetrometrica è realizzata, indipendentemente dall'analisi stratigrafica manuale, utilizzando la sonda penetrometrica svizzera o le nuove sonde penetrometriche digitali della Avatech (modello SP2), determinando il valore della durezza dei singoli strati a partire dalla resistenza alla penetrazione verticale che la sonda incontra durante le operazioni di infissione nel manto nevoso.

Il test della mano determina, invece, la durezza dei singoli strati durante l'analisi stratigrafica manuale, in funzione della resistenza alla penetrazione orizzontale della mano dell'operatore secondo una sequenza di inserimento codificata.

per i metodi soggettivi, è stato utilizzato il test della mano che prevede prove di penetrazione orizzontali.

**TEST DI PENETRAZIONE VERTICALE CON SONDA SVIZZERA A BATTAGE**

La sonda a penetrazione verticale a battage, deriva da strumentazioni per il rilevamento geotecnico nei terreni, adattata per l'esecuzione di prove penetrometriche nel manto nevoso (Haefeli, R. 1936).

La durezza della neve dello snowpack è valutata in funzione del bilancio del lavoro, realizzato da una massa battente lungo un'asta guida, con le forze sollecitanti legate all'azione di penetrazione della sonda e le forze resistenti connesse con la resistenza alla penetrazione sviluppata dallo snowpack (CAA 2008, 2014; Fierz et alii 2009; Green et alii, 2010).

In particolare:

$$R \cdot \Delta = (p \cdot h \cdot n) + p \cdot \Delta + q \cdot \Delta$$

$$R = \frac{(p \cdot h \cdot n)}{\Delta} + p + q$$

in cui:

- R → indice di durezza [N]
- p → peso della massa battente = 10 N
- h → altezza di caduta della massa battente [cm]
- n → numero di cadute della massa battente [-]
- Δ → penetrazione della sonda [cm]



Fig. 1: esempio test di penetrazione con sonda svizzera

**TEST DI PENETRAZIONE VERTICALE CON SONDA AUTOMATICA AVATECH SP2**

Il principio di funzionamento della sonda Avatech SP2, è del tutto analogo a quello della sonda a battage, ma in questo caso la penetrazione dell'asta non avviene per l'azione di una massa battente ma per l'azione diretta dell'operatore che la inserisce in pochi secondi nel manto. La durezza della neve lungo il profilo dello snowpack, è valutata mediante una serie di sensori che determinano la resistenza alla penetrazione con un sensore di pressione posto alla base della sonda e la profondità di penetrazione con dei sensori ottici posti sull'impugnatura della sonda e lungo l'asta.



Fig. 2: esempio di test con sonda automatica Avatech SP2

**TEST DI PENETRAZIONE ORIZZONTALE O TEST DELLA MANO**

Il test della mano, è un test di penetrazione orizzontale e consiste nell'inserire secondo una sequenza codificata la mano guantata dell'operatore, al fine di definire quale forza di compressione produce la rottura della neve nello strato omogeneo precedentemente identificato mediante un'analisi stratigrafica puntuale (CAA 2008, 2014; Fierz et alii 2009; Green et alii, 2010).



Fig. 3: esempio di test della mano

**ANALISI E CONFRONTO FRA I VARI TEST**

Il confronto fra i valori dell'indice di resistenza quantitativo e qualitativo ricavati dai test penetrometrici e dal test della mano, secondo lavori precedentemente pubblicati, può essere correlato al fine di elaborare una scala di reciproca corrispondenza (Fierz et alii 2009). In tab. 1, si riporta la corrispondenza fra le diverse classi di durezza ricavate dai metodi di test esposti.

Tab. 1: corrispondenza fra classi di resistenza (after Fierz et alii 2009)

Classe di resistenza	Battage [N]	Test Mano [-]
Molto bassa	0-50	F
Bassa	50-175	4F
Media	175-390	1F
Alta	390-715	P
Molto alta	715-1200	K
Ghiaccio	>1200	I

**TEST DI PENETRAZIONE VERTICALE**

Sonda svizzera e sonda Avatech SP2

Non è necessaria l'analisi stratigrafica

Dati OGGETTIVI

**TEST DI PENETRAZIONE ORIZZONTALE**

Test della mano

E' necessaria l'analisi stratigrafica

Dati SOGGETTIVI

La durezza della neve, è intesa generalmente come la capacità dello snowpack di resistere alle deformazioni locali prodotte da una sollecitazione di compressione agente in senso pressoché verticale.

La valutazione della durezza nell'ambito delle rilevazioni nivologiche riveste una particolare importanza poiché, essendo correlata alla resistenza, conoscere la durezza di uno strato, significa poter valutare quanto quello strato può sopportare una sollecitazione di compressione.

A tal proposito, definire l'andamento della durezza dello snowpack a partire dalla superficie sino al terreno o a una profondità significativa, vuol dire valutare la resistenza complessiva del manto e quindi capire se esistono strati a "bassa - molto bassa" o a "alta - molto alta" resistenza tali da poter diventare potenziali piani di slittamento.

La valutazione della durezza, è possibile ottenerla utilizzando metodi di misura oggettivi, che prevedono l'utilizzo di strumentazioni e quindi un minimo apporto soggettivo dell'operatore e metodi di misura soggettivi in cui la valutazione della durezza è legata principalmente all'esperienza e alla sensibilità dell'operatore (CAA 2008, 2014; Fierz et alii 2009; Green et alii, 2010). Per il caso specifico, relativamente ai metodi oggettivi, sono state utilizzate prove di penetrazione verticale realizzate con sonda svizzera a battage e con sonda Avatech SP2, mentre

<sup>1</sup> ARPA Lombardia - Centro Nivometeorologico di Bormio ITALY - f.berbenni@arpalombardia.it

<sup>2</sup> AINEVA - Trento ITALY - igor.chiambretti@aineva.it

<sup>3</sup> PAPPETTI Pianificazione, Sviluppo e Difesa del Territorio - Piazza Brembana ITALY - info@studiopapetti.com

<sup>4</sup> Rock and Snow Engineering - Tollegno ITALY - info@studioraviglione.com

<sup>5</sup> MountainS Working sas - Tollegno ITALY - info@mountainworking.com

**PROVE PENETROMETRICHE A BATTAGE, CON SONDA AVATECH SP2 E TEST DELLA MANO.  
COMPARAZIONE DEI PROFILI DI DUREZZA RICAVATI DA RILEVAMENTI IN SITO SULLE ALPI ITALIANE  
NELLA STAGIONE 2015-2016**

Author: Flavio Berbenni<sup>1</sup> - Igor Chiambretti<sup>2</sup> - Flavio Papetti<sup>3</sup> - Massimo Raviglione<sup>4</sup> Co-Autor: Michela Barberis<sup>5</sup>

Durante la stagione 2015-2016 sono state eseguite tre campagne di test finalizzate ad effettuare i test descritti, così da poter ottenere dati utili ad un confronto fra i vari sistemi di rilevamento della durezza. In tab. 2 la sintesi.

Tab. 2: tipologia delle analisi e dei test eseguiti

Analisi / Test	Descrizione
Stratigrafica	analisi cristallografica andamento delle temperature in Hs andamento delle densità in Hs
Battage	test verticale
Avatech SP2	andamento della durezza in Hs
Test della mano	test orizzontale

In tab. 3, la distinta delle campagne di test effettuate e nella fig. 4, il posizionamento geografico dei siti



Fig. 4: inquadramento geografico Alpi Pennine meridionali e Alpi Orobie (Avanet website)

Tab. 3: distinta analisi e test eseguiti

Sito	Data	Settore montuoso	Località
1	06/04/16	Alpi Pennine Meridionali	Oropa
2	06/04/16	Alpi Pennine Meridionali	Oropa
3	14/04/16	Alpi Orobie	Carona

Nelle figure seguenti, si riportano per ogni sito di analisi, la vista fotografica dello snowpack, il profilo stratigrafico ed i grafici relativi all'andamento della durezza in funzione della profondità del manto elaborati a partire dai test con sonda a battage, sonda SP2 e della mano.



Fig. 5: vista dello snowpack. Sito 1 Oropa 06/04/16 esposizione S/180°

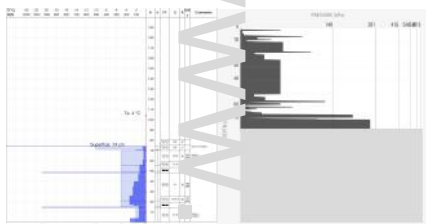


Fig. 6: analisi stratigrafica, test a battage e test della mano (output Yeti) e profilo di durezza con sonda SP2 (Avanet website). Sito 1



Fig. 7: vista dello snowpack. Sito 2 Oropa 06/04/16 esposizione W/270°



Fig. 8: analisi stratigrafica, test a battage e test della mano (output Yeti) e profilo di durezza con sonda SP2 (Avanet website). Sito 2



Fig. 9: vista dello snowpack. Sito 3 Carona 14/04/16 esposizione N/360°



Fig. 10: analisi stratigrafica, test a battage e test della mano (output Yeti) e profilo di durezza con sonda SP2 (Avanet website). Sito 3

Dai grafici relativi alla variazione della durezza in funzione della profondità del manto nevoso, è possibile esprimere le seguenti considerazioni:

- il test della mano con penetrazione orizzontale, essendo legato all'esperienza ed alla manualità dell'operatore, subisce la soggettività esecutiva, in particolare per la definizione del valore quantitativo dell'indice di durezza;
- il test penetrometrico verticale eseguito con la sonda a battage, fornisce un dato molto più oggettivo rispetto al test della mano, anche se, nel caso in cui all'interno dello snowpack ci siano strati sottili duri (ad es. gli strati di cristalli 8a rilevati nei test dei siti 1, 2 e 3) o strati sottili morbidi (ad es. strati di cristalli tipo 4a, 5a e 7a), con il battage può non essere possibile rilevarne la presenza. In questo caso diventa fondamentale la manualità e l'esperienza dell'operatore nell'esecuzione della prova;
- il test penetrometrico verticale eseguito con la sonda Avatech SP2, fornisce un dato in buona parte comparabile al test di penetrazione eseguito con la sonda a battage e per come è concepita la sensoristica di acquisizione, riesce ad apprezzare anche gli strati sottili duri (ad es. gli strati di cristalli 8a rilevati nei test dei siti 1, 2 e 3) o sottili morbidi analogamente a quanto già sperimentato da Pilloix and Hagenmuller 2015. La procedura, fornisce negli istanti successivi all'esecuzione del test il profilo di durezza dello snowpack. Tale possibilità, fornisce informazioni utili per poter valutare già sul campo, l'andamento della resistenza del manto a partire dalla superficie sino alla profondità massima di circa 1,50 m.

Conclusioni ... A fronte della sperimentazione in campo e delle analisi comparative effettuate sulle tre tipologie di test, è possibile affermare che:

- le procedure analizzate sono necessarie e indispensabili per valutare sia la durezza dei singoli strati che compongono lo snowpack sia la variazione della durezza in funzione della profondità;
- il diverso grado di approfondimento del dato ricavato dal test, deve essere valutato con ulteriori approfondimenti in sito, in modo da escludere il più possibile influenze locali e/o l'influenza dell'operatore;
- tutte le procedure illustrate, devono essere associate a valutazioni nivologiche di dettaglio (osservazioni dirette dell'ambiente, osservazioni cristallografiche, osservazioni stratigrafiche, ecc. ...) così da poter essere inserite come dato "utile complementare" per le valutazioni relative alla stabilità o all'instabilità dello snowpack in un dato punto;
- sicuramente i metodi di analisi più "veloci" da eseguire, come il test della mano e la prova penetrometrica con la sonda Avatech SP2, semplificano molto l'attività del nivologo in campo e migliorano il livello di conoscenza dello snowpack permettendo di meglio indagare la variabilità del dato, ma non possono essere l'unico mezzo sul quale basare una valutazione di stabilità o di instabilità dello snowpack.

<sup>1</sup> ARPA Lombardia - Centro Nivometeorologico di Bormio ITALY - f.berbenni@arpalombardia.it

<sup>2</sup> AINEVA - Trento ITALY - igor.chiambretti@aineva.it

<sup>3</sup> PAPPETTI Pianificazione, Sviluppo e Difesa del Territorio - Piazza Brembana ITALY - info@studiopapetti.com

<sup>4</sup> Rock and Snow Engineering - Tollegno ITALY - info@studioraviglione.com

<sup>5</sup> MountainS Working sas - Tollegno ITALY - info@mountainworking.com