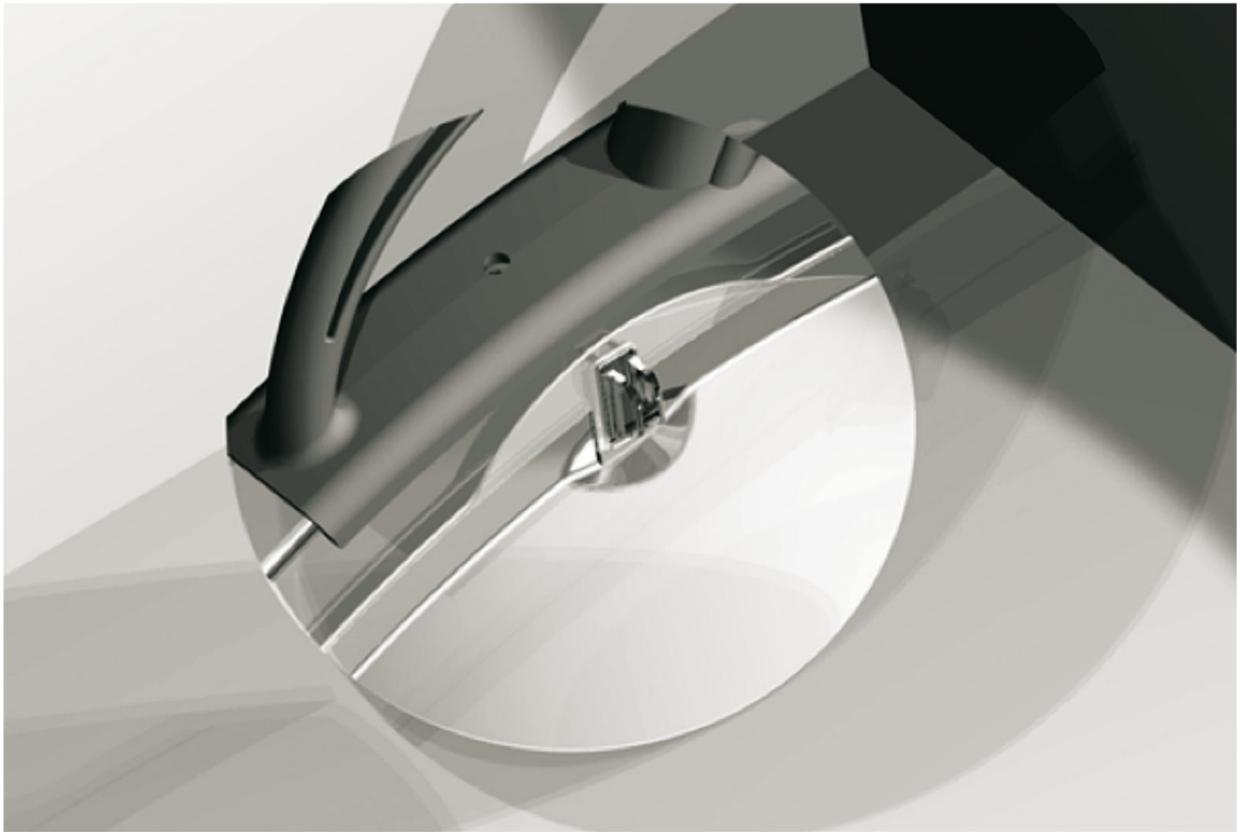


Efficacia delle protezioni rigide delle seghe circolari squadratrici



Pubblicazione realizzata da

INAIL

Dipartimento Innovazioni Tecnologiche
e Sicurezza degli Impianti, Prodotti ed Insediamenti Antropici (*DIT*)

Autori

Sara Anastasi
Fabio Pera

Contributi

ACIMALL
SCM Group S.p.A.

Collaborazioni

Carlo Ratti, *DIT*

Contributo editoriale

Francesca Ceruti, *DIT*

per informazioni

INAIL - Dipartimento Innovazioni Tecnologiche
e Sicurezza degli Impianti, Prodotti ed Insediamenti Antropici
Via Roberto Ferruzzi, 38/40 - 00143 Roma
dit@inail.it
www.inail.it

© 2015 INAIL
ISBN 978-88-7484-475-1

Gli autori hanno la piena responsabilità delle opinioni espresse nelle pubblicazioni, che non vanno intese come posizioni ufficiali dell'Inail.

Le pubblicazioni vengono distribuite gratuitamente e ne è quindi vietata la vendita nonché la riproduzione con qualsiasi mezzo. È consentita solo la citazione con l'indicazione della fonte.

Premessa

La norma europea sulle seghe circolari per legno squadratrici EN 1870, parte 1 dal 2007 fino al 2009 e parte 18 dal 2013, delinea modalità e caratteristiche dei test d'impatto che dovrebbero eseguirsi sulle protezioni adottate a difesa dalla proiezione dell'utensile o di parti di pezzi in lavorazione.

Tali test prevedono il ricorso ad un dispositivo con il quale simulare la proiezione di parti contro le barriere rigide attraverso una prova balistica con lo sparo di un proiettile contro la protezione stessa. La valutazione dell'entità del danno provocato dall'impatto del proiettile consente di stabilire l'adeguatezza o meno della protezione.

Obiettivo della sperimentazione è verificare l'efficacia del test balistico per la valutazione della resistenza all'urto delle protezioni rigide comunemente impiegate nelle seghe circolari squadratrici e conseguentemente la capacità di dette protezioni nel trattenere parti di utensili. Ulteriore obiettivo è quello di valutare una possibile alternativa, rappresentata da test gravitazionali, più economici e semplici da realizzare, attraverso un confronto con i risultati ottenuti con le prove balistiche.

I test sono stati effettuati con lo scopo di offrire indicazioni e spunti di riflessione per i normatori nel corso della revisione della parte 1 e poi della stesura della parte 18, anche nell'ottica di individuare possibili alternative per le prove, da eseguirsi per la verifica dell'idoneità delle protezioni previste su questa tipologia di macchine, cercando di sintetizzare le imprescindibili valutazioni di sicurezza con gli aspetti legati all'impatto economico.

Indice

1 Introduzione	6
2 Nomenclatura	8
3 Obiettivi	10
4 Attrezzatura di prova	11
4.1 Sistema di sparo ed acquisizione immagini	11
4.2 Sistema per prove di impatto gravitazionale	14
5 Considerazioni preliminari e raccolta documentale	17
5.1 Generalità	17
5.2 Individuazione di caratteristiche e velocità dei proiettili	17
5.2.1 <i>Massa e velocità</i>	17
5.2.2 <i>Proiettili speciali</i>	18
5.3 Caratteristiche delle barriere rigide	20
5.4 Caratterizzazione dei provini, punti d'impatto e condizioni di fissaggio	24
6 Procedura di prova	27
6.1 Prove balistiche	27
6.2 Prove gravitazionali	28
7 Risultati di prova	30
7.1 Prove balistiche	30
7.2 Prove gravitazionali	35
8 Conclusioni	42
9 Norme tecniche	42
APPENDICE 1	43
Esempi di lame per le seghe squadratrici	43
APPENDICE 2	49
Materiali per protezioni rigide	49
APPENDICE 3	54
Tipologie di protezioni rigide	54

1 Introduzione

L'esperienza maturata fino ad oggi ha dimostrato che nelle macchine utensili operatrici, oltre all'utensile, possono essere eiettate parti di lama (*tips*), che si liberano durante la lavorazione, in seguito al danneggiamento e/o rottura dell'inserito o del supporto stesso, creando per l'operatore un pericolo da cui il fabbricante, in fase di valutazione del rischio, non può prescindere.

Proprio per tenere conto di questo rischio di proiezione, le macchine da taglio (e.g. per legno, metallo, marmo, etc.) devono essere progettate prevedendo adeguate misure di sicurezza, tra cui barriere e dispositivi di interblocco o anti-intrusione, ma anche protezioni rigide o flessibili (secondo i casi) in grado di garantire l'incolumità dell'operatore durante lo svolgimento delle operazioni di taglio, operando, ad esempio, anche in termini di scelta dei materiali con cui realizzare tali protezioni e di affidabilità dei sistemi di fissaggio dei componenti per gli utensili complessi.

Nello specifico, il presente lavoro si concentra sulle protezioni rigide adottate nelle seghe circolari squadratrici per legno, trattate dalla norma EN 1870-1 fino al 2009 (pubblicata in Gazzetta Ufficiale per la prima volta nel 1999 e recepita dall'UNI nel 2002) e dalla EN 1870-18 dal 2013.

La norma, pur tenendo conto dell'avanzamento tecnologico, nel corso della sua stessa evoluzione dal 1999 al 2013, non definisce delle misure in grado di scongiurare la possibilità che piccole parti di utensile (e.g. taglienti riportati o frammenti di taglienti di utensili complessi) possano sfuggire ed essere proiettate alle normali velocità di taglio verso l'operatore. Si ricorda come l'edizione del 2007 della EN 1870-1, nell'ottica di un processo di continuo miglioramento e adeguamento allo stato dell'arte, introducesse diverse novità, in particolare in termini di prove tecnologiche da eseguirsi sui materiali dei ripari. Più in dettaglio, la EN 1870-1:2007 ha regolamentato dimensioni e forma di protezioni e lame da utilizzare ed ha introdotto una prova balistica per testare la resistenza dei materiali impiegati per le protezioni rigide. Il successivo emendamento, reso necessario dall'entrata in vigore della nuova direttiva macchine 2006/42/CE, ha prodotto l'edizione EN 1870-1:2007+A1:2009. Nell'Allegato G di quest'ultima sono stati confermati i dettagli per effettuare il test di impatto sulle protezioni, che prevedeva l'utilizzo di un dispositivo di sparo.

L'ultima revisione ha portato al documento al momento in vigore, la norma EN 1870-18:2013 "Sicurezza delle macchine per la lavorazione del legno – Seghe circolari – Parte 18 – Squadratrici", in cui restano, nella sostanza, invariati i requisiti contro l'eiezione di parti, mentre il test di impatto è riportato nell' Allegato F.

Attualmente l'evoluzione normativa si sta muovendo verso un unico documento, la ISO 19085-1, che tratta i requisiti comuni di tutte le macchine da legno per demandare a parti specifiche successive la trattazione di problemi riguardanti ciascuna tipologia di macchina.

In Allegato alla sopracitata norma, in continuità con quanto già riportato nella EN 1870-18, vengono descritti i test da eseguire sui ripari per minimizzare il rischio di eiezione di utensili o parti di pezzi in lavorazione, per stimarne la resistenza alla penetrazione o ad un loro spostamento rispetto alla posizione originaria.

Considerato il momento di revisione che l'impianto normativo per le macchine da legno sta subendo e quindi la necessità di evidenziare ora eventuali limiti che le precedenti norme hanno mostrato, il presente lavoro, oltre a quanto già indicato in premessa e precisato di seguito negli obiettivi, ha lo scopo ulteriore di dimostrare sperimentalmente che alcuni aspetti legati alle caratteristiche delle protezioni dal rischio di proiezione di parti meritano un ulteriore approfondimento, in particolare per quanto riguarda la caratterizzazione dei materiali impiegati, anche nell'ottica di offrire, da parte dell'Inail, un contributo alla nuova norma oggi in definizione.

La campagna sperimentale condotta si propone da un lato come un momento di validazione delle capacità delle protezioni rigide di trattenere parti di utensile alle normali velocità di taglio, dall'altro come necessaria premessa da cui trarre spunti critici per avviare un progetto volto ad individuare soluzioni tecnologicamente più avanzate da proporre a livello normativo.

Il documento si articola in due parti: una descrittiva ed una sperimentale. La prima parte costituisce una rappresentazione dello stato dell'arte, attraverso una panoramica delle soluzioni tecniche adottate sulle varie tipologie di macchine operatrici e dei materiali maggiormente diffusi nell'industria del settore. La seconda riporta, invece, i risultati di una sperimentazione mirata alla verifica ed all'approfondimento della metodologia per la valutazione della resistenza all'urto di protezioni rigide comunemente impiegate sulle seghe circolari squadratrici e previste nella norma attualmente in vigore. Tutte le attività di ricerca sono state condotte in collaborazione con l'Associazione Costruttori Italiani di Macchine ed Accessori per la Lavorazione del Legno (ACIMALL) e con SCM Group Spa. In particolare, su richiesta dell'Inail, l'ACIMALL ha contribuito in stretta sinergia a reperire tra i suoi iscritti sia le informazioni tecniche utilizzate per lo studio documentale, riguardanti utensili e protezioni impiegati sulle seghe circolari, sia i campioni di materiale per le prove sperimentali. Queste ultime sono state effettuate tutte nei laboratori di prove meccaniche del Centro Ricerche Inail di Monte Porzio Catone (RM).

Il documento è diretto a costruttori e progettisti, nonché a datori di lavoro delle PMI, professionisti ed operatori della sicurezza, che vi possono trovare indicazioni utili per la scelta e la valutazione di tali attrezzature di lavoro.

2 Nomenclatura

La norma EN 1870-18:2013 definisce una sega circolare squadratrice (Fig. 1) come:

“Macchina ad avanzamento manuale dotata di una lama circolare singola principale che resta in posizione fissa durante l’operazione di taglio e di una tavola mobile adiacente alla lama”

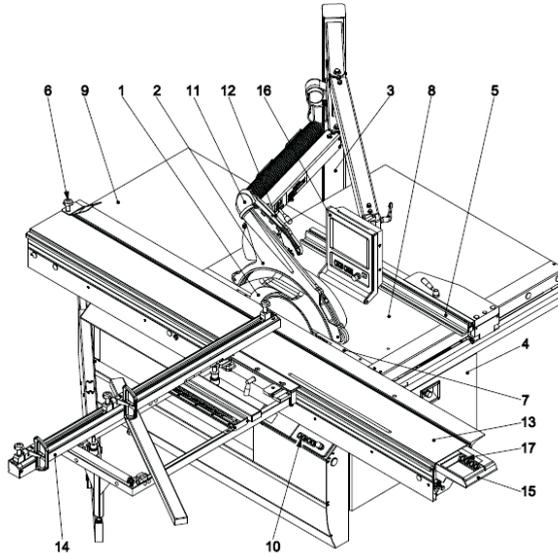


Fig. 1. Esempio di sega squadratrice con protezione sospesa

- 1 Coltello divisore
- 2 Riparo della lama
- 3 Supporto del riparo della lama
- 4 Riparo fisso sotto la tavola
- 5 Guida per il taglio longitudinale
- 6 Pattino di bloccaggio pezzo
- 7 Inserto della tavola
- 8 Tavola
- 9 Prolunga della tavola
- 10 Comandi
- 11 Supporto del riparo della lama (può includere il tubo per l'estrazione di trucioli e polvere)
- 12 Bacchetta spingi pezzo
- 13 Tavola mobile
- 14 Guida trasversale
- 15 Maniglia della tavola mobile
- 16 Pannello mobile di comando
- 17 Comandi aggiuntivi sulla tavola mobile

La lama principale è montata su un albero orizzontale sotto la tavola. La macchina può avere la possibilità di:

- a) avere un incisore;
- b) innalzare e abbassare la lama principale e l'incisore (se presente);
- c) inclinare la lama principale e l'incisore (se presente) per effettuare un taglio inclinato;
- d) eseguire scanalature con frese di larghezza non eccedente i 20 mm in un passaggio;
- e) avere un trascinatore amovibile;
- f) avere un'unità per il pre taglio di bordi post-formati (post forming);
- g) avere il carro mobile motorizzato;
- h) bloccare il pezzo in lavorazione.

Il coltello divisore è un dispositivo per minimizzare la possibilità e l'effetto dell'eiezione; realizzato in materiale alto resistente (acciaio), deve essere adeguato al tipo di lama in uso. Le protezioni rigide sono ripari delle lame che hanno anche la funzione di ridurre i rischi connessi all'eiezione di parti taglienti. Alcuni ripari sono montati sul coltello mentre altre protezioni sono montate separatamente. Tale scelta è legata al diametro massimo della lama. La Fig. 2 mostra un esempio di protezione rigida "sospesa". Tale classificazione sarà ripresa con maggiore dettaglio nel paragrafo 5 con riferimento alla scelta dei provini per i test. La resistenza all'impatto delle suddette protezioni rigide è oggetto della presente ricerca. Si deve tuttavia premettere che il dimensionamento delle protezioni rigide è dettato soprattutto da requisiti di stabilità strutturale da verificarsi con prove di carico fornite dalla norma (vedi prove di stabilità dei ripari della lama da effettuarsi senza lama montata e dettagliate nella norma).



Fig. 2. Esempio di sega squadratrice con protezione sospesa

3 Obiettivi

Lo scopo principale della ricerca, come già anticipato, consiste nella verifica dell'efficacia delle protezioni degli utensili installate sulle seghe circolari squadratrici¹: nello specifico, il lavoro si propone di studiare il comportamento di tali protezioni in funzione di forma, massa e velocità delle parti di utensile che possono staccarsi durante la lavorazione, cercando di individuare i principali fattori che influenzano la capacità di trattenimento delle parti eiettate.

L'individuazione di tali fattori è essenziale per la progettazione di protezioni efficaci secondo una scelta ottimale di:

- forma;
- processo costruttivo/assemblaggio;
- posizionamento;
- condizioni di vincolo/fissaggio;
- materiali più idonei,

operata di volta in volta in relazione alle caratteristiche ed alle esigenze di lavorazione della macchina. Da un punto di vista pratico, la presente ricerca vuole fornire raccomandazioni e spunti di riflessione critica per integrare e migliorare l'impianto normativo con particolare riferimento alla metodologia più adeguata per effettuare le prove meccaniche di verifica sulle protezioni in oggetto. In quest'ottica, oltre alle canoniche prove di sparo previste dalla norma, sono state condotte anche prove alternative per impatto gravitazionale, le quali hanno il pregio di essere significativamente più facili da realizzare, al fine di verificarne l'efficacia in termini di valutazione dell'adeguatezza delle protezioni da applicare.

¹ Trattasi di protezioni rigide realizzate in materiale plastico o metallico, come previsto nella norma EN 1870–18: 2013.

4 Attrezzatura di prova

4.1 Sistema di sparo ed acquisizione immagini

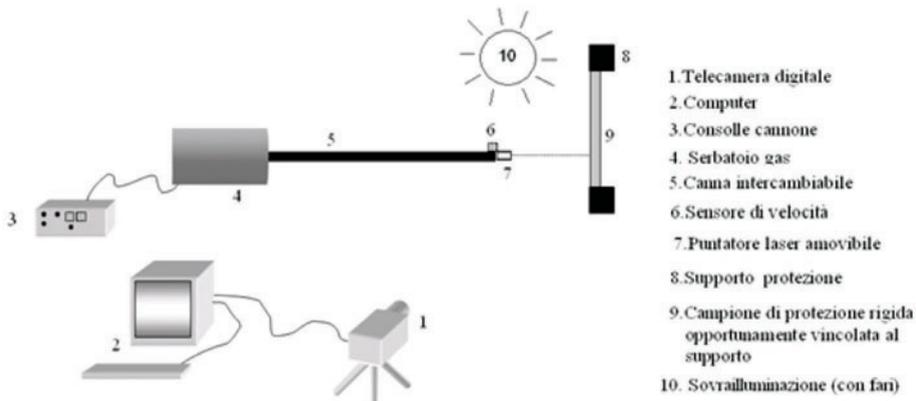


Fig. 3. Schema di principio del sistema di prova balistico

La strumentazione per le prove balistiche schematizzata in Fig. 3 consiste di un dispositivo di sparo del proiettile ad aria compressa (pressione max 12 bar) o a gas inerte in pressione, un sistema per la rilevazione delle immagini ad alta velocità asservito ad un personal computer ed un supporto per il posizionamento ed il fissaggio dei provini.

Il dispositivo di sparo è un prototipo denominato HPG 1200/R4 (Fig. 4a) costruito su indicazione dei tecnici dell'Inail e composto da:

- a) telaio di supporto;
- b) camera di prova per il fissaggio ed il posizionamento di una protezione "obiettivo" (target) e per eseguire i test in sicurezza;
- c) canne intercambiabili (calibri 6, 10, 12 e 20 mm);
- d) terminale della canna con fotodiodi T&R che permette di misurare la velocità in uscita dalla canna (fino a 120 m/s) e dispositivo di rimozione canna;
- e) meccanismo di caricamento;
- f) serbatoio di accumulo aria/gas compresso a monte della canna;
- g) pistone di comando della valvola di scarico;
- h) elettrovalvola di scarico;
- i) rilevatore di pressione;
- j) pannello comandi;
- k) compressore o altra sorgente di gas compresso (e.g. bombola di azoto N_2 ad alta pressione);
- l) puntatore laser per centrare il proiettile sul punto di impatto desiderato di un provino (Fig. 4b).



Fig. 4a. Dispositivo di sparo (HPG 1200/R4) e camera di prova

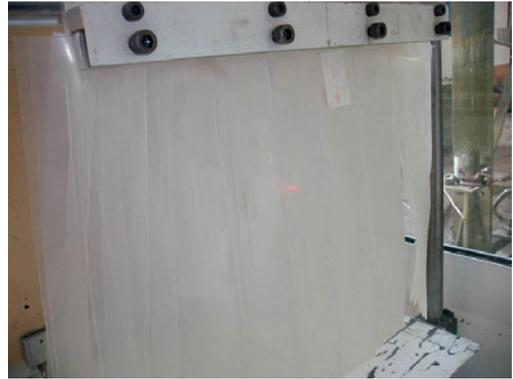


Fig. 4b. Sistema di puntamento laser per centrare la canna nel punto desiderato del provino (questa immagine di repertorio mostra una protezione realizzata con cortine flessibili sottoposta a prova).

Il supporto universale in dotazione per il montaggio dei campioni è registrabile lungo guide cilindriche, che ne consentono il bloccaggio in un punto arbitrario lungo l'asse di sparo, permettendo la regolazione della distanza tra il punto di uscita della canna ed il punto di impatto sul provino. È possibile utilizzare canne di vario calibro tra quelle in dotazione al laboratorio e già acquistate nel corso di sperimentazioni precedentemente condotte ed incentrate soprattutto sulla caratterizzazione delle protezioni flessibili (o bandelle) adottate nelle macchine foratrici e fresatrici a controllo numerico per la lavorazione del legno. La Tab.1 riassume i calibri delle canne disponibili al momento per le prove, mentre la Fig.5 mostra alcuni dei proiettili utilizzabili, il più piccolo dei quali corrisponde ad un calibro pari a 6 mm.

Calibri (mm)	Proiettili
6	Cilindro o sfera
8	Cilindro o sfera
10	Cilindro o sfera
12	Cilindro o sfera
20	Sfera

Tab. 1. Calibri delle canne e proiettili per il dispositivo di sparo (HPG 1200/R4) disponibili presso il laboratorio di prove meccaniche di Monte Porzio Catone



Fig. 5. Alcuni proiettili a punta conica e sferici

I proiettili compatibili con il sistema di sparo sono di varia natura e forma. A parte casi speciali, ogni canna è tipicamente in grado di sparare sia pallini sferici che cilindrici, questi ultimi con punte terminali di varia fattura. La stessa Tab.1 specifica il tipo di proiettile attualmente in dotazione per ogni calibro.

La Fig. 6 mostra, invece, due provini cilindrici comunemente usati con questo dispositivo aventi punte terminali differenti: (A) conica e (B) tronco-conica. La forma tronco-conica, in particolare, è stata utilizzata in passato per masse “elevate” (pari o superiori a 20 g) ed è stata proposta in sede normativa nell’ambito delle prove di validazione delle cortine flessibili delle protezioni sopra citate.

Il sistema per la rilevazione delle immagini ad alta velocità denominato Motionscope PCI - High speed digital imaging system è in grado di rilevare fino a 2000 fotogrammi al secondo, dispone di obiettivi da 3.6, 6 e 12 mm ed è collegato ad un PC che consente di variare la velocità di playback ed elaborare le immagini registrate. Oltre a questa speciale telecamera, l’acquisizione di immagini ad alta velocità richiede anche una sovrailluminazione ottenuta con speciali lampade, che rappresentano un componente fondamentale del “set-up” sperimentale riportato in fig. 3. Per queste prove sono stati utilizzati due potenti fari professionali ARRI 4000 equipaggiati con lampade da 4000W di potenza (del tipo usato per le riprese cinematografiche o nel settore fotovoltaico, ove si utilizzano come “sole artificiale”).

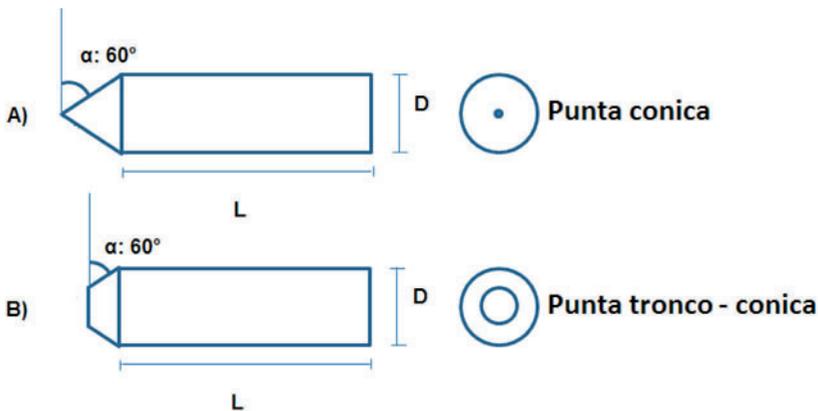


Fig. 6. Geometria dei proiettili cilindrici comunemente usati:
A) punta conica; B) punta tronco conica.

4.2 Sistema per prove di impatto gravitazionale

A titolo di confronto, l'indagine sperimentale ha preso in esame un secondo tipo di prove, quelle gravitazionali. Tale sistema, messo a punto per l'effettuazione di prove meccaniche notevolmente semplificate rispetto a quelle balistiche, prevede una guida verticale, all'interno della quale scorre un peso opportunamente sagomato che, partendo a comando dalla cima ed accelerando per la lunghezza utile della guida, finisce per colpire un provino posizionato sul fondo, sotto l'estremità bassa della guida. Uno schema è mostrato in Fig.7a. Il "design" del macchinario è molto snello e comprende i seguenti elementi, alcuni dei quali mostrati in Fig.7b-e:

- un tubo di alluminio a sezione quadrata;
- un dispositivo elettromagnetico di sgancio posizionato in cima al tubo e comandato da interruttore a filo per azionamento remoto da postazione;
- un supporto/basamento ad elementi reticolari munito di livelle a bolla per il sostegno ed allineamento verticale del tubo;
- il grave, vale a dire uno shuttle porta-peso filettato e munito di elementi cilindrici autolubrificanti in teflon;
- set di pesi realizzati con tondini forati di acciaio da 100 g ciascuno calettati sullo shuttle;
- punta filettata avvitata sull'estremità di impatto dello shuttle;
- un cavo collegato al grave, che ne consente sia il recupero dopo la caduta e l'impatto, sia il riposizionamento sulla *start line* prima del test;
- un sensore di velocità costituito da due coppie di fotocellule a distanza fissa per la misura indiretta della velocità d'impatto, posizionate come indicato in figura 7a;
- un oscilloscopio a doppio canale e relativo software per rilevare il segnale dei sensori ed effettuare il computo della velocità.

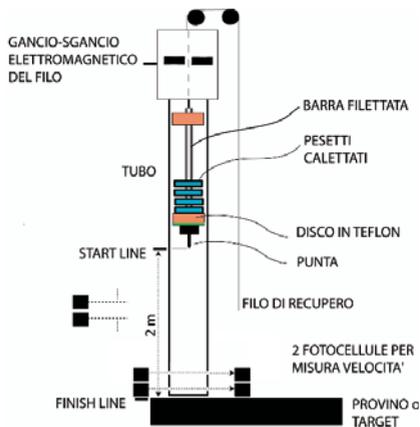


Fig. 7a. Sketch del sistema di prova gravimetrico

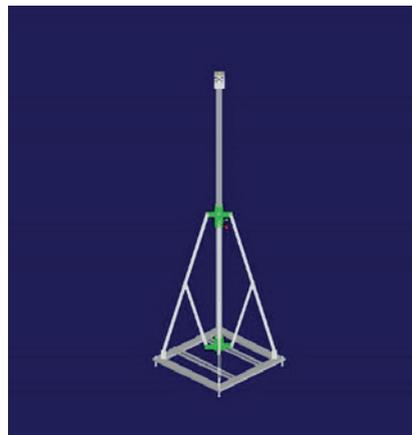


Fig. 7b. Disegno CAD del dispositivo progettato e realizzato in questa ricerca, che mostra il tubo verticale montato sul supporto/basamento reticolare

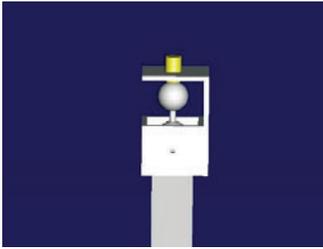


Fig. 7c. Dettaglio CAD del dispositivo di aggancio-sgancio dello shuttle posto in cima al tubo.



Fig. 7d. Shuttle utilizzato nelle prove, caricato con pesetti calettati lungo la barra filettata assieme a due dischi-vite di teflon (elementi bianchi); la figura mostra anche due punte che simulano quelle coniche delle prove balistiche con il cannone.

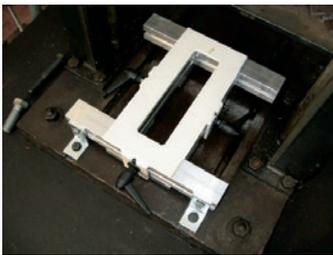


Fig. 7e: Portacampione (fissaggio non positivo)

Il tubo impiegato in queste prove è di alluminio, ha una sezione di 2 cm di lato ed è lungo complessivamente 2.5 m con un tratto utile per accelerare lo shuttle di 2 m; è opportunamente scanalato all'estremità inferiore per consentire il posizionamento dei sensori di velocità ed è forato lungo la lunghezza per limitare l'effetto di resistenza aerodinamica alla caduta del peso. Lo shuttle porta-peso (peso a vuoto di 120 g) consente di caricare un numero arbitrario di pesi (compreso tra 0 e circa 20-25 in questo prototipo) per effettuare prove a carico variabile. Lo shuttle consiste di una barra filettata su cui sono avvitate due cilindri autolubrificanti in teflon (elementi bianchi in Fig. 7d) del diametro comunque non superiore a 2 cm, lato della sezione del tubo. Gli elementi in teflon fungono anche da fermi per i pesi addizionali (non filettati ma semplicemente calettati) che hanno a loro volta un diametro inferiore a quello del teflon per evitare interferenza.

L'accoppiamento di una sezione circolare per il grave e di una quadrata per il tubo serve a ridurre l'attrito durante la caduta, garantendo un contatto (lineare e non superficiale) al più lungo 4 generatrici del cilindro, ed a conferire simmetria all'accoppiamento. Inoltre, i tubi a sezione quadrata sono disponibili commercialmente in un ampio range di sezioni e lunghezze, mentre lo shuttle ed i pesetti cilindrici sono facilmente producibili da barra per lavorazione meccanica al tornio ed al trapano. La caduta dello shuttle, una volta caricato in cima al tubo e fermato da una pinza elettromagnetica (Fig.7c) montata sull'estremità superiore del tubo, avviene a seguito di comando dell'operatore, che rimuove il freno elettromagnetico azionando un pulsante a filo. Questo sistema garantisce la ripetibilità dell'operazione, evitando di affidarla all'abilità dell'operatore. Dopo lo sgancio, il grave accelera lungo il tratto utile per andare a colpire il provino sottostante ad una velocità circa uguale a quella misurata dai sensori di velocità alcuni istanti prima. Tale misura (media) viene effettuata rilevando il tempo di passaggio tra due fotocellule laser poste ad una

distanza nota. Il sistema di acquisizione viene resettato prima di ogni test per migliorare l'accuratezza della misura, mentre il gruppo delle fotocellule intercetta la punta al momento dell'impatto e permette il calcolo della velocità media locale. La verticalità del tubo deve essere attentamente controllata effettuando le regolazioni del supporto necessarie per un corretto livellamento. Le punte utilizzate hanno lo stesso profilo di impatto delle punte coniche di cui alla Fig.5 e sono descritte nel paragrafo 5.2.2. I campioni sono montati (in modo analogo alle prove balistiche) nel porta-campione di Fig. 7e, con il quale si realizza un fissaggio "non positivo", come richiesto dalla norma (vedi par. 5.4). Per fissaggio non positivo si intende che il campione inserito all'interno del supporto non è rigidamente bloccato (ad esempio mediante compressione o viti), ma risulta lievemente lasco e ciò nonostante sufficientemente vincolato per la prova.

È evidente come il sistema sperimentale per le prove di gravità sia sostanzialmente più semplice ed economico di quello balistico descritto in precedenza e previsto dalla norma; con le prove condotte se ne vuole verificare il livello di efficacia ed equivalenza rispetto al sistema previsto dalla norma.

5 Considerazioni preliminari e raccolta documentale

5.1 Generalità

Per poter riprodurre il fenomeno dell'impatto sulle protezioni rigide di corpi assimilabili a frammenti di utensili, è stato necessario condurre un'analisi preliminare volta ad individuare la configurazione sperimentale compatibile con la strumentazione in dotazione ed adeguata agli obiettivi della presente ricerca, individuando parametri caratteristici e condizioni di utilizzo degli apparati di prova disponibili.

In particolare, questa fase preparatoria ha visto l'esame dei seguenti aspetti:

- la massa, la velocità, la forma e la tipologia dei corpi da proiettare per poter valutare l'impiego del sistema di sparo già in dotazione all'Inail: e.g. la sfera d'acciaio da 8 mm prevista nella prova proposta dalla norma (esaminata in seguito) o altri proiettili specificamente costruiti;
- le dimensioni opportune dei provini di barriera da testare, il loro sistema di fissaggio, le rigidità e le energie in gioco, in relazione alle caratteristiche ed alle attrezzature della camera di prova del sistema balistico in uso all'Inail;
- i punti d'impatto più significativi sulle barriere per massimizzare la quantità di informazioni sperimentali con il minimo numero di prove e per creare un supporto *ad hoc* per i campioni, per un agevole montaggio e posizionamento nella camera di sparo, in relazione agli spazi di manovra disponibili all'operatore ed alla posizione fissa della canna.

Questi aspetti sono stati valutati in relazione a componenti e materiali normalmente presenti sul mercato, sui quali è stata effettuata una breve raccolta documentale per identificare le tipologie rappresentative ed utili ai fini della ricerca.

5.2 Individuazione di caratteristiche e velocità dei proiettili

5.2.1 Massa e velocità

Massa e velocità del corpo/frammento eiettato determinano la quantità di energia cinetica che viene scaricata in toto o in parte sulla protezione e che, in un certo senso, rappresenta il potenziale di "danneggiamento". Le protezioni devono essere in grado di funzionare nelle condizioni più gravose ed in modo durevole e pertanto la scelta di velocità e massa dei proiettili usati nei test costituisce un elemento cruciale. Gli utensili che possono dare origine alla proiezione di piccole parti o di frammenti sono le lame che generalmente hanno taglienti riportati, connessi al corpo con fissaggio permanente (e.g. brasatura o saldatura).

A titolo illustrativo, si riporta nell'Allegato 1 una breve rassegna di lame comunemente utilizzate in questa tipologia di macchine. Questi frammenti hanno un peso dell'ordine di 1,3-2,0 g e dimensioni dell'ordine di 10 x 4,6 x 3,5 mm (vedi All.1). Si ritiene, pertanto, sufficiente prendere in considerazione proiettili di peso non superiore a 2.1 g. La velocità di impatto del proiettile sulle protezioni può essere assimilata alla velocità di taglio degli utensili, pari alla loro velocità di rotazione periferica, e generalmente prossima a 50 m/s, tranne alcuni rari casi in cui arriva a superare 70 m/s.

Sulla base delle considerazioni di cui sopra è stato deciso di adottare condizioni di sparo che permettessero di lanciare un proiettile di 2.1 g fino ad almeno 70 m/s, scelta risultata

pienamente compatibile con le caratteristiche dell'attrezzatura disponibile all'Inail e precedentemente descritta.

5.2.2. Proiettili speciali

Oltre alla massa ed alla velocità dei proiettili è necessario valutare quale sia la forma adeguata di questi ultimi. Per una data energia cinetica, infatti, la pericolosità ed il danno di un eventuale contatto tra proiettile e protezione è dipendente fortemente dalla geometria del contatto e dalla conseguente distribuzione di pressioni (ma anche di frizione e sforzi di taglio o compressione) sull'area di contatto. Quest'ultima è determinata da una serie di elementi, quali la geometria del proiettile, la geometria della protezione, la posizione relativa tra protezione e proiettile (e.g. l'angolo di impatto di un proiettile in moto traslatorio) e le condizioni di vincolo. A parità di tutto il resto, la forma del proiettile influenza enormemente il modo in cui l'energia cinetica è trasferita alla protezione sotto forma di energia di deformazione (elastica e non).

Questo aspetto è stato affrontato qui unicamente per via sperimentale, seppure esiste la possibilità di ricorrere a modelli matematici agli elementi finiti, piuttosto efficaci nei problemi di contatto tra solidi.

È interessante a questo punto notare come nel test di impatto balistico standard (EN 1870-18:2013, Allegato B) sia descritto un proiettile di riferimento, costituito da una sfera d'acciaio del diametro di 8 mm avente i seguenti requisiti meccanici:

1. resistenza a trazione $R_m = 560 \div 690$ MPa;
2. carico di snervamento $R_{y-0,2} \geq 330$ MPa;
3. allungamento a rottura $A \geq 20\%$;
4. durezza di 56 ± 4 HRC (scala Rockwell) per una penetrazione di almeno 0.5 mm.

Si tratta tipicamente di acciai da cuscinetto, facilmente ed economicamente reperibili sul mercato nel diametro richiesto. Assumendo una densità di 7875 kg/m^3 per l'acciaio, tale sferetta ha un peso stimato di circa 2,1 g, che rappresenta un valore circa uguale al massimo effettivamente stimato nel paragrafo precedente. Sebbene la sfera abbia il vantaggio di colpire sempre con la stessa angolazione il bersaglio, la forma arrotondata potrebbe rappresentare una semplificazione eccessiva rispetto alle condizioni reali (forma appuntita) di un eventuale frammento di utensile (e.g. un tagliente o un inserto). Sempre nell'ottica di approssimare in modo più possibile realistico le effettive condizioni di proiezioni di parti di utensili, a titolo di verifica, oltre ad utilizzare nelle prove le suddette sfere, si è deciso di progettare un proiettile che riproducesse più fedelmente il frammento di utensile rispetto ad un proiettile sferico. Inizialmente sono stati presi in considerazione alcuni proiettili con superficie d'impatto a forma di tagliente, ma la difficoltà di trovare forme ben guidate dalla canna del sistema di propulsione ed in grado di mantenere costante l'orientamento lungo la traiettoria, così da garantire la necessaria ripetitività della prova, hanno suggerito l'utilizzo di un consueto proiettile cilindrico opportunamente modificato. La Fig. 8 mostra il disegno definitivo del proiettile a punta conica parzialmente scavato in coda che è stato effettivamente realizzato, tenendo conto dei vincoli imposti dall'attrezzatura sperimentale in dotazione, in conformità con i seguenti requisiti:

1. massa e materiale uguali a quelli della sfera d'acciaio;
2. forma cilindrica con punta conica verso il foro di uscita;
3. diametro di 6 mm.

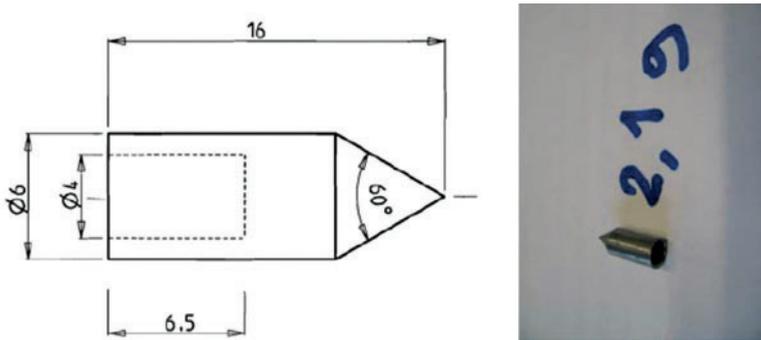
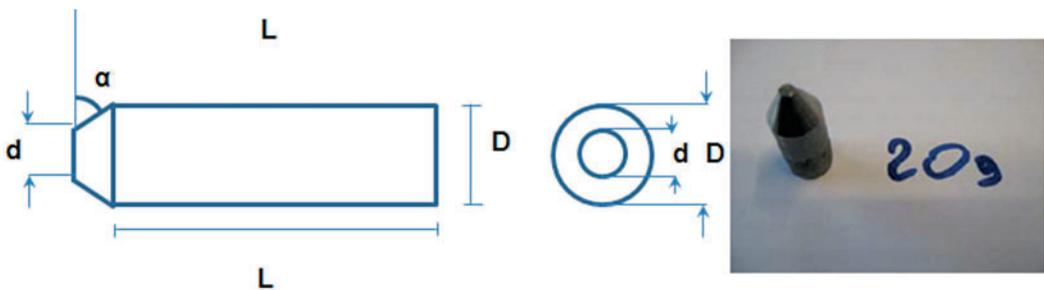


Fig. 8. Proiettile cilindrico calibro 6 mm a punta conica costruito in acciaio e con massa equivalente a quella della sfera di riferimento da 8 mm di diametro

Come detto, la forma cilindrica consente al proiettile di essere sparato alla stregua di quello sferico con una delle normali canne da sparo in dotazione all'Inail, ma a differenza della sfera (la cui massa è definita e non modificabile per un determinato calibro della canna), è possibile modulare la massa agendo sui parametri geometrici (e.g. lunghezza del cilindro). Tuttavia, per ragioni di stabilità balistica è necessario rispettare un rapporto minimo di forma di circa 1:2 tra diametro e lunghezza. Un proiettile calibro 8 mm di questa forma, ma totalmente pieno, avrebbe avuto un peso di oltre 5 g, motivo per il quale è stato necessario optare per un diametro inferiore, i.e. 6 mm, corrispondente alla più "piccola" canna di sparo disponibile, e ricorrere ad un opportuno alleggerimento, praticando un foro di 4 mm di diametro e 6,5 mm di profondità sulla coda del proiettile per raggiungere i 2,1 g della sfera di riferimento.

Oltre a questi due proiettili, si è deciso di utilizzare anche un proiettile da 20 g per simulare una situazione di carico limite fortemente peggiorativa. La Fig. 9 mostra la geometria di tale proiettile avente calibro 12 mm e forma cilindrica con punta tronco-conica. Tale forma assicura una maggiore durezza rispetto a quella conica, grazie al mantenimento della geometria anche dopo molti urti, e dunque la possibilità di essere riutilizzato.



$$D = 12 \text{ mm} \quad d = 3 \text{ mm} \quad \alpha = 60^\circ$$

Fig. 9. Proiettile cilindrico calibro 12 mm a punta tronco-conica costruito in acciaio e con massa di 20 g

Le stesse geometrie sono state adottate per costruire le punte per le prove gravimetriche, al fine di effettuare un confronto tra le due metodologie. Evidentemente, in quel caso il peso del grave è sostanzialmente rappresentato da quello complessivo dello shuttle.

5.3 Caratteristiche delle barriere rigide

Facendo seguito alle definizioni già introdotte in precedenza nel paragrafo 2 Nomenclatura, si esaminano ora, con maggiore dettaglio, le barriere rigide attualmente in uso in termini di materiali, componenti e geometria, per meglio caratterizzarli ed identificare le appropriate condizioni di prova. Sebbene il panorama dei dispositivi sia ampio, per una razionalizzazione è possibile classificarli macroscopicamente secondo vari criteri. Dal punto di vista dei materiali impiegati, secondo la norma, le protezioni possono essere realizzate sia in materiali polimerici (policarbonato, nylon) che metallici (alluminio). A titolo di esempio, in All.2 sono riportati i *data-sheets* con le proprietà meccaniche di alcuni materiali usati da taluni produttori nazionali. Nelle prove condotte sono, pertanto, utilizzati sia il policarbonato che l'alluminio. Le barriere in questione, inoltre, possono generalmente distinguersi anche in base alla modalità di fissaggio sulla macchina. Tipicamente si distinguono due tipologie:

1. protezioni attaccate al coltello divisore;
2. protezioni sospese.

Le protezioni montate sul coltello divisore si utilizzano con seghe di diametro ≤ 315 mm. Esempi di queste barriere, ottenute per pressofusione, sono mostrati in Fig.11. Dalla foto sono visibili anche l'attacco del condotto di aspirazione delle polveri, realizzato di pezzo, e la maniglia per il sollevamento manuale della protezione, mentre non è mostrata la lama. La protezione, preregolata manualmente dall'operatore in funzione dell'altezza del pannello o della tavola da tagliare, è libera di ruotare intorno al perno d'attacco sul coltello per consentire l'ingresso del pezzo in lavorazione.

L'angolo di attacco mostrato in Fig. 10 ha lo scopo di evitare il bloccaggio del pezzo in lavorazione.



Fig. 10. Esempi di protezioni con attacco sul coltello fatte di policarbonato colorato in arancione: protezione montata (alto) e protezioni per seghe di diverso diametro (basso).

Per quanto concerne le protezioni sospese, esse sono generalmente supportate dal condotto di aspirazione delle polveri che in questa configurazione assume una valenza anche strutturale.

Un esempio di questa soluzione costruttiva è mostrato nelle Figg. 2 e 11.



Fig. 11. Esempio di protezione sospesa

Entrambe le figure evidenziano un diverso dispositivo di ingaggio tra la protezione ed il legno.

A differenza del dispositivo fissato al coltello divisore, queste protezioni non ruotano attorno ad un perno, ma sono regolabili in altezza traslando parallelamente a se stesse per mano dell'operatore.

Questo tipo di protezione, a differenza di quelle da coltello, non è monoblocco, ma è composta da elementi smontabili e scambiabili per realizzare diverse configurazioni.

La Fig. 12 mostra in dettaglio due elementi costituenti una protezione sospesa: cuffia e maniglia, oltre ad un particolare del sistema di aggancio. Come si vede nella figura, la cuffia ha solo una fiancata realizzata di pezzo, mentre l'altra (solitamente quella dal lato opposto all'operatore e prospiciente il condotto di aspirazione) è removibile e scambiabile.



Fig. 12. Dettagli della protezione di Fig. 11: cuffia (in alto-sinistra), maniglia (in alto-destra) ed particolare dell'aggancio cuffia-maniglia.

La fiancata removibile, infatti, è comunemente disponibile in due versioni, una piana, per lavorazioni con lama dritta, ed una bombata per consentire inclinazioni della lama fuori dal piano verticale ovvero il *grooving* con frese aventi spessore minore od uguale a 20 mm. Queste due varianti sono mostrate per esempio in Fig.13: la cuffia della sega squadratrice

(in alto) può montare indifferentemente sia la fiancata piana (in basso-sinistra) sia quella bombata (in basso-destra).

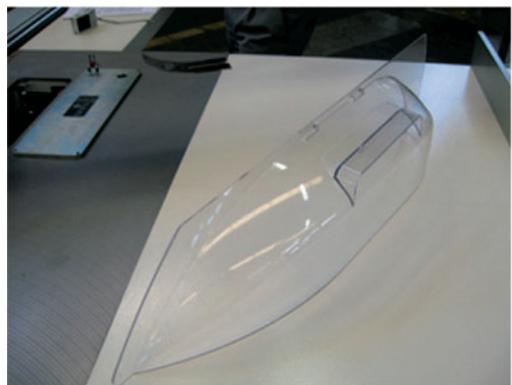
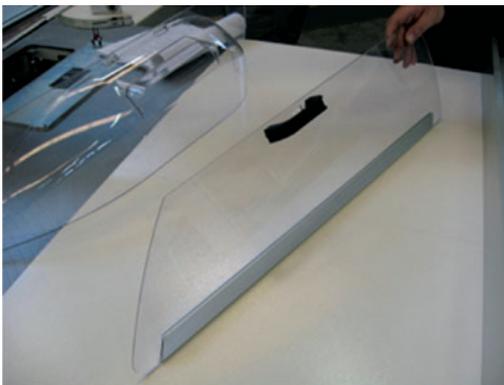


Fig. 13. Macchina (in alto) con protezione sospesa con fiancata interna removibile ed intercambiabile tra due configurazioni: fiancata piana (basso-sinistra) per tagli ortogonali alla tavola porta-pezzo e fiancata bombata (basso-destra) per tagli inclinati sulla tavola porta-pezzo.

Per completezza, si riportano in Fig.14 anche gli sketch costruttivi di due fiancate omologhe di una stessa macchina operatrice in cui è evidenziato uno spessore minimo di policarbonato pari a 3 mm, requisito da rispettare secondo la norma per entrambi i casi.

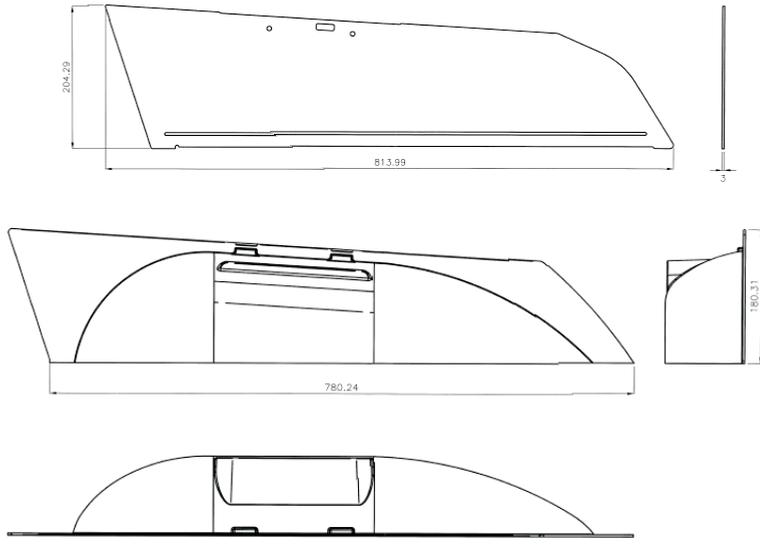


Fig. 14. Sketch costruttivi di fiancate interne removibili e scambiabili di una stessa sega squadratrice: fiancata piana (alto) e bombata (basso) aventi spessore minimo di 3 mm

Questa analisi delle soluzioni attualmente in essere offre sicuramente importanti informazioni per la scelta dei provini di laboratorio su cui condurre test di impatto. Innanzitutto, sembra opportuno prendere in esame sia provini di policarbonato che di alluminio, così come contemplato dalla norma.

Sempre in accordo con la norma, si è deciso di utilizzare lo spessore di 3 mm per provini piani di policarbonato, mentre per provini piani di alluminio sono stati previsti due spessori: 2 mm e 3 mm.

Poiché non sono state ravvisate variazioni nelle proprietà meccaniche tra il polimero colorato e quello trasparente, è stato considerato solo il policarbonato trasparente.

Si deve osservare che la norma prescrive solo test sul materiale “bulk”, escludendo che un frammento colpisca una giunzione termoplastica e/o che la resistenza del materiale sulla giunzione sia inferiore. Questo è spesso giustificato anche dal locale sovradimensionamento dello spessore della cresta rispetto alla fiancata.

Pertanto, lo spessore dei provini usati nei test riflette solo quello della fiancata delle protezioni.

Le dimensioni dei provini saranno, invece, stabilite in base a considerazioni, che emergeranno nel seguito, relative alle condizioni di vincolo ed al sistema di fissaggio.

5.4 Caratterizzazione dei provini, punti d’impatto e condizioni di fissaggio

La norma prescrive test balistici su protezioni vere, ovvero consente di effettuare una prova standard su una lastra quadrata di materiale, di dimensioni 450 mm x 450 mm, colpita nel

centro. Tale test presenta indubbiamente una chiara valenza tecnologica/pratica, ma non sembra riflettere le condizioni di un reale punto di impatto.

Un frammento di utensile eiettato in direzione radiale ed incidente direttamente sulla cresta della cuffia o in altra zona della protezione rigida interessa un'area di pochi centimetri altamente confinata e, dunque, in condizioni ben diverse da quelle prescritte dalla norma.

Conseguentemente, si è deciso di studiare una configurazione di prova del tutto differente che potesse riprodurre più fedelmente le condizioni del materiale durante il fenomeno di impatto.

Uno sketch quotato della soluzione ipotizzata è mostrato in Fig. 15, dove una lastra piana è vincolata su tre lati da una cornice a forma di "u" che espone all'impatto un'area della lastra campione di forma rettangolare, di dimensioni 50 mm x 150 mm. Sulla mezzeria di tale "striscia" è possibile scegliere arbitrariamente punti di impatto soggetti a condizioni di vincolo che variano gradualmente.

In particolare, sono stati identificati due punti di impatto particolarmente significativi per lo studio del fenomeno, rispettivamente: L, vicino al lato libero, e V in prossima del lato corto vincolato.

Immaginando che ognuno dei punti sia il centro di un'area quadrata di 50 mm x 50 mm (che si ritiene possa meglio simulare la situazione reale rispetto al quadrato di 450 mm), il punto V simula la condizione di vincolo più restrittiva, i.e. un vincolo su 4 lati, mentre il punto L simula la condizione di vincolo meno restrittiva, i.e. un vincolo su 3 lati.

Mentre il punto V intende creare condizioni di test analoghe a quelle della norma, solo molto più localizzato, il punto di impatto L vorrebbe riprodurre la circostanza plausibile di impatto sulla protezione rigida nei pressi di un bordo libero.

Si è stabilita una distanza di 100 mm tra i due punti di impatto per garantire sufficiente compattezza al provino e consentire, laddove lo si desiderasse e risultasse tecnicamente possibile (i.e. in assenza di grandi deformazioni e/o danno residuo), di procedere a due prove di impatto sul medesimo provino.

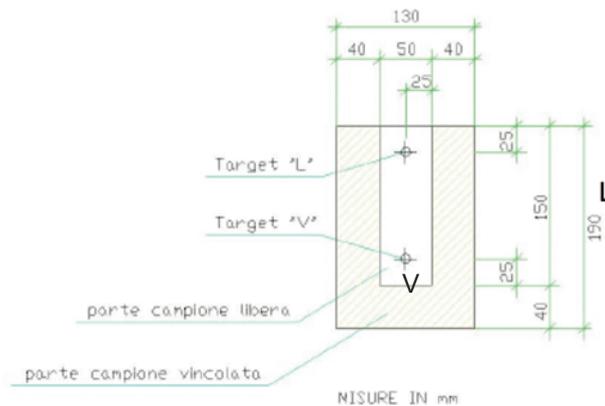


Fig. 15. Sketch quotato della configurazione di prova alternativa a quella della norma, al fine di realizzare test di impatto più localizzati; la mascherina ad "u" determina sul provino una striscia di prova nella mezzeria della quale sono indicati con L e V i due punti di impatto prescelti.

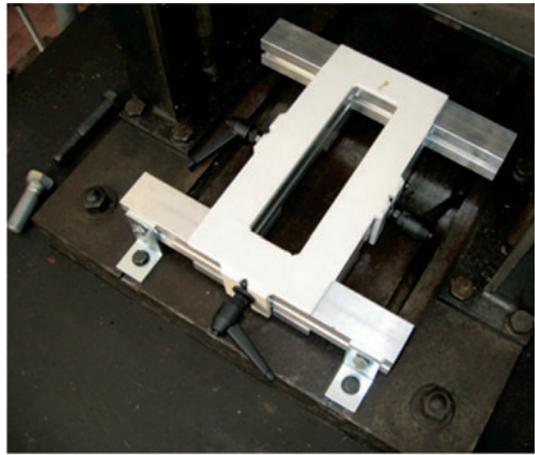
Secondo la norma il sistema di fissaggio dell'attrezzatura di prova deve essere equivalente al sistema di fissaggio previsto sulle macchine ovvero "non positivo", se viene testato un campione standard di 450 mm x 450 mm. Da un punto di vista pratico, la soluzione

costruttiva derivata dallo schema di Fig.15 è realizzata con i dispositivi di alloggiamento mostrati in Fig.16 per le prove di sparo e per quelle gravitazionali. Ogni provino piano (sia di policarbonato che di alluminio) ha dimensioni 130 mm x190 mm ed è posizionato sotto la mascherina metallica “bianca” che lascia esposta una striscia 50 mm x 150 mm come precedentemente illustrato. La mascherina costringe il provino all’interno del supporto, nella posizione desiderata, senza vincolarlo rigidamente (fissaggio non positivo, ma “lasco”). La suddetta mascherina può essere fissata con qualsivoglia serraggio sulla guida laterale della cornice antagonista sottostante. Nelle prove condotte il vincolo era “lasco” ed aveva la sola finalità di tenere il campione in posizione corretta. In Fig.16a sono visibili i punti L e V marcati in rosso su un provino di policarbonato.

Per quanto concerne le prove balistiche, la cornice metallica è stata realizzata per soddisfare le esigenze di prova inerenti soprattutto l’agevole e preciso centraggio del punto di impatto sulla linea di tiro dell’attrezzatura di sparo, che è fissa. Il provino, infatti, può essere facilmente spostato per il centraggio sul piano verticale (ortogonale alla linea di sparo) e saldamente bloccato una volta determinata la corretta posizione, mentre il supporto può essere traslato e bloccato anche lungo l’asse di sparo per consentire la regolazione della distanza tra il provino e la bocca di sparo. La stessa strategia è stata utilizzata nelle prove gravitazionali.



a



b

Fig. 16. Dispositivo di fissaggio dei provini per prove di impatto con sparo (a) e gravitazionale (b)

Nelle prove balistiche, per analizzare le modalità d’impatto del proiettile sulla protezione e le sue conseguenze, considerate le alte velocità in gioco e tenuto conto del fatto che la parte interessante del fenomeno si svolge in tempi molto brevi (dell’ordine dei 100-200 ms), si è utilizzata una telecamera digitale ad alta velocità, con possibilità di registrare le immagini e rivedere la registrazione a diverse velocità di playback. Questo strumento, le cui caratteristiche principali sono riportate nella Sezione 4.1 relativa alla strumentazione impiegata, è stato ritenuto indispensabile per osservare il comportamento delle protezioni una volta colpite dai proiettili. Con essa, inoltre, è possibile individuare la traiettoria dei proiettili prima e dopo l’urto sul bersaglio, valutare con buona approssimazione la loro velocità lungo la traiettoria e determinare quindi la loro perdita di energia. Elemento fondamentale per lo studio del fenomeno e per la valutazione dell’efficacia delle protezioni.

6 Procedura di prova

6.1 Prove balistiche

Il provino viene collocato ad una distanza di 250 mm dalla bocca della canna, dopo essere stato posizionato nel supporto con un fissaggio non positivo (Fig. 17). I provini piani sono montati nell'alloggiamento mostrato in Fig.16 con la superficie piana in posizione verticale. La configurazione scelta vuole essere la più generale possibile - indipendentemente dalla posizione del pezzo in lavorazione - per fornire dati riproducibili in ogni laboratorio ed in ogni situazione.

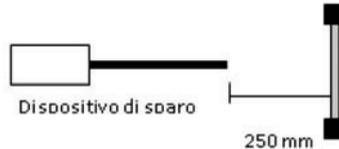


Fig. 17. Schema di prova

Il punto di impatto viene selezionato fra i due indicati nella Fig.15 ed individuato con il puntatore laser. La telecamera ad alta velocità di scansione viene posizionata in maniera da riprendere correttamente il fenomeno. Il proiettile viene sparato tramite il dispositivo ad aria compressa o ad azoto industriale, aumentando di volta in volta la pressione, per ottenere velocità crescenti. La velocità di lancio del proiettile, nel caso di formazione di difetto passante e proiettile trattenuto, è considerata la “velocità critica” caratteristica di quel proiettile e di quel provino. La prova si considera superata quando il proiettile è trattenuto ed il provino non viene perforato o danneggiato in modo passante. Altrimenti, in caso di danno passante, la prova deve considerarsi fallita, anche se il proiettile viene trattenuto. In accordo con la norma, il risultato della prova dopo l’urto viene valutato in maniera qualitativa, attribuendo un voto che rappresenta l’entità del danno del provino (ovvero la capacità di assorbire l’energia cinetica del proiettile, mantenendo la sua integrità) su una scala convenzionale di giudizi possibili riportata in Tab.2.

GIUDIZI POSSIBILI	ESITO PROVA
deformazione/rigonfiamento (deformazione permanente senza frattura)	Positivo
frattura incipiente (visibile solo su di una superficie)	Positivo
frattura passante (frattura visibile da una superficie all'altra)	Negativo
penetrazione (proiettile penetra il riparo testato)	Negativo
cornice distaccata dal proprio sistema di fissaggio	Negativo
riparo distaccato dal proprio supporto	Negativo

Tab. 2. Scala qualitativa dei 6 livelli di giudizio possibili del danno prodotto dall’impatto sulla protezione con il corrispondente esito della prova

I dati ed i risultati della prova sono inseriti ed archiviati su schede con i campi-colonna indicati in Fig.18, che riportano:

- l'identificativo alfanumerico XY del provino con il materiale X (pari ad A per alluminio e P per policarbonato) ed il numero progressivo Y del test, ad es.: P1 individua la prima prova su un provino in policarbonato;
- poiché una prova può essere composta da più test, ogni test all'interno della stessa prova è identificato con una lettera progressiva dell'alfabeto;
- le dimensioni e lo spessore (in mm);
- le condizioni di vincolo;
- la forma della punta ed il peso del proiettile;
- il target point;
- la velocità del proiettile misurata all'uscita della canna;
- il risultato della prova ed il corrispondente esito positivo/negativo;
- note rilevanti.

CAMPIONE				PROIETTILE		SPARO												
CODICE PROVA	dimensioni (mm)	spessore (mm)	materiale	condizioni di vincolo	forma	forma punta	peso (g)	codice test	target point	V proiettile (m/s)	RISULTATI ANALITICI						ESITO TEST	
											a) deformazione/rigonfiamento (deformazione permanente senza frattura)	b) frattura incipiente (visibile solo sulla superficie)	c) frattura passante (frattura visibile da una superficie all'altra)	d) penetrazione (proiettile penetra il riparo testato)	e) riquadratura distaccata dal proprio sistema di fissaggio	f) riparo distaccato dal proprio supporto		note
											PASSA	NON PASSA						

Fig. 18. Campi-colonna del foglio di prova su cui registrare i dati ed i risultati della prova

6.2 Prove gravitazionali

Dopo aver allestito il sistema sperimentale di Fig.7b, si procede ad assemblare lo shuttle calettando il peso desiderato sulla vite filettata ed interponendo gli elementi in teflon opportunamente distanziati.

Ad un estremo si avvita la punta, mentre all'altro estremo della barra filettata si collega il cordino di recupero e bloccaggio. Si procede all'inserzione dall'alto dello shuttle ed all'installazione del dispositivo elettromagnetico di sgancio.

La procedura di test consiste dei seguenti passi:

1. con il dispositivo elettromagnetico in posizione aperta, si porta lo shuttle alla quota di partenza, agendo sul cordino di recupero che scorre su una carrucola, quindi si procede bloccando il grave in posizione mediante il freno elettromagnetico;

2. il sistema così caricato viene livellato per assicurare la verticalità del tubo;
3. si inseriscono i due sensori di velocità, curandone l'allineamento con le scanalature del tubo, affinché il raggio laser sia passante da un lato all'altro in corrispondenza delle fotocellule;
4. si effettua il reset del software per preparare la nuova acquisizione;
5. si posiziona il campione sotto il tubo;
6. si inizia la prova aprendo il freno con un trigger a pulsante;
7. si registra la velocità e si ispeziona il provino per valutare il danno.

Per quanto concerne il posizionamento del provino e la classificazione del danno indotto valgono le stesse indicazioni date per le prove balistiche e conseguentemente i giudizi di cui alla Tab. 2.

7 Risultati di prova

7.1 Prove balistiche

Sono state testate 3 piastre-provino rappresentative di protezioni rigide, corrispondenti a due tipi di materiale, policarbonato (P) ed alluminio (A) con due livelli di spessore, solo 3 mm per il policarbonato, 2 e 3 mm per l'alluminio. La Tab.3 riassume sinteticamente le caratteristiche principali delle protezioni testate.

Materiale	Codice Materiale (COD)	spessore (mm)	strati	larghezza libera striscia (mm)	altezza libera striscia (mm)
Policarbonato trasparente	P	3	1	50	150
Alluminio	A	2	1	50	150
Alluminio	A	3	1	50	150

Tab. 3. Sommario dei 3 provini testati

I risultati delle prove effettuate sono riportati in Tab.4 per il policarbonato e in Tab.5 per l'alluminio. Tutte le prove preliminari sono state effettuate nel punto V.

Per il policarbonato sono stati effettuati 4 spari in totale, tre dei quali sullo stesso provino P1 con proiettile conico-cavo da 2,1 g. In questo caso, sebbene la protezione avesse uno spessore di 2,8 mm (3 mm nominale), anche dopo urti ripetuti non si è evidenziato un danneggiamento significativo della protezione ed è stato assegnato il livello di giudizio più basso (i.e. livello a) previsto nella scala in Tab.2.

Per confermare la robustezza di questa protezione è stato effettuato un quarto sparo con proiettile tronco-conico da 20 g (un ordine di grandezza più grande) alla stessa velocità ottenendo un risultato significativo.

Il proiettile, infatti, è rimasto intrappolato nella protezione (e dunque trattenuto), creando però un difetto passante, come mostrato in Fig. 20 da diverse angolazioni. Il livello di danno assegnato è stato "d" e la prova è risultata non superata.

CAMPIONE		PROIETTILE	SPARO																		
COD	dimensioni (mm)	spessore (mm)	materiale	condizioni di vincolo	forma	forma punta	peso (g)	Codice prova	target point	V proiettile (m/s)	RISULTATI ANALITICI						note	ESITO TEST			
											a) deformazione/ritornellamento (deformazione permanente senza frattura)	b) frattura incipiente (visibile solo sulla superficie)	c) frattura passante (frattura visibile da una superficie all'altra)	d) penetrazione (proiettile penetra il riparo testato)	e) riquadratura distaccata dal proprio sistema di fissaggio	f) riparo distaccato dal proprio supporto					
										PASSA	NON PASSA										
P1	H=150 L=50	3mm nominale - 2,78 reale	policarbonato	3 lati vincolati - lato superiore libero	cilindrica cava diametro esterno 6mm	conica	2,1	A	V	69,91	X									OK	
								B	V	73,39	X										OK
								C	V	70,00	X										
P2	H=150 L=50	3mm nominale - 2,78 reale	policarbonato	3 lati vincolati - lato superiore libero	cilindrica diametro 12mm	tronco-conica	20,0	A	V	69,83					X					Il proiettile è stato trattenuto dal campione	NO

Tab. 4. Sommario prove preliminari su policarbonato



Fig. 19. Prova P2 con perforazione del policarbonato usando un proiettile conico da 20 g.

Per l'alluminio sono state eseguite sei prove in totale, utilizzando 4 provini sia di spessore di 2 mm che di 3 mm. Come nel caso del policarbonato, gli spari effettuati con proiettile conico-cavo da 2.1 g hanno causato, per entrambi gli spessori del provino, un danneggiamento di livello "a", anche dopo spari ripetuti.

Gli ultimi due provini A3 e A4 di spessore rispettivamente di 3 mm e di 2 mm sono stati sottoposti a test di verifica con il solito proiettile tronco-conico maggiorato a 20 g a parità di velocità. Nel primo caso (provino A3) la protezione ha resistito, sebbene abbia subito un'evidente deformazione plastica con bozzatura non perforante, come mostrato in Fig. 20 da varie angolazioni; il livello di danno da associare è pari a "b", per cui la prova è risultata superata. Nel secondo caso, invece, il provino A4, di spessore inferiore, non ha superato la prova. Esso ha contenuto il proiettile (senza trattenerlo), ma ha subito la formazione di un difetto passante classificato con un livello di danneggiamento "d". Le immagini sono mostrate in Fig. 21 da entrambe le facce.

CAMPIONE			PROIETTILE		SPARO													
COD	dimensioni (mm)	spessore (mm)	materiale	condizioni di vincolo	forma	forma punta	peso (g)	codice	target point	V proiettile (m/s)	RISULTATI ANALITICI						note	ESITO TEST
											PASSA			NON PASSA				
A1	H=150 L=50	2mm	alluminio	3 lati vincolati - lato superiore libero	cilindrica cava diametro esterno 6mm	conica	2,1	A	V	70,07	X							OK
								B	V	69,00	X							
A2	H=150 L=50	3mm	alluminio	3 lati vincolati - lato superiore libero	cilindrica cava diametro esterno 6mm	conica	2,1	A	V	71,50	X							OK
								B	V	72,51	X							
A3	H=150 L=50	3mm	alluminio	3 lati vincolati - lato superiore libero	cilindrica diametro 12mm	tronco-conica	20,0	A	V	70,00		X					Imbutitura evidente, pur se la frattura creata non è passante	OK
A4	H=150 L=50	2mm	alluminio	3 lati vincolati - lato superiore libero	cilindrica diametro 12mm	tronco-conica	20,0	A	V	69,00			X				Il proiettile è comunque rimbalzato, pur se ha danneggiato il campione in modo vistoso	NO

Tab. 5. Sommario prove preliminari su alluminio

Provino lato impatto



Provino lato retro impatto

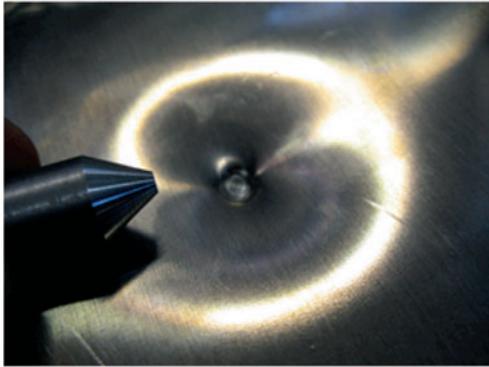
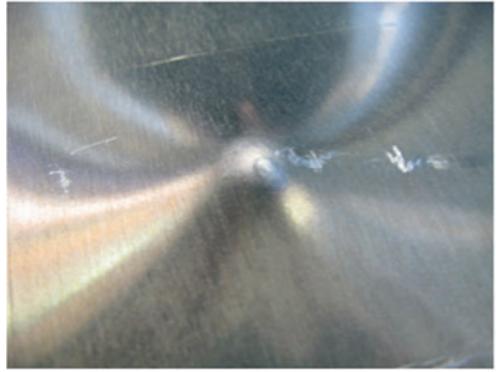
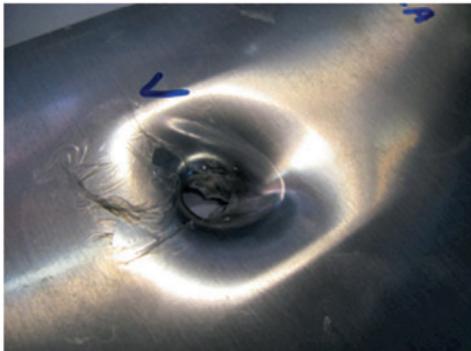


Fig. 20. Prova A3 con bozzatura NON perforante dell'alluminio usando un proiettile conico da 20 g.

Provino lato impatto



Provino lato retro impatto



Fig. 21. Prova A4 con bozzatura perforante dell'alluminio usando un proiettile conico da 20 g.

Il proiettile da 20 g, sparato sul punto V del provino, ha causato un danno passante sia sul policarbonato da 3 mm (prova P2 in Tab.4), sia sull'alluminio da 2 mm (prova A4 in Tab.5). Solo l'alluminio da 3 mm ha contenuto il proiettile senza danno passante. Dunque, a fronte di una energia cinetica 10 volte maggiore (49 J vs 5 J), l'entità ed il modo di danno osservati nelle prove con proiettili da 20 g e 2,1 g sono completamente diversi.

7.2 Prove gravitazionali

Le prove gravimetriche sono state prese in considerazione nella sperimentazione per verificare la possibilità di condurre prove semplificate sui provini. Ad oggi, solo pochi laboratori (di ricerca e aziendali) sono attrezzati per effettuare i test balistici previsti nella norma, mentre sembrerebbe ipotizzabile che la maggior parte possa dotarsi di un sistema di prova gravimetrico, molto meno oneroso e pericoloso.

È opportuno ricordare che un corpo in moto in un campo gravitazionale è usualmente schematizzato in fisica come un sistema meccanico conservativo, ove si trascurino dissipazioni per effetti viscosi e frizione. In questo caso, come noto, l'energia meccanica totale, data dalla somma di energia cinetica $T = 1/2 mV^2$ e potenziale $U = mgh$, si conserva e ad eventuali variazioni di energia cinetica ΔT corrispondono variazioni di energia potenziale $-|\Delta U|$ di pari entità, ma segno opposto². Applicando questo principio al sistema descritto nel paragrafo 4.2, ove uno shuttle di massa m variabile parte da velocità iniziale nulla da una quota $h = 2$ m ed accelera in un tubo verticale, la velocità di impatto teorica V_i corrispondente all'energia cinetica acquistata dalla conversione di energia potenziale nel tratto utile di accelerazione è stimabile in prima approssimazione come:

$$V_i = \sqrt{2gh} \quad (1)$$

Ciò indica che la velocità di impatto in una prova gravimetrica può essere modulata modificando h , indipendentemente dalla massa. Tale valore è un limite superiore per la presenza di effetti viscosi (i.e. attrito aria) e attrito (e.g. tra tubo e teflon). Conseguentemente la massima energia (cinetica) di impatto attesa:

$$T_i = \frac{1}{2} mV_i^2 \quad (2)$$

nelle prove gravimetriche è data da:

$$T_i = mgh \quad (3)$$

Per effettuare un confronto con le prove balistiche, le prove gravimetriche sono state progettate ricercando l'equivalenza tra le energie di impatto nei due test in accordo alla seguente equazione

$$\frac{1}{2} m_p V_{ip}^2 = m_g gh \quad (4)$$

ove il suffisso p a primo membro indica l'energia cinetica del proiettile nelle prove balistiche ed il secondo membro è l'energia cinetica dello shuttle gravimetrico. È evidente che, data l'energia di riferimento per il test balistico, un test gravimetrico (energeticamente) equivalente si può ottenere modificando opportunamente sia m che h nell'equazione Eq.(4). In pratica, dopo aver massimizzato h scegliendo il tubo più lungo compatibilmente

² Nelle definizioni di energia cinetica e potenziale ricorrono i seguenti parametri: m la massa, V la velocità, g l'accelerazione gravitazionale, h la quota.

con gli spazi in laboratorio, si cerca di modificare il peso dello shuttle m_g . Questo può essere fatto in diversi modi: ad esempio aumentando il numero e la dimensione (incrementando la sezione del tubo stesso) dei pesetti caricati sullo shuttle e scegliendo per essi un materiale ad alta densità. Tali scelte dipendono dall'entità dell'energia di impatto. In questo caso, con riferimento alle precedenti prove balistiche, l'energia cinetica del proiettile è stimabile in circa 5 Joule per il caso da 2.1 g ed in 49 Joule per il proiettile da 20 g, assumendo in entrambi i casi una velocità di impatto di circa 70 m/s. Il sistema gravimetrico proposto è stato dimensionato sul caso più gravoso, tarandolo sui 49 J. Avendo a disposizione una quota $h = 2$ m ed una velocità di impatto massima limitata a 6.26 m/s in base all'equazione Eq.(1), la massa dello shuttle risulta essere l'unico parametro modificabile, da scegliersi in accordo con l'equazione Eq.(4). In particolare, il peso dello shuttle è stato assunto pari a 260 g per simulare il proiettile da 2.1 g ed a 2500 g per simulare il proiettile da 20 g. Questo esempio mostra come nelle prove gravimetriche si ricorra a masse elevate e velocità limitate, contrariamente alle prove balistiche nelle quali si lavora con piccole masse ed alte velocità. Si deve però notare il rapido aumento del peso dello shuttle dovuto alla limitazione su h , e quindi sulla velocità di impatto.

Per quanto concerne i risultati delle prove gravimetriche, i test con lo shuttle più leggero (da 260 g) hanno confermato i risultati delle corrispondenti prove balistiche con proiettile conico da 2.1 g, di massa pari a quello sferico richiesto dalla norma. Il danno rilevato è stato molto contenuto e classificabile come "a". Tuttavia, l'impronta lasciata sul provino è risultata sensibilmente inferiore a quella prodotta dal proiettile, indicando qualitativamente come la prova gravimetrica non sia altrettanto gravosa.

Di maggiore interesse sono le prove effettuate con lo shuttle più pesante, attrezzato con punta tronco-conica. Solo un test, l'ultimo, è stato effettuato con punta conica.

Per una più immediata valutazione in Tab.6 sono stati riportati i risultati delle prove di caduta con lo shuttle da 2500 g sugli stessi 3 provini delle prove balistiche.

Alluminio 2 mm: IL PEGGIORE	A ₂	Target point	velocità (m/s)	peso (g)	energia (J)	punta	danno	giudizio
	1	V	6,0	2500	45,0	tronco conica	FORATO	d
	2	V	6,0	2500	45,0	tronco conica	FORATO	d
	3	V	6,1	2500	46,5	tronco conica	FORATO	d
	4	V	6,0	2500	45,0	tronco conica	FORATO	d
	5	V	6,2	2500	48,1	tronco conica	FORATO	d
	6	L	5,8	2500	42,0	tronco conica	IMBUTITO (LIMITE)	a
	7	L	6,1	2500	45,9	tronco conica	IMBUTITO (ROTTO)	d
	8	L	5,9	2500	43,2	tronco conica	IMBUTITO (LIMITE)	a
	9	L	6,2	2500	47,5	tronco conica	IMBUTITO (LIMITE)	a
	10	L	6,0	2500	44,3	tronco conica	IMBUTITO (LIMITE)	a
	11	L	6,0	2500	44,8	conica	POCO IMBUTITO	a

Alluminio 3 mm: L'INTERMEDIO	A ₃	Target point	velocità (m/s)	peso (g)	energia (J)	punta	esito e danno	giudizio
	1	V	6,2	2500	47,6	tronco conica	IMBUTITO	a
	2	V	5,9	2500	43,5	tronco conica	IMBUTITO	a
	3	V	5,9	2500	43,5	tronco conica	IMBUTITO	a
	4	V	5,8	2500	41,3	tronco conica	IMBUTITO	a
	5	V	5,6	2500	39,2	tronco conica	IMBUTITO	a
	6	L	5,8	2500	41,4	tronco conica	IMBUTITO (MENO)	a
	7	L	6,0	2500	44,7	tronco conica	IMBUTITO (MENO)	a
	8	L	5,9	2500	44,2	tronco conica	IMBUTITO (MENO)	a
	9	L	5,9	2500	43,5	tronco conica	IMBUTITO (MENO)	a
	10	L	6,0	2500	45,6	tronco conica	IMBUTITO (MENO)	a
	11	L	5,9	2500	43,2	conica	POCO IMBUTITO	a

Policarbonato: IL MIGLIORE	P	Target point	velocità (m/s)	peso (g)	energia (J)	punta	esito e danno	giudizio
	1	V	5,6	2500	39,2	tronco conica	IMBUTITO	a
	2	V	5,8	2500	42,6	tronco conica	IMBUTITO	a
	3	V	6,0	2500	44,7	tronco conica	IMBUTITO	a
	4	V	6,0	2500	45,0	tronco conica	IMBUTITO	a
	5	V	5,9	2500	43,8	tronco conica	IMBUTITO	a
	6	L	6,0	2500	44,3	tronco conica	IMPRONTATO	a
	7	L	5,9	2500	43,4	tronco conica	IMPRONTATO	a
	8	L	5,9	2500	43,5	tronco conica	IMPRONTATO	a
	9	L	5,8	2500	42,5	tronco conica	IMPRONTATO	a
	10	L	5,9	2500	43,7	tronco conica	IMPRONTATO	a
	11_a	L	6,0	2500	44,8	conica	DANNO TRASCURABILE	a
11_b	L	6,1	2500	45,8	conica	DANNO TRASCURABILE	a	

Tab. 6. Risultati prove gravimetriche con shuttle da 2500 g equivalente a prova balistica più gravosa con proiettile da 20 g e massima energia teorica di impatto di 49 J. Le misure effettive di energia sono calcolate in tabella.

Ogni tipologia di provino è stato colpita non soltanto nel punto V, ma anche nel punto L, vicino al bordo libero. Per ognuna delle due condizioni (V ed L), il test è stato ripetuto per 5 volte, per un totale di 10 misure con punta tronco-conica. Un undicesimo provino

addizionale è infine stato soggetto ad impatto nel punto L con punta conica per valutarne l'effetto.

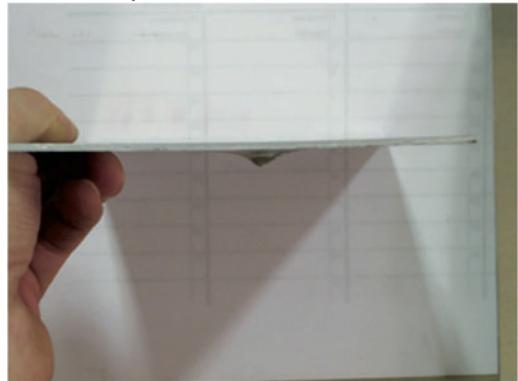
Innanzitutto, il confronto tra l'impatto nel punto L e nel punto V per tutte e tre le tipologie di provino evidenzia come la seconda condizione sia peggiorativa dal punto di vista del danno. In generale, nel primo caso (impatto nel punto L) l'energia d'urto viene assorbita in parte per deformare plasticamente un'ampia zona del provino ed in parte localmente nel punto d'impatto provocando un'imbutitura ed in un solo caso anche un foro di piccole dimensioni. Nel secondo caso (impatto nel punto V), invece, l'energia viene trasferita al provino essenzialmente nel punto di impatto provocandone la foratura. Questo è evidente dall'ispezione visiva dei due provini di alluminio da 2 mm, colpiti rispettivamente in V ed L e mostrati in Fig. 22 a titolo di esempio.

Provino lato impatto



Punto d'impatto V

Provino di profilo



Provino lato impatto



Punto d'impatto L

Provino di profilo



Fig. 22. Due provini di alluminio da 2 mm dopo impatto nel punto V (alto) e L (basso). I profili sono mostrati dall'alto (lato impatto) e di profilo per mostrare il tipo di deformazione plastica risultante.

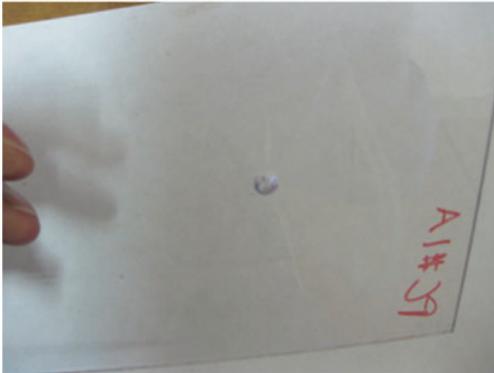
Il danno in posizione V è passante e di classe "d"

Le stesse considerazioni valgono per il provino da 3 mm a meno di deformazioni plastiche molto meno marcate a causa del sovradimensionamento.

Per il policarbonato la severità del danno è sempre inferiore a quella rilevata per l'alluminio: in corrispondenza del punto V si registra un'imbutitura, ovvero una bozzatura sulla superficie opposta a quella di impatto, mentre nel punto L si rileva un'impronta superficiale, ma mai una deformazione plastica del bordo libero. Un esempio è mostrato in Fig. 23 per l'impatto in V.

Per questo materiale l'assorbimento strutturale dell'energia è apparentemente di tipo elastico e vibrazionale.

Provino lato impatto



Provino di profilo

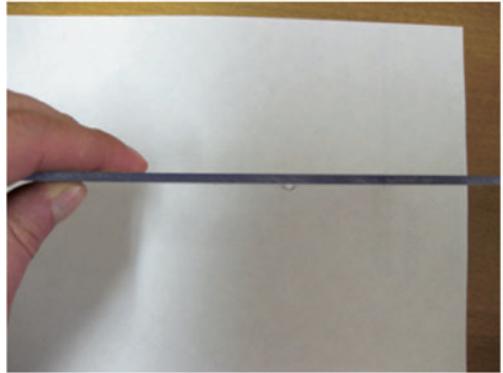


Fig. 23. Prova su policarbonato colpito nel punto V. Il danno è rappresentato dall'imbutitura non passante.

Da questi risultati si evince che solo il provino di alluminio da 2 mm dà luogo ad un danneggiamento passante classificabile come "d", foratura. In tutti gli altri casi, la classe di danno rimane "a". La prova balistica aveva fatto riscontrare danni più marcati e solo l'alluminio da 3 mm aveva resistito.

Da quanto esposto risulta che le prove gravimetriche hanno riprodotto risultati diversi dalle prove balistiche.

Occorre rilevare che i valori di velocità di impatto, nella prova gravimetrica, misurati dal sensore e riportati in Tab.6 e nell'istogramma in Fig.24, variano nel range 5,6-6,2 m/s con una media di 5,9 m/s, vale a dire sempre inferiori alla velocità teorica 6,26 m/s, a causa delle azioni dissipative durante la caduta dello shuttle.

Tali scostamenti non sono consistenti, ma, considerando una velocità media di 5,9 m/s, comportano una riduzione di energia cinetica pari a circa l'11 % rispetto al valore teorico.

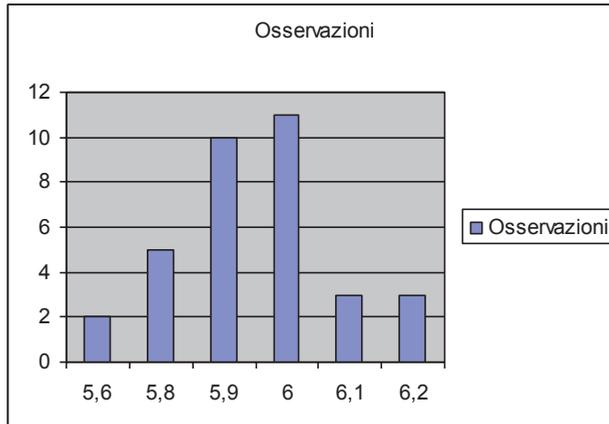


Fig. 24. Istogramma delle misure di velocità in Tab.6. Il diagramma prova e quantifica l'effetto delle dissipazioni in termini di riduzioni di velocità del proiettile all'impatto. La media delle registrazioni è infatti di 5.9 m/s, un dato inferiore di circa il 2,5% rispetto al valore teorico richiesto a meno delle frizioni e dissipazioni pari a $V_{teorica} = 6.26$ m/s

Questa differenza non sembra apparentemente giustificare la diversità di danno tra prova balistica e gravimetrica, ma ciò nonostante, dal punto di vista scientifico occorre tenerne conto compensando tali effetti, per esempio, aumentando la massa nel test gravimetrico.

Tali compensazioni non sono state effettuate in questa fase, perché l'obiettivo era quello di ricavare, in particolare per la massa da 2,1 g, indicazioni generali, di indirizzo per eventuali successivi test più mirati che potrebbero essere oggetto di un futuro studio in un range più ampio di energie di impatto e materiali.

I risultati, allorché indicativi, mostrano al momento solo il riprodursi del trend delle prove balistiche (a meno di un corretto sovradimensionamento) anche nei test gravimetrici, arrivando al medesimo giudizio in particolare per quanto concerne il proiettile da 2.1 g prescritto dalla norma, obiettivo principale della ricerca.

Da ultimo si osserva un risultato interessante riguardante il confronto tra la punta tronco-conica e quella conica rilevabile dall'undicesima prova condotta su ogni provino nel punto L. La prova con la punta conica era stata introdotta per cercare di aumentare la penetrazione ed il danno, a parità di energia di impatto.

Contrariamente all'intuizione, però, questa punta ha provocato un danno nettamente minore rispetto a quella tronco-conica, come riportato in Tab.6 per tutti i provini.

La Fig.25 mostra i provini di alluminio da 2 mm dopo l'impatto con punta tronco-conica nei punti V ed L e con punta conica in L. Nel polycarbonato il danno è risultato particolarmente contenuto, come confermato da un secondo test. Non è immediatamente evidente perché la punta conica causi un impatto meno gravoso: il motivo deve ricercarsi nella resistenza alla penetrazione che i lati della punta subiscono avanzando nel materiale bersaglio. Viceversa, la punta troncoconica nell'impatto esercita sforzi di taglio con la parte piatta che strappano il materiale e favoriscono la penetrazione. Sarà necessario anche in questo caso prospettare un'indagine più approfondita, eventualmente anche con una simulazione agli elementi finiti.

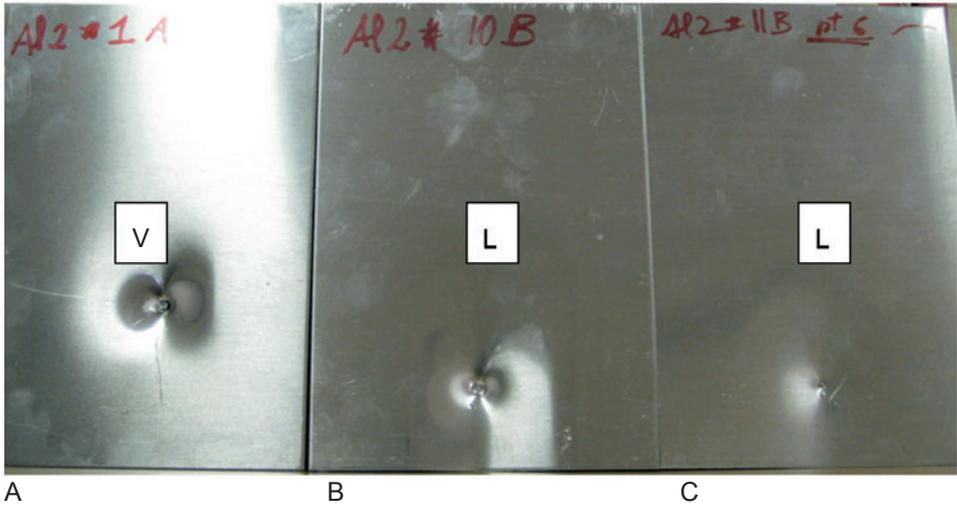


Fig. 25. Confronto fra provini da 2 mm dopo l'impatto con punta tronco-conica nei punti V (A) e L (B) e con punta conica in L (C)

8 Conclusioni

La procedura di prova balistica ha senza dubbio offerto una risposta ad un bisogno urgente, ma necessita di un processo di ottimizzazione dei criteri di resistenza (spessori del materiale) adottati in prima istanza. Le misurazioni effettuate indicano infatti che scelte meno conservative sono possibili, in quanto il dimensionamento ed i materiali previsti dalla norma sono ampiamente sufficienti a resistere all'urto di piccoli inserti dell'ordine di pochi grammi.

La metodologia gravimetrica qui adottata segue strade alternative rispetto alla metodologia proposta nella norma, alla ricerca di soluzioni più economiche e pratiche per i costruttori a parità di efficacia nella definizione della capacità di riduzione del rischio ma, come prevedibile, non risulta equivalente alle prove balistiche.

Alla luce dei risultati ottenuti, questa ricerca rappresenta un punto di partenza in vista di revisioni future della norma, in particolare per quanto concerne l'introduzione di prove gravimetriche alternative.

Lo studio effettuato dimostra, con dati oggettivi, quello che l'esperienza pratica aveva fatto supporre: la sostanziale efficacia delle protezioni rigide ed un criterio di prova eccessivamente conservativo, che determina un sovradimensionamento delle protezioni, almeno dal punto di vista della resistenza dei materiali all'impatto con frammenti di utensile.

9 Norme tecniche

- EN 1870-1:2007
- EN 1870-1:2007+A1:2009
- EN 1870-18:2013

APPENDICE 1

Esempi di lame per le seghe squadratrici

La Tabella A1 riporta la denominazione e la descrizione sintetica di cinque lame con taglienti (tips) e diametro di varia dimensione riportate a titolo di esempio. Come è facile dedurre dai dati, le dimensioni dei taglienti saldo brasati che possono essere eiettati sono modeste (max 10x4, 6x3, 5mm).

Tre foto sono mostrate per ogni lama nelle figure da A1-1 ad A1-5.

#	DENOMINAZIONE	DESCRIZIONE	FOTO
1	SEGA PER MASSELLO DIAMETRO 300	<ul style="list-style-type: none"> ➤ spessore corpo lama 2,2 mm; ➤ spessore taglienti (tips) 3,2 mm; ➤ n. denti z=48; ➤ dimensioni tip saldo brasata eiettabile 10x3,2x3 mm 	n. 3 Foto in Fig A1.1
2	SEGA PER MASSELLO DIAMETRO 550	<ul style="list-style-type: none"> ➤ spessore corpo lama 3,4 mm; ➤ spessore taglienti (tips) 4,5 mm; ➤ n. denti z= 60 ➤ dimensioni tip saldo brasata eiettabile 10x4,5x4 mm 	n. 3 Foto in Fig A1.2
3	SEGA PER PANNELLO DIAMETRO 120 (incisore)	spessore corpo lama 2,2 mm; spessore taglienti (tips) 3,1 mm; n. denti z=24; dimensioni tip saldo brasata eiettabile 7x3,1x3 mm	n. 3 Foto in Fig A1.3
4	SEGA PER PANNELLO DIAMETRO 200	2 lame sovrapposte; spessore totale di taglio da 4,3 a 5,2 mm n. denti z=30 + 30; dimensioni tip saldo brasata eiettabile 7x2,1x2,1 mm	n. 3 Foto in Fig A1.4
5	SEGA PER PANNELLO DIAMETRO 350	2 lame sovrapposte; spessore totale di taglio da 4,3 a 5,2 mm n. denti z=30 + 30; dimensioni tip saldo brasata eiettabile 7x2,1x2,1 mm	N. 3 Foto in Fig A1.5

Tab. A1. denominazione e descrizione sintetica di cinque lame con taglienti (tips) rappresentativi

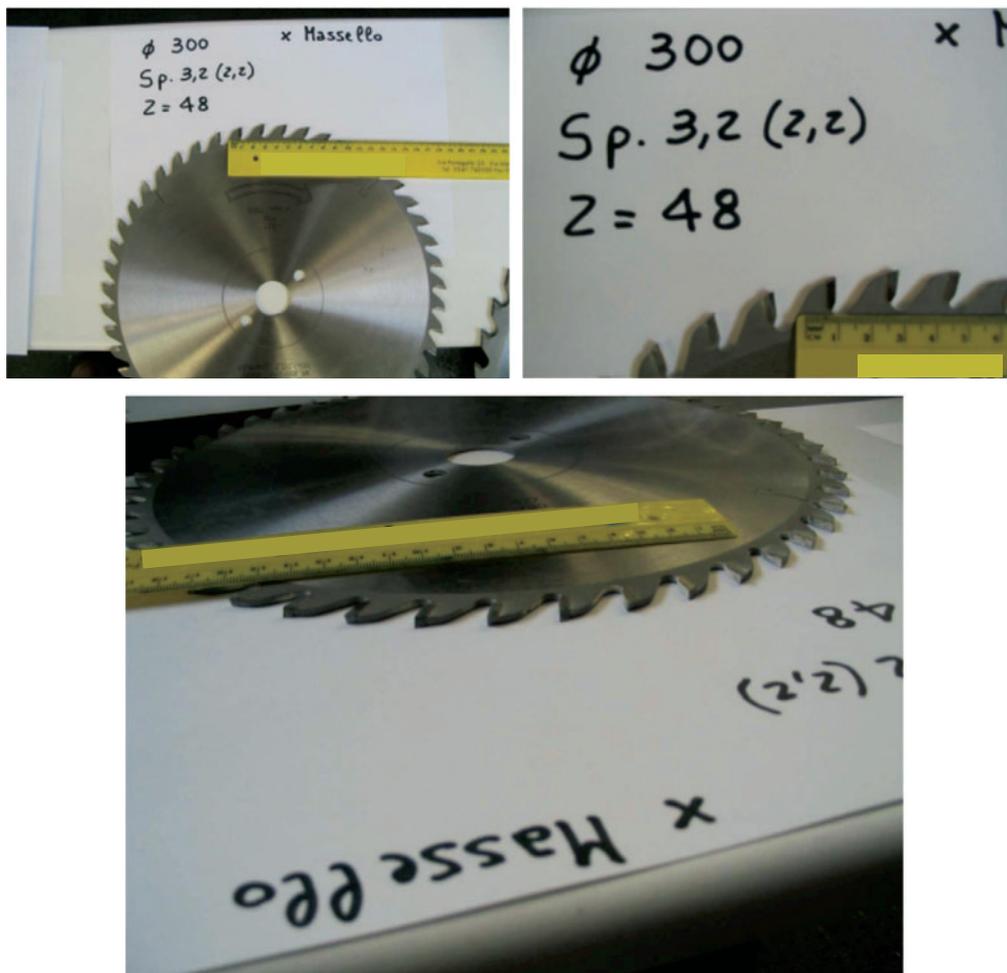


Fig. A1.1. Sega per massello - diametro 300 mm

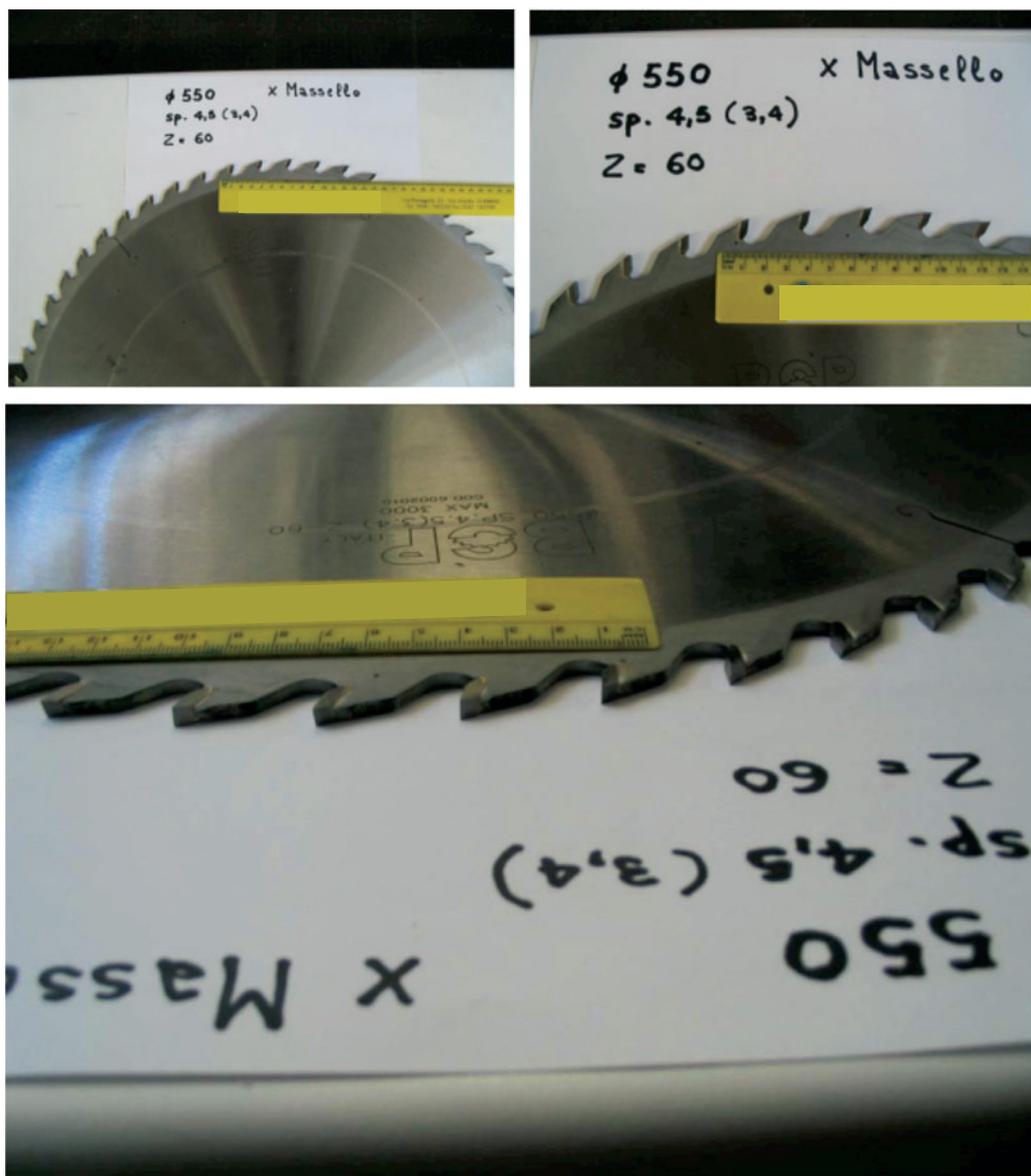


Fig. A1.2. Sega per massello - diametro 550 mm

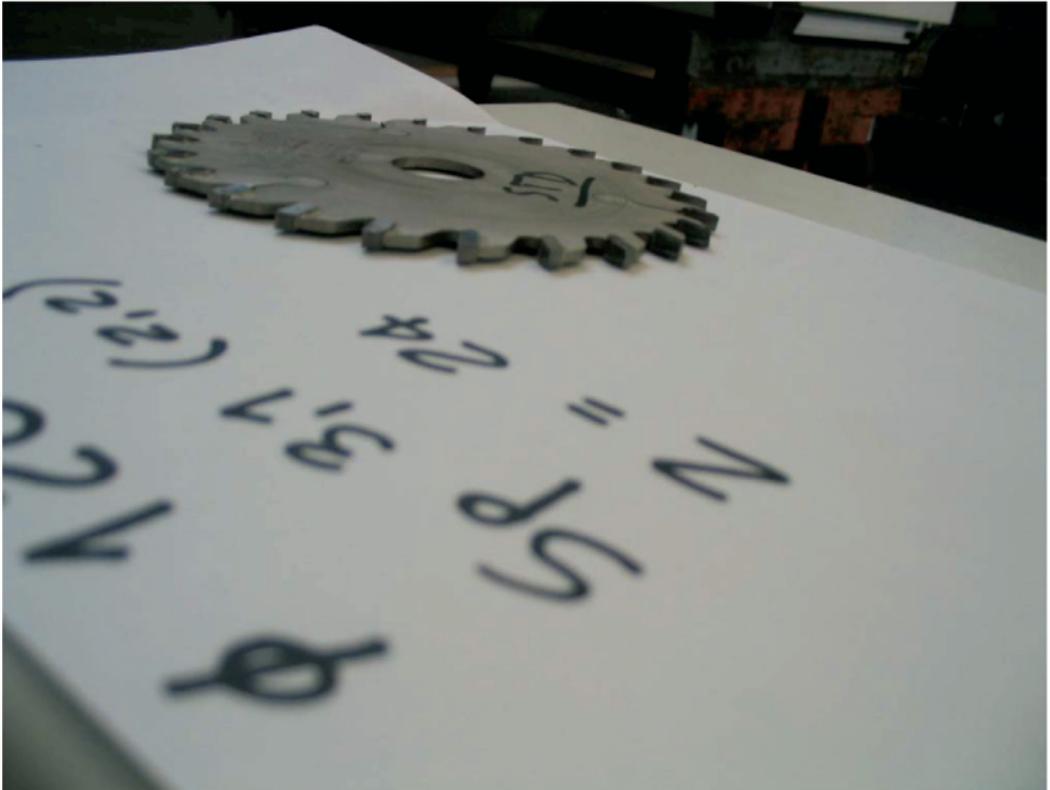
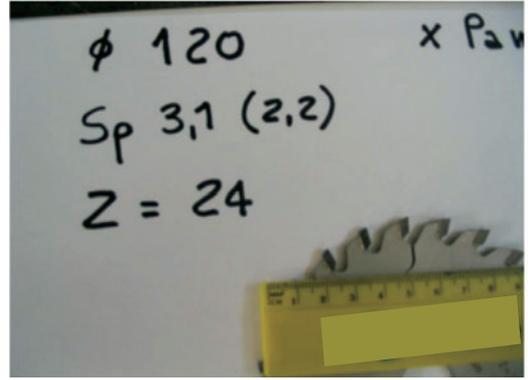
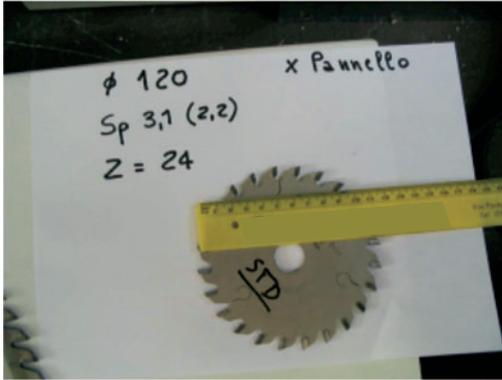


Fig. A1.3. Sega per pannello - diametro 120 mm

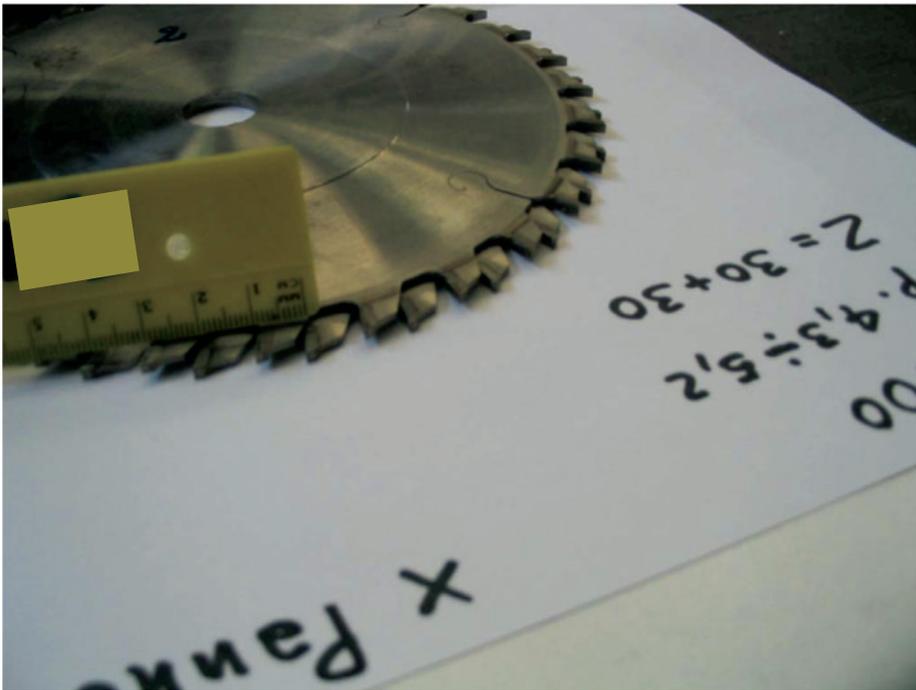
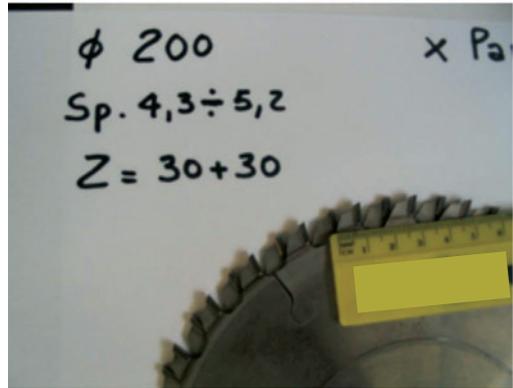
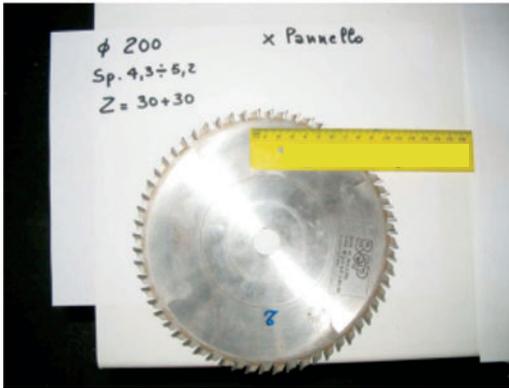


Fig. A1.4. Sega per pannello - diametro 200 mm

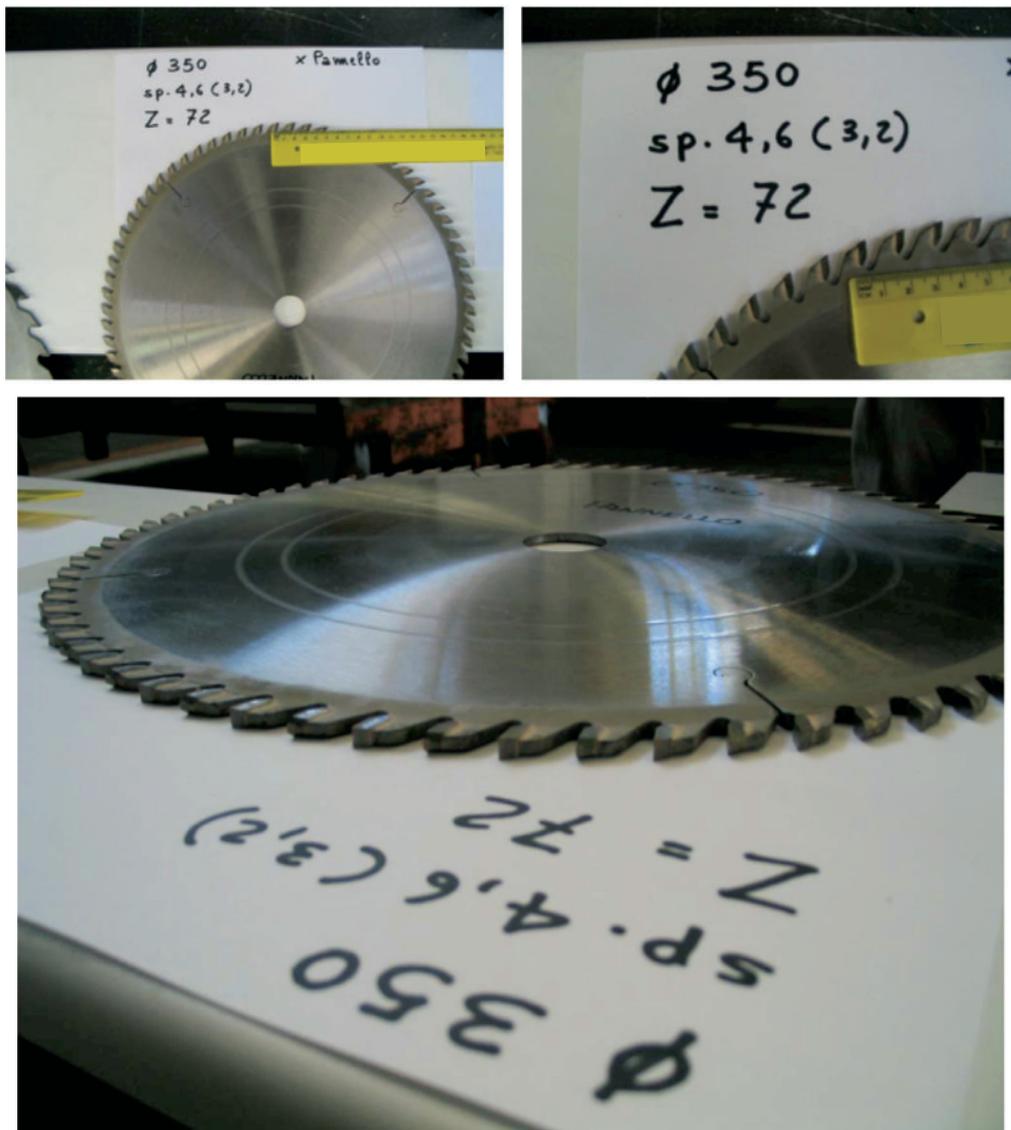


Fig. A1.5. Sega per pannello - diametro 350 mm

APPENDICE 2

Materiali per protezioni rigide

Si mostrano le schede materiali pervenute da ACIMALL per materiali tipicamente usati per protezioni di polycarbonato (Figura da A2.1 ad A2-4), Nylon composite (Figura A2.5) e alluminio (Figura A2.6).

VALORI TIPICI DEL MATERIALE TIPO POLICARBONATO

PROPRIETA'	METODO DI PROVA	UNITA' DI MISURA	VALORE
DENSITA'	ASTM D792	g/cm ³	1,2
RITIRO LINEARE STAMPAGGIO	ASTM D955	%	0,5-0,7
M.F.I. 300° C - 1,2 Kg.	ASTM D1238	g/10 min	14-16
ASSORBIMENTO H2O(24h - 23°C)	ASTM D510	%	0,15
RESISTENZA TRAZIONE (snervamento)	ASTM D638	MPA	>54
ALLUNGAMENTO TRAZIONE (rottura)	ASTM D638	%	>80
MODULO ELASTICO (flessione)	ASTM D638	MPA	>2200
RESISTENZA IZOD c.i. (3,2 mm)	ASTM D256	J/m	>500
VICAT A-50	ASTM D1525	°C	>140
H.D.T. 1.80 MPA	ASTM D648	°C	>130
AUTOESTINGUENZA UL 94			V2-HB

Fig. A2.1. Polycarbonato arancione

> Low viscosity			
PROPERTY	TYPICAL DATA	UNIT	METHOD
PHYSICAL			
Specific gravity	1.20	-	ASTM D792
Water absorption 24 hours, 23°C	0.15	%	ASTM D570
MECHANICAL			
Tensile strength	680	kg/cm ²	ASTM D638
Tensile elongation	120	%	ASTM D638
Flexural strength	880	kg/cm ²	ASTM D790
Flexural modulus	21,000	kg/cm ²	ASTM D790
IZOD impact strength, 1/8"	80	kg cm/cm	ASTM D256
Hardness, Rockwell	120	R scale	ASTM D785
THERMAL			
HDT: 4.6 kg/cm ²	145	°C	ASTM D648
HDT: 18.6 kg/cm ²	134	°C	ASTM D648
Coefficient of linear thermal expansion	5.6 X 10 ⁻⁵	mm/mm/°C	ASTM D696
ELECTRICAL			
Volume resistivity: X 10 ¹⁶	4	ohm-cm	ASTM D257
Dielectric strength	30	KV/mm	ASTM D149
Dielectric constant: 10 ⁶ HZ	2.85	-	ASTM D150
(Dissipation factor: 10 ⁶ HZ)	0.0092	-	ASTM D150
ARC resistance	120	sec	ASTM D495
OTHERS			
Flammability, 1/16"	V-2	-	UL 94
Mold shrinkage, 3mmt	0.5~0.7	%	ASTM D955
Melt Flow Rate : 300°C/1.2kg	14	gr/10min	ASTM D1238
These property values shown are average values that can be expected from typical manufacturing lots and are not intended for specific purpose. All data subject to standard disclaimer.			

Fig. A2.2. Scheda Policarbonato SAMYANG–CPS

Properties	Unit	Value	Standard
Physical Properties			
Density	g/cm ³	1,20	ISO 1183
Light transmission (Lightsource D65, thickness 1 mm)	%	88	DIN 5036, T.3
Refractive index		1,586	ISO 489
Moisture absorption 24 hours, 23°C, 50% RH	%	0,15	
Mechanical Properties			
Tensile strength at Yield (Break)	N/mm ²	63 (70)	ISO 527
Tensile elongation at Yield (Break)	%	6 (110)	ISO 527
Elastic modulus	N/mm ²	2300	ISO 527
Flexural modulus	N/mm ²	2300	ISO 178
Charpy unnotched impact strength +23 °C	kJ/m ²	ej brott	ISO 179/2D
Charpy unnotched impact strength -40 °C	kJ/m ²	ej brott	ISO 179/2D
Izod notched impact strength +23 °C	kJ/m ²	65	ISO 180/1A
Izod notched impact strength -30 °C	kJ/m ²	10	ISO 180/1A
Rockwell hardness		M70	ISO 2039-2
Thermal Properties			
Linear coefficient of thermal expansion (23-80 °C)	10 ⁻⁶ x K ⁻¹	0,70	
Heat deflection temperature, HDT A (1,20 N/mm ²)	°C	132	ISO 75
	B (0,45 N/mm ²)	142	
VICAT temperature VST/B 120	°C	149	ISO 306
	VST/B 50	148	
Specific heat capacity, Cp	KJ/kg, K	1,17	
Thermal conductivity	W/m,K	0,21	DIN 52612
Fire Properties			
Fire classification according to UL94	Class	HB vid 1,5	UL 94
Electrical Properties			
Volume resistivity, dry	Ω x cm	10 ¹⁶	IEC 93
Surface resistivity, dry	Ω	10 ¹⁵	IEC 93
Dielectric strength, dry (1 mm)	kV/mm	30	IEC 243
Dielectric constant, dry	50 Hz	3,0	IEC 250
	1MHz	2,9	
Dissipation factor (tan δ), dry 50 Hz		0,001	IEC 250

Fig. A2.3. Scheda Policarbonato MAKROCLEAR per fiancate (CPS)

Dow Plastics CALIBRE™ 303 EP Polycarbonate			
Subcategory: Polycarbonate; Polymer; Thermoplastic			
Material Notes:			
Information provided by Dow			
Physical Properties	Metric	English	Comments
Specific Gravity	1.2 g/cc	0.0434 lb/in ³	ASTM D792
Water Absorption	0.15 %	0.15 %	23°C, 24hrs; ASTM D570
Water Absorption at Saturation	0.32 %	0.32 %	23°C, 50% RH; ASTM D570
Linear Mold Shrinkage	0.005 - 0.007 cm/cm	0.005 - 0.007 in/in	ASTM D955
Melt Flow	22 g/10 min	22 g/10 min	300°C / 1.2kg; ASTM D1238
Mechanical Properties			
Hardness, Rockwell M	72	72	ASTM D785
Hardness, Rockwell R	118	118	ASTM D785
Tensile Strength, Ultimate	65.5 MPa	9500 psi	ASTM D638
Tensile Strength, Yield	60 MPa	8700 psi	ASTM D638
Elongation at Break	120%	120%	ASTM D638
Tensile Modulus	2.34 GPa	340 ksi	2 in/min; ASTM D638
Flexural Modulus	2.41 GPa	350 ksi	ASTM D790
Flexural Strength	96.5 MPa	14000 psi	ASTM D790
Izod Impact, Unnotched	NB	NB	ASTM D256
Tensile Impact Strength	378 kJ/m ²	180 ft-lb/in ²	ASTM D1822, Type S
Dart Drop, Total Energy	72 J	53.1 ft-lb	3.2mm; 203 m/min; ASTM D1822
Izod Impact, Notched	7.47 J/cm	14 ft-lb/in	0.125 in; 10 mil notch; ASTM D256

Fig. A2.4. Scheda Policarbonato Dow plastics CALIBRE 303 EP

Overview - Nylon 6, 50% Glass Fiber Filled

Polyamide 6 50%GF AQUAMID

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	1.5 - 1.58 g/cc	0.0542 - 0.0571 lb/in ³	Average = 1.58 g/cc; Grade Count = 18
Water Absorption	0.8 - 5 %	0.8 - 5 %	Average = 3.2%; Grade Count = 12
Moisture Absorption at Equilibrium	1.5 %	1.5 %	Grade Count = 9
Water Absorption at Saturation		5%	Grade Count = 3
Linear Mold Shrinkage	0.00115 - 0.0045 cm/cm	0.00115 - 0.0045 in/in	Average = 0.0023 cm/cm; Grade Count = 14
Linear Mold Shrinkage, Transverse	0.007 - 0.011 cm/cm	0.007 - 0.011 in/in	Average = 0.0083 cm/cm; Grade Count = 10
Melt Flow	25 - 85 g/10 min	25 - 85 g/10 min	Average = 58.3 g/10 min; Grade Count = 6
Mechanical Properties			
Hardness, Rockwell R	120 - 121	120 - 121	Average = 120; Grade Count = 2
Tensile Strength, Ultimate	120 - 240 MPa	17400 - 34800 psi	Average = 190 MPa; Grade Count = 13
Tensile Strength, Yield	160 - 170 MPa	23200 - 24700 psi	Average = 170 MPa; Grade Count = 2
Elongation at Break	1 - 8 %	1 - 8 %	Average = 3.6%; Grade Count = 15
Elongation at Yield	1 - 5 %	1 - 5 %	Average = 3.3%; Grade Count = 3
Tensile Modulus	9.5 - 17.5 GPa	1380 - 2540 ksi	Average = 13.4 GPa; Grade Count = 13
Flexural Modulus	7.7 - 14.5 GPa	1120 - 2100 ksi	Average = 11.9 GPa; Grade Count = 7
Flexural Yield Strength	220 - 350 MPa	31900 - 50800 psi	Average = 300 MPa; Grade Count = 7
Compressive Yield Strength	165 MPa	23900 psi	Grade Count=1
Izod Impact, Notched	1.44 - 2 J/cm	2.7 - 3.75 ft-lb/in	Average = 1.8 J/cm; Grade Count = 7
Izod Impact, Unnotched	12 J/cm	22.5 ft-lb/in	Grade Count = 1
Izod Impact, Notched, Low Temp	1.3 J/cm	2.44 ft-lb/in	Grade Count = 4
Charpy Impact Unnotched	9 - NB	42.8 - NB	Average = 11.2 J/cm ² (NB computed as 20 J/cm ²); Grade Count = 8
Charpy Impact, Notched, Low Temp	1.1 - 1.6 J/cm ²	6.24 - 7.81 ft-lb/in ²	Average = 1.3 J/cm ² ; Grade Count = 6
Charpy Impact, Unnotched Low Temp	8.5 - 9.5 J/cm ²	40.5 - 45.2 ft-lb/in ²	Average = 9 J/cm ² ; Grade Count = 6
Charpy Impact, Notched	1.5 - 3 J/cm ²	7.14 - 14.3 ft-lb/in ²	Average = 2.3 J/cm ² ; Grade Count = 8

Fig. A2.5. Scheda Nylon AQUAMID

107 12 Uel

R: 0549969013

CAMERA ALLUMINIO

COMPOSIZIONE CHIMICA DELLE LEGHE DI ALLUMINIO																
DENOMINAZIONE	Si	Fe	Mn	Mg	Cr	Zn	Cr	Ti	Ni	Pb	Bi	V	ALTRI ELEMENTI	IMPURITA' CIASCUNA TOTALE	ALLUMINIO MINIMO	
→ SERIE 1000 AL	9001/2	0,25	0,4	0,05	0,05	0,05	0,07	-	0,05	-	-	-	-	0,03	-	99,5
	9002/5	0,4	0,7	-	-	5,0-6,0	0,3	-	-	0,30-0,60	0,20-0,60	-	-	0,05	0,15	-
SERIE 2000 AL-CU	9006/1	0,30-0,60	0,10-0,30	0,1	0,35-0,6	0,1	0,15	0,05	0,1	-	-	-	-	0,05	0,15	-
SERIE 6000 AL-MG-SI	9006/4	0,7-1,3	0,5	0,4	0,6-1,2	0,1	0,2	0,25	0,1	-	-	-	-	0,05	0,15	-

CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLE LEGHE IN ALLUMINIO DA LAMINAZIONE						
LEGA	STATO	RESISTENZA A TRAZIONE	CARICO DI SNERVAMENTO	ALLUNGAMENTO SU 50 mm - A%		DUREZZA HB
		RM (N/mm ²)	Rp0.2 (N/mm ²)			
	O	65-85	20	32	-	31
→ 1000 (9001/2)	H24	105-145	55	3	-	31
	H18	140 Min	120	3	-	40
6000 (9006/4)	T6	335	290	-	13	105
	O	190-240	80	14	-	50
5754	H32	210-270	130	8	-	65
	H24	240-280	160	6	-	75
	H18	290 Min	180	3	-	85

CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLE LEGHE DI ALLUMINIO						
LEGA	STATO	RESISTENZA A TRAZIONE	CARICO DI SNERVAMENTO	ALLUNGAMENTO SU 50 mm - A%		DUREZZA HB
		RM (N/mm ²)	Rp0.2 (N/mm ²)			
→ 9006/1	T6	305	165	12	-	65
9006/4	T6	335	290	-	13	105
9002/5	T6	310	240	-	1	98
9001/2	H24	105-145	55	3	-	31

Fig. A2.6. Scheda Alluminio

APPENDICE 3

Tipologie di protezioni rigide

In questa appendice sono riportate immagini di due differenti tipi di protezione rigida.

La prima (Figura A3.1) è una protezione montata sul coltello dove si nota la presenza del condotto per l'aspirazione delle polveri, la maniglia per il sollevamento, il fronte inclinato per l'accesso del pezzo, il disegno in rilievo che ne indica l'utilizzo.

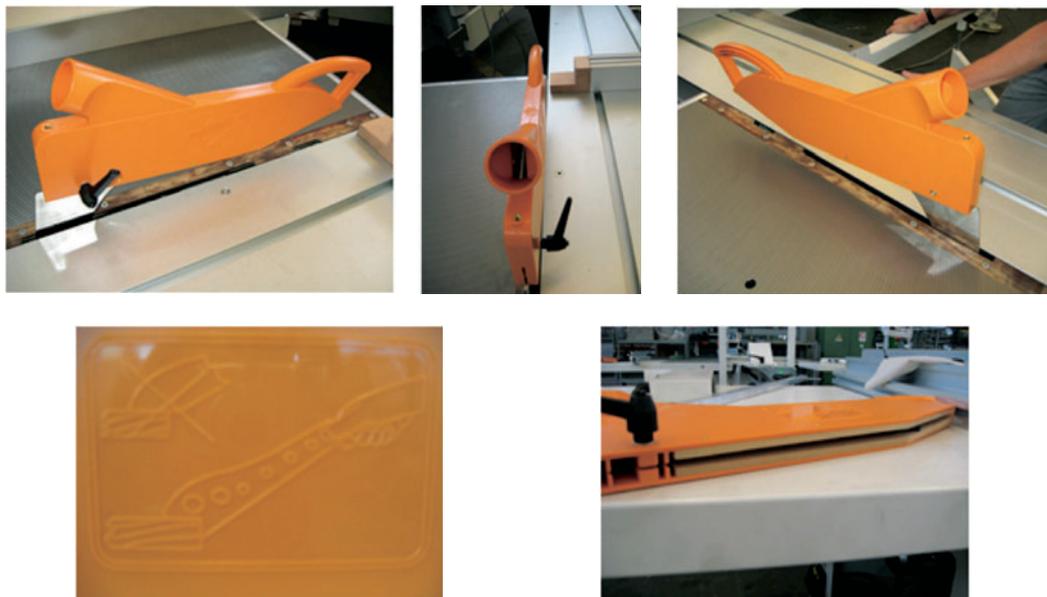


Fig. A3.1. Protezione della lama montata sul coltello

La seconda (Figura A3.2) è una protezione sospesa dove si nota la cuffia con fiancata piana per lavorazioni a lama dritta e la maniglia.

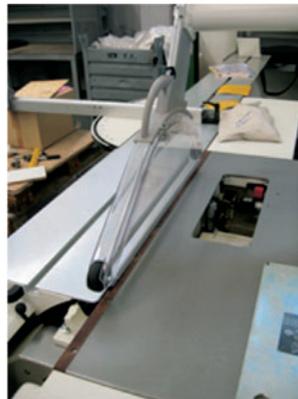


Fig. A3.2. Protezione della lama sospesa