

SVILUPPO DI METODI DI PROVA FULL SCALE PER LA CARATTERIZZAZIONE AD IMPATTO DI BARRIERE DI PROTEZIONE PER APPLICAZIONI SPORTIVE

N. Petrone^a

^a *Dipartimento Ingegneria Meccanica, Università di Padova,
Via Venezia 1 – 35131 Padova, e-mail: nicola.petrone@unipd.it*

Sommario

Sono presentati due metodi per la prova ad impatto su scala reale ed in condizioni controllate di barriere di protezione per applicazioni sportive, in particolare per gare e piste da sci. Un primo metodo prevede l'utilizzo di una torre a pendolo ed una massa di 70 kg strumentata con accelerometro triassiale impattante le barriere a velocità prossime ai 60 km/h. Si sono provati materassi ad aria e in schiuma, supportati posteriormente sia da pali che da una parete fissa. Il sistema di prova ha consentito di rilevare la velocità di impatto, la decelerazione durante l'impatto e di calcolare l'energia assorbita dalle barriere. Dalle prove su supporto fisso si sono anche ottenute le curve Forza-Spostamento delle barriere in scala reale e con realistiche velocità di deformazione. Una seconda metodologia di prova su pista ha consentito di provare a velocità anche maggiori sia materassi che reti tipo B, ottenendo utili informazioni per la scelta e la qualificazione dei dispositivi.

Abstract

Two methods for performing full scale impact tests under controlled conditions on safety barriers used in ski resorts and competitions were developed. The tower pendulum method allowed to impact a 70 kg wooden dummy instrumented with triaxial accelerometer on different types of barriers at speed slightly lower than 60 km/h. Different types of safety air and foam mattress were studied. Tests were performed both with the barriers placed against a wall fixed to the ground and with the typical poles and cables used in the snow. The proposed method enabled to successfully compare the absorbed kinetic energy of the foam mattresses with some air mattress as those used in competitions and can be proposed as a standard approach for the full scale evaluation of such safety devices. The snow slope method allowed to impact a 82 kg mass on different barriers at speed slightly higher than 70 km/h, giving confirmation to some results found on the tower tests.

Parole chiave: barriere di protezione, manichino, prova ad impatto

1. INTRODUZIONE

La sicurezza durante lo svolgimento di attività sportive quali quella sciistica deriva da una molteplicità di fattori che si potrebbero riconoscere come fattori precedenti allo svolgimento dell'attività (progetto della pista, messa in sicurezza, segnalazione, innevamento) e come fattori contemporanei (informazione, prevenzione, sorveglianza, manutenzione) [1].

In tutte le attività sciistiche, la velocità e la contemporanea presenza di altri utenti costituiscono i rischi principali per gli utenti e gli operatori: gli infortuni infatti derivano principalmente da cadute (causa principale di infortuni: 75%) e collisioni (seconda causa: 11%), mentre gli impatti con ostacoli (evento raro: 1.8%) sono poco frequenti, anche se spesso molto gravi [2].

La presenza di dispositivi di protezione quali reti (tipo A, B e C) o materassi (ad aria o a schiuma) costituisce un elemento fondamentale per la sicurezza da impatti con ostacoli fissi. A fronte della loro importanza, manca ad oggi un riferimento sia normativo che di regolamentazione per la caratterizzazione dinamica delle proprietà di assorbimento di tali barriere.

Allo scopo di contribuire allo sviluppo di materiali di protezione certificati, si sono condotte delle campagne di prova recenti volte alla caratterizzazione meccanica di barriere di concezione e costruzione differente in diverse condizioni di vincolo e d'impatto, sia su terra che su neve [3,4]. Il presente lavoro intende fornire una visione sintetica dell'approccio adottato, dei risultati ottenuti e delle possibilità di sviluppo della ricerca in tale direzione.

2. MATERIALI E METODI

Allo scopo di caratterizzare il comportamento dinamico ad impatto di barriere di protezione in scala reale, si sono sviluppate due metodologie di prova su materassi a schiuma e ad aria e su reti di tipo B. Nella prima metodologia si è installata una Torre a Pendolo di 12 m per l'esecuzione di prove d'impatto sulle protezioni mediante un manichino solido in legno strumentato con un accelerometro triassiale al centro di massa [3].

Nella seconda metodologia di prova si è realizzata una pista di lancio di un manichino simile ricavata su pista innevata di discesa al termine della quale erano state predisposte sia delle installazioni di reti di tipo B, sia dei materassi con pali di supporto posteriore, sia con una parete fissa [4].

2.1. Strumentazioni

Si sono predisposti due manichini solidi di forma cilindrica in legno di abete, ricoperti con fogli di PVC. Nel caso delle prove su torre a pendolo il manichino era di massa complessiva 70 kg e presentava appendici laterali semplificate (Figura 1.a-c); per le prove su neve il manichino era cilindrico ed aveva massa 82 kg (Figura 1.d-f).

Un accelerometro triassiale PCB con fondo scala 50g è stato posizionato al centro di massa del manichino e collegato tramite cavo ad un acquirente IMC Cronos con frequenza di campionamento 50 kHz per canale. Il sistema di riferimento adottato per il manichino prevedeva l'asse X in direzione del cavo di sospensione, Y in direzione laterale e Z in direzione dell'impatto (Figura 1.a). Dalla rilevazione delle tre accelerazioni AccX, AccY e AccZ si è potuta ottenere anche l'accelerazione risultante AccR..

Nell'intorno del campo di prova con torre a pendolo si sono posizionate tre telecamere commerciali con le quali si sono filmati gli impatti da destra, da sinistra-dietro e da sinistra-davanti. Tramite il sw di analisi Dartfish® si sono stimate le velocità di impatto del manichino con la telecamera di destra. Per le prove su neve si sono utilizzate quattro telecamere commerciali con le quali si sono filmati gli impatti da monte, da destra basso, da destra alto e da destra-dietro.

La torre di prova aveva un'altezza di 12.m ed era affiancata da una torre di sollevamento di uguale altezza. La lunghezza del pendolo dal punto di sospensione al centro di massa è risultata di 11,87 m.

Nelle prove in pista, la lunghezza del tratto di lancio era di 100 m circa, con un dislivello altimetrico di 60 m. Si sono realizzate due vie di lancio: una per le prove su reti B e materassi sostenuti da pali, l'altra per le prove su barriera fissa.

2.2. Materiali testati

Si sono testate sia barriere di protezione in schiuma o aria, sia reti di tipo B: le reti sono state testate solo nella pista di prova. I materassi ad aria sono stati denominati di tipo A, quelli in schiuma di tipo B o C a seconda dell'orientazione delle strutture interne. I materassi ad aria sono costituiti da tubi in PVC gonfiabili termosaldati: essi stanno diventando sempre più popolari per la loro leggerezza, anche se presentano svantaggi quali la sensibilità alle condizioni ambientali e il rischio di foratura dopo un impatto.

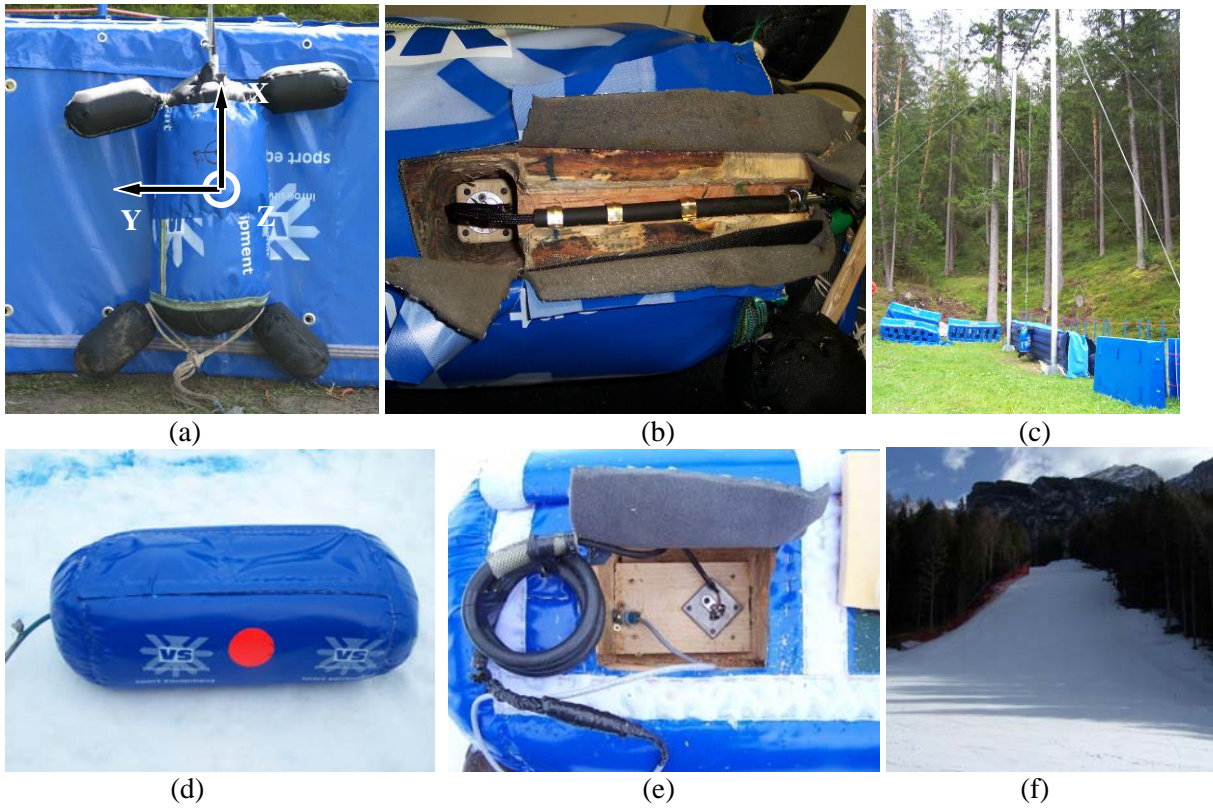


Figura 1: (a,b) manichino usato per le prove su torre a pendolo; (c) torre di prova, (d,e) manichino usato per prove in pista. (f) vista del campo di prova. Si notino in (a) le direzioni X,Y,Z di rilevazione delle accelerazioni del Centro di massa

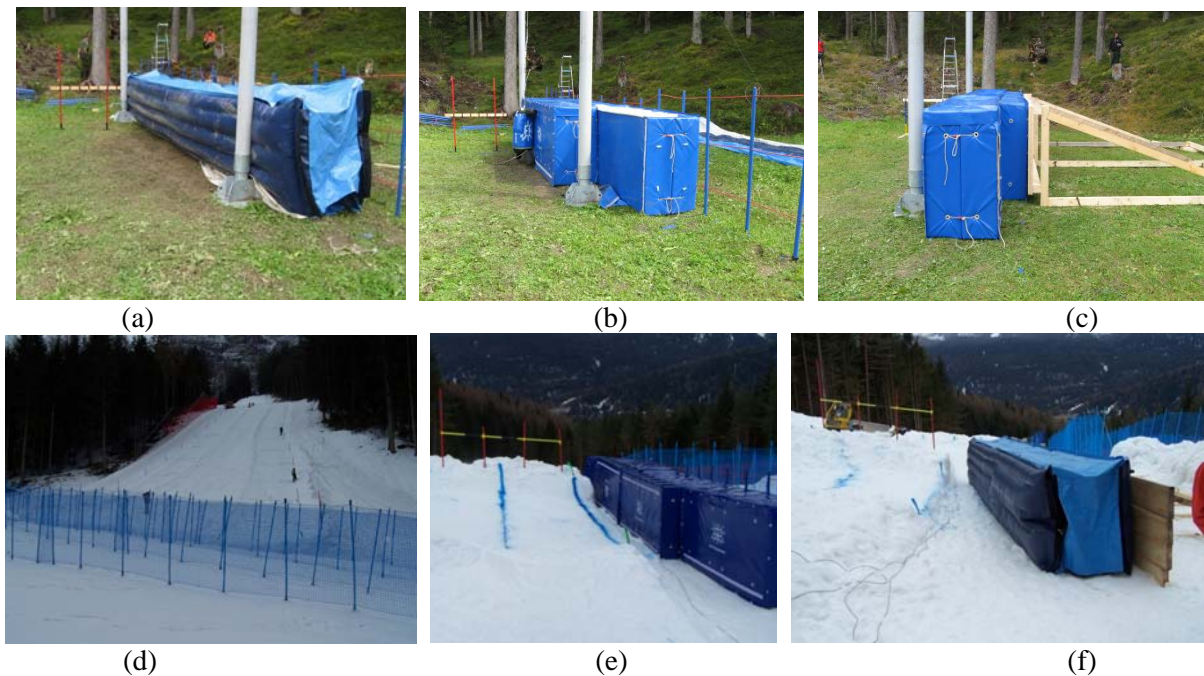


Figura 2: (a) Materasso ad aria tipo A con vincolo a pali; (b) materasso a schiuma tipo B_2 con pali; (c) materasso a schiuma tipo B_1,5 con vincolo rigido; (d) rete B predisposta nel campo prove su neve; (e) materasso a schiuma tipo B_1,5 con vincolo a pali su neve; (f) materasso ad aria con vincolo rigido su neve.

I materassi in schiuma sono sagomati con una faccia a onda quadra in moduli da 2.5x1.3x0.40 m rivestiti di PVC e collegati tra loro da cavi. Le strutture sono composte da due metà opposte che possono affacciare per costituire il modulo di assorbimento o sfalsare per essere compattate durante il trasporto ed il deposito. A seconda del numero di metà accoppiate si ottengono materassi tipo B da 0,5, 1 e 1,5 moduli. I materassi tipo C 1,5 sono una variante dei materassi tipo B 1,5 con orientazione opposta dei setti.

Tali barriere sono state testate sia nella configurazione di vincolo posteriore con parete fissa (ottenuta con una barriera in legno piantata al suolo), sia nella versione con pali di supporto in PVC collegati da cavi e piantati sul suolo o sulla neve ad un passo di 0,6 m. Quest'ultima condizione è la più rappresentativa delle normali condizioni di installazione: la presenza di un vincolo fisso invece è la condizione più conservativa, a simulare l'installazione della barriera a protezione di un muro o di una roccia.

2.3. Metodi di Prova

Tutte le prove sono state eseguite su barriere nuove, riposizionando eventualmente le barriere dopo ogni impatto e sostituendo gli eventuali pali di supporto posteriore rotti.

Nelle prove su pendolo, la massa veniva sollevata all'altezza di 12 m e lasciata cadere per rilascio del cavo di sollevamento sulla barriera. Il sistema di sollevamento e sospensione erano tali da assicurare sempre che la direzione di impatto fosse l'asse Z. A fronte di una velocità di impatto teorica di 55 km/h si sono ottenuti impatti a velocità anche leggermente diversa: l'accuratezza della velocità stimata con le telecamere e riportata in Tabella 1 è stata stimata pari al +/- 5%.

Nelle prove su pista, la massa veniva riportata a monte mediante un gatto delle nevi dopo ogni impatto e riposizionata sulla pista di lancio con l'asse longitudinale diretto verso il basso: per la forma sostanzialmente piana delle piste di lancio e la loro larghezza di 3 m, non è stato possibile mantenere l'orientazione costante della massa durante la discesa e l'impatto, per cui al moto traslatorio si sono aggiunti in alcuni casi anche moti di rotazione o rotolamento che hanno richiesto di valutare per le comparazioni la sola accelerazione risultante AccR.

I segnali acquisiti ai tre accelerometri sono stati filtrati a 1500 Hz in direzione Z e 900 Hz in X e Y per le prove su torre. Nel caso di prove con torre a pendolo su parete fissa si è integrato il segnale di accelerazione AccZ ottenendo l'andamento della velocità durante l'impatto, note dalla telecamera di destra la velocità di impatto v_i e quella di rimbalzo v_r , e l'andamento dello spostamento, noto lo spessore dei materassi. Si sono potute dunque stimare delle curve Forza-Spostamento che sono caratterizzazioni in scala reale delle barriere, con velocità realistiche di deformazione e con sagome realistiche di indentatore che sono utilizzabili per l'analisi comparativa dei materassi.

Dal punto di vista dell'energia cinetica in gioco, si è calcolata per ogni impatto l'energia cinetica di impatto E_{ki} , l'energia cinetica di rimbalzo E_{kr} e dalla loro differenza l'energia assorbita E_{abs} : il rapporto tra energia assorbita ed energia iniziale è stato assunto come indicatore di efficienza della barriera testata..

3. RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1. Risultati delle prove con torre a pendolo

Nelle prove con torre a pendolo si sono realizzate in totale 24 impatti: nelle prove 15 e 16 le decelerazioni sono state perse, perciò i risultati delle 22 prove significative sono raccolti in Tabella 1. Oltre alla velocità di impatto, sono riportati il valore massimo della decelerazione rilevata al primo picco (quello di triggering del fenomeno) e del secondo eventuale picco (quello di Bottom-Out), tipicamente per barriere su supporto posteriore fisso. Se i due valori sono coincidenti significa che il secondo picco è quello che ha fatto registrare il valore massimo. Nell'ultima colonna sono anche riportati i valori di decelerazione risultante, che sono risultati sempre molto simili a quelli in direzione Z.

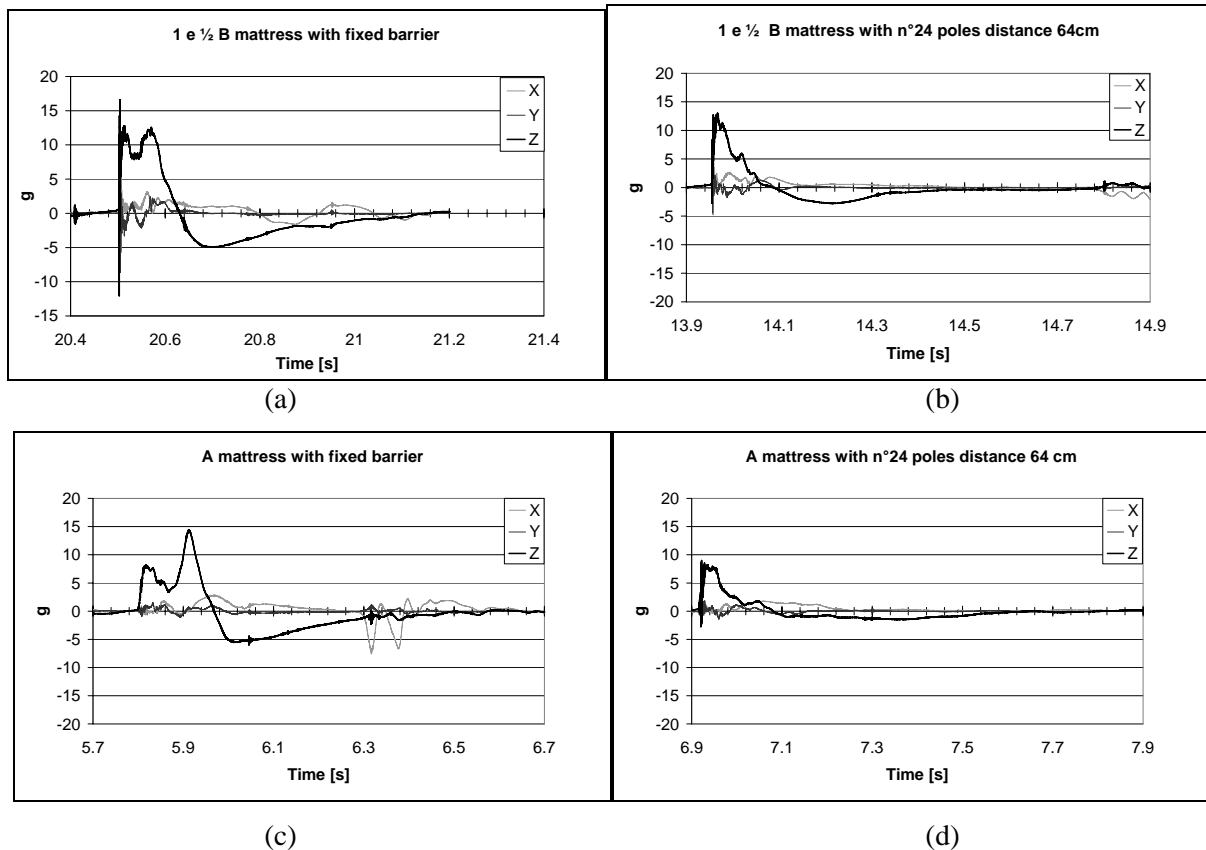


Figura 3. (a) Test Nr. 5: materasso a schiuma su supporto fisso; (b) Test Nr. 17: materasso a schiuma su pali; (c) Test Nr. 14: materasso ad aria su supporto fisso; (d) Test Nr. 21: materasso ad aria su pali.

Tabella 1. Risultati delle prove con torre a pendolo: accelerazioni rilevate.

Test Nr.	Tipo di Barriera	Vincolo Posteriore	Angolo di impatto	Velocità di Impatto [m/s]	Max AccZ [g]	AccZ al II° picco [g]	Max AccR [g]
1	A	Fisso	0°	15,50	12,54	12,54	12,81
2	A	Fisso	0°	15,30	11,99	11,99	12,16
3	A	Fisso	0°	15,10	11,53	11,53	11,65
4	B_1.5	Fisso	0°	15,00	15,24	12,74	15,30
5	B_1.5	Fisso	0°	15,60	16,61	12,66	16,75
6	B_1.5	Fisso	0°	14,90	13,31	12,80	14,63
7	B_1.5	Fisso	0°	15,50	16,54	10,20	17,18
8	B_1	Fisso	0°	15,30	20,57	14,43	21,56
9	B_1	Fisso	0°	15,10	19,47	19,47	19,53
10	B_2	Fisso	0°	15,70	14,99	9,15	16,46
11	B_2	Fisso	0°	14,90	12,52	11,64	12,56
12	C_1.5	Fisso	0°	15,30	13,86	13,86	13,86
13	C_1.5	Fisso	0°	14,30	14,76	14,76	14,92
14	A	Fisso	0°	14,50	14,44	14,44	14,45
17	B_1.5	Pali	0°	14,90	13,13	-----	14,24
18	B_1.5	Pali	0°	14,50	12,51	-----	12,56
19	B_1	Pali	0°	14,60	13,01	-----	13,12
20	B_1	Pali	0°	14,80	12,36	-----	12,42
21	A	Pali	0°	14,50	9,04	7,95	9,42
22	A	Pali	0°	15,00	9,38	8,71	9,45
23	A	Fisso	45°	14,00	7,61	-----	8,03
24	B_1.5	Fisso	45°	14,00	10,13	-----	10,16

Tabella 2. Risultati delle prove con torre a pendolo su supporto fisso: grandezze energetiche rilevate.

Test Nr.	Tipo di Barriera	Velocità di Impatto [m/s]	Velocità di Rimbalzo [m/s]	E_{k_i} [J]	E_{abs} [J]	E_{abs}/E_{k_i} [%]
1	A	15,50	7,10	8408	6644	79,0
2	A	15,30	6,90	8193	6526	79,7
3	A	15,10	6,70	7980	6409	80,3
4	B_1.5	15,00	3,60	7875	7421	94,2
5	B_1.5	15,60	3,90	8517	7985	93,8
6	B_1.5	14,90	4,00	7770	7210	92,8
7	B_1.5	15,50	4,20	8408	7791	92,7
8	B_1	15,30	3,70	8193	7714	94,2
9	B_1	15,10	3,70	7980	7501	94,0
10	B_2	15,70	3,80	8627	8121	94,1
11	B_2	14,90	3,50	7770	7341	94,5
12	C_1.5	15,30	3,30	8193	7812	95,3
13	C_1.5	14,30	4,70	7157	6384	89,2
14	A	14,50	6,20	7358	6013	81,7

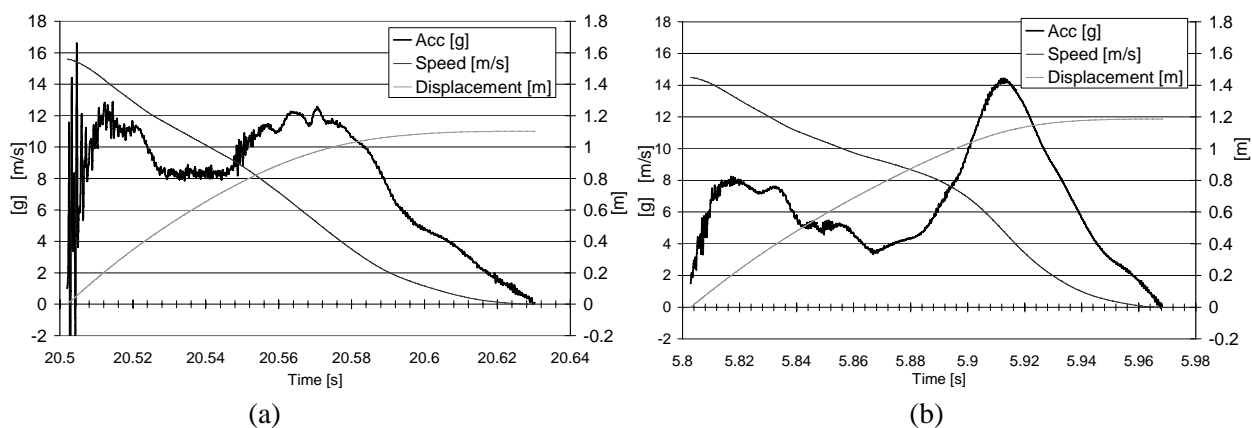


Figura 4. Integrazione del segnale di AccZ per ricostruire i segnali di velocità e spostamento durante l'impatto: (a) Test N° 5 su materasso in schiuma tipo B_1,5. (b) Test N° 14 su materasso ad aria.

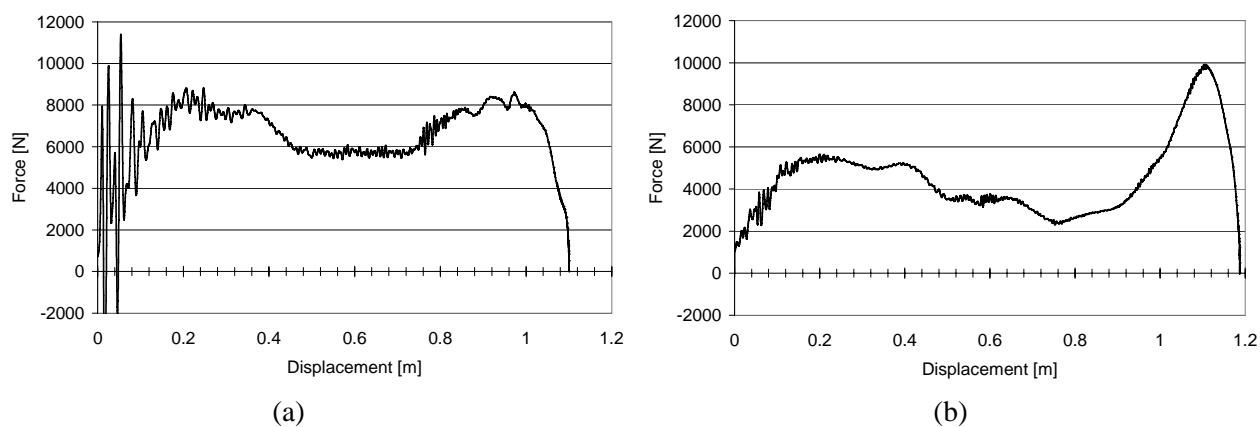


Figura 5. Curve Forza-Spostamento durante l'impatto: (a) Test N° 5 su materasso in schiuma tipo B_1,5. (b) Test N° 14 su materasso ad aria tipo A.

In Figura 3 sono riportati a titolo di esempio gli andamenti delle decelerazioni di impatto per due tipologie diverse di materasso (a schiuma ed ad aria) e due tipologie diverse di vincolo (con supporto posteriore fisso e con pali). Le differenze di comportamento delle due tipologie di materasso ad aria e a schiuma in presenza di un supporto posteriore fisso sono evidenti, con un maggiore fenomeno di triggering (breve ma intenso picco iniziale) per il materasso in schiuma ed un evidente fenomeno di bottom out nel caso di materasso ad aria (considerevole secondo picco non istantaneo).

In Tabella 2 sono raccolti i valori delle grandezze energetiche delle sole prove su supporto posteriore fisso: in particolare, l'ultima colonna riporta il rapporto tra l'energia assorbita e quella cinetica iniziale. Tale rapporto può considerarsi come un'indice di prestazione della barriera ai fini dell'assorbimento di energia cinetica. A fronte di un valore massimo di efficienza di assorbimento del 82% presentato dal materasso ad aria, i materassi in schiuma presentano valori massimi del 94%; il miglior valore è stato ottenuto con materassi a schiuma tipo C, che limita il triggering iniziale e conserva le capacità di impaccamento del materasso a schiuma.

L'andamento della curva di spostamento ottenuto per due diverse tipologie (schiuma e aria) su supporto fisso è presentato in Figura 4: è evidente come i valori di picco di decelerazione abbiano una durata molto maggiore nel caso del materasso ad aria in quanto ottenuti in fase di impiccamento finale (Bottom-out) del materasso sul supporto, mentre la curva di compattazione del materasso a schiuma presenti dei picchi elevati solo in fase di inizio del processo di compattazione (triggering) e mantenga fino alla fine un valore più costante di decelerazione.

I diagrammi Forza-Spostamento di Figura 5 sono da considerare dunque come delle prove di compressione in scala reale di barriere in materiale anche molto diverso con velocità di deformazione realistiche: tale risultato è proponibile come procedura di caratterizzazione standard delle barriere da utilizzare come base per la definizione di standard di prova e omologazione delle barriere di sicurezza.

3.2. Risultati delle prove su neve

Le prove su neve si sono rivelate molto dispendiose per la complessità ambientale, il numero di presone coinvolte e la minore ripetibilità dei dati ottenuti. Le condizioni di neve non ghiacciata e la conformazione piana data alle piste non hanno consentito di ottenere le velocità di impatto che ci si proponeva ed un controllo dell'orientazione del manichino durante l'impatto.

In due giorni di prove si sono realizzati 14 impatti, con massimo due ripetizioni per tipologia di barriera. I risultati delle prove in cui si è registrata la massima velocità di impatto per tipologia sono raccolte in Tabella 3.

Le velocità ottenute in pista sono state superiori a quelle con il pendolo, con un massimo nella prova 5 di 73 km/h. Anche dalle prove su pista emerge la tendenza delle barriere ad aria a presentare valori di decelerazione con picchi superiori. In particolare le due prove 4 e 5, sia pur con velocità di impatto leggermente simili, fanno registrare per il materasso ad aria un valore quasi del 50% superiore di picco di decelerazione.

Tabella 3. Risultati delle prove su neve: velocità e decelerazioni rilevate.

Test Nr.	Tipo di Barriera	Vincolo Posteriore	Velocità di Impatto [m/s]	Max AccR [g]
1	Rete B	Pali	18,05	13,6
2	Materasso B_1.5	Pali	16,30	15,7
3	Materasso Aria	Pali	17,58	20,0
4	Materasso B_1.5	Fisso	18,88	22,6
5	Materasso Aria	Fisso	20,27	35,0

3.3. Discussione

Il lavoro presenta due tipologie di prova complementari per la valutazione delle proprietà meccaniche di barriere di sicurezza sotto sollecitazioni dinamiche di impatto con una massa di tipo antropomorfo. Le velocità raggiunte, variabili tra i 50 ed i 73 km/h, per quanto non corrispondenti ai valori registrati durante incidenti in competizioni sciistiche, sono significative del tipico range di velocità in gioco

nelle aree sciistiche. Valori maggiori di velocità di prova sono facilmente ottenibili con l'innalzamento della torre di prova o con l'allungamento della pista di lancio in condizioni di neve ghiacciata.

La metodologia di prova con torre a pendolo ha permesso di ottenere risultati molto ripetibili di decelerazione durante l'impatto e condizioni controllate di orientamento della massa battente: tali caratteristiche la fanno preferire in una eventuale scelta per la definizione di una prova standard di caratterizzazione dei materiali da proporre in sede di federazioni sportive o normazione.

Inoltre, le prove con supporto posteriore fisso, nonostante la gravosità dell'impatto, hanno consentito di ottenere con buona ripetibilità delle informazioni quantitative sul comportamento strutturale delle diverse barriere, arrivando a quantificare le curve di compattazione Forza-Spostamento su scala reale, con velocità di deformazione realistiche e con un indentatore di forma e dimensioni realistiche.

In termini specifici, si ritiene che la scelta delle barriere di protezione sia da eseguire non a priori ma sulla base delle caratteristiche di topografia del tracciato, di velocità in gioco e di ostacolo da proteggere. Dal lavoro svolto sono emersi due criteri per una valutazione quantitativa: il primo riguarda i valori massimi del picco di decelerazione registrabile durante una prova di impatto, il secondo la capacità di assorbimento completo durante l'impatto dell'energia cinetica in gioco. La qualificazione delle barriere deve comprendere le due proprietà: sono da sviluppare ulteriormente degli indici di qualificazione che integrino le due caratteristiche in modo unificato.

In termini di procedure di prova, ulteriori attività sono in corso per lo sviluppo di manichini strumentati con caratteristiche più antropomorfe di quelli già presentati e con sistemi di rilevazione dei carichi su segmenti o articolazioni importanti per la sicurezza quali testa e ginocchio.

4. CONCLUSIONI

Il lavoro presentato due metodi per la prova ad impatto su scala reale ed in condizioni controllate di barriere di protezione per applicazioni sportive, in particolare per gare e piste da sci. Con il primo metodo, basato sull'utilizzo di una torre a pendolo con una massa di 70 kg strumentata con accelerometro triassiale, si sono impattate le barriere a velocità prossime ai 60 km/h. Si sono testati sia materassi ad aria che in schiuma, supportati posteriormente sia da pali che da una parete fissa. I materassi ad aria hanno presentato valori maggiori di decelerazione di picco su supporto fisso, nonché una minore efficienza di energia cinetica assorbita. Dalle prove su barriere con supporto fisso si sono ottenute delle curve Forza-Spostamento delle barriere in scala reale e con realistiche velocità di deformazione. Con un secondo metodo di prova su pista innevata si sono potuti riprodurre impatti a velocità anche maggiori sia su materassi che su reti tipo B che hanno confermato la tendenza dei materassi ad aria a fornire valori superiori di decelerazione di picco. La ricerca ha fornito ottenendo utili informazioni per la scelta e la qualificazione dei dispositivi e può considerarsi come una attività prenormativa a supporto della definizione di standard di prova condivisi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] FIS: Specifications for Competition Equipment and Commercial Markings, in: Alpine Ski Rules - Edition Northern Hemisphere (2006) - www.fis-ski.com
- [2] Centro Studi Sicurezza e Cultura della Montagna, Treviso, Italy, Annual Report 2007.
- [3] Petrone N., Pollazon C., Morandin T., Structural behaviour of ski safety barriers during impacts of an instrumented dummy, 7th ISEACConf., Biarritz, 2-6 June 2008, Vol. 2, pp.633-642, Springer, 2008.
- [4] Petrone N., Ceolin F. .Methods for full scale impact testing on ski safety barriers, Congress of International Society for Skiing Safety, Garmish-Partenkircher , 2009.