

<b>Ente Nazionale Italiano di Unificazione</b>	Via Battistotti Sassi, 11b 20133 Milano - Italia
Ente riconosciuto con DPR n. 1522 del 20.9.1955 Membro Italiano ISO e CEN	Telefono (02) 700241 Telefax Sett. Vendite (02) 70105992 Telefax Sett. Tecnico (02) 70106106 Internet: <a href="http://www.uni.com">http://www.uni.com</a>
P.IVA 06786300159 CF 80037830157	CCP 31636202



## LICENZA D'USO

UNI riconosce al cliente di questo prodotto scaricato on-line dal **webstore UNI** (d'ora in avanti denominati solo "prodotto") i diritti non esclusivi e non trasferibili di cui al dettaglio seguente, in conseguenza del pagamento degli importi dovuti.

Il cliente ha accettato di essere vincolato ai termini fissati in questa licenza circa l'installazione e la realizzazione di copie o qualsiasi altro utilizzo del prodotto.

La licenza d'uso non riconosce al cliente la proprietà del prodotto, ma esclusivamente un diritto d'uso secondo i termini fissati in questa licenza.

UNI può modificare in qualsiasi momento le condizioni di licenza d'uso.

## COPYRIGHT

Il cliente ha riconosciuto che:

- il prodotto è di proprietà di UNI in quanto titolare del copyright -così come indicato all'interno del prodotto- e che tali diritti sono tutelati dalle leggi nazionali e dai trattati internazionali sulla tutela del copyright
- tutti i diritti, titoli e interessi nel e sul prodotto sono e saranno di UNI, compresi i diritti di proprietà intellettuale.

## UTILIZZO DEL PRODOTTO

Il cliente può installare ed utilizzare esclusivamente per fini interni del proprio personale dipendente una sola copia di questo prodotto, su postazione singola.

Le condizioni per l'installazione che permetta la condivisione del prodotto da parte di più postazioni devono essere concordate con UNI.

Al cliente è consentita la realizzazione di UNA SOLA COPIA del file del prodotto, ai fini di backup.

Il testo del prodotto non può essere modificato, tradotto, adattato e ridotto.

L'unica versione del testo che fa fede è quella conservata negli archivi UNI.

È autorizzata la riproduzione -NON INTEGRALE- del prodotto solo su documenti ad esclusivo uso interno del cliente.

È vietato dare il prodotto in licenza o in affitto, rivenderlo, distribuirlo o cederlo a qualunque titolo in alcuna sua parte, né in originale né in copia.

## AGGIORNAMENTO DEL PRODOTTO

Questo prodotto scaricato on-line dal **webstore UNI** è la versione in vigore al momento della vendita.

Il prodotto è revisionato, quando necessario, con la pubblicazione di nuove edizioni o di aggiornamenti. UNI non si impegna ad avvisare il cliente della pubblicazione di varianti, errata corrige o nuove edizioni che modificano, aggiornano o superano completamente il prodotto; è importante quindi che il cliente si accerti di essere in possesso dell'ultima edizione e degli eventuali aggiornamenti.

## RESPONSABILITA' UNI

Né UNI né un suo dirigente, dipendente o distributore può essere considerato responsabile per ogni eventuale danno che possa derivare, nascere o essere in qualche modo correlato con il possesso o l'uso del prodotto da parte del cliente. Tali responsabilità sono a carico del cliente.

## TUTELA LEGALE

Il cliente assicura a UNI la fornitura di tutte le informazioni necessarie affinché sia garantito il pieno rispetto dei termini di questo accordo da parte di terzi. Nel caso in cui l'azione di terzi possa mettere in discussione il rispetto dei termini di questo accordo, il cliente si impegna a collaborare con UNI al fine di garantirne l'osservanza.

UNI si riserva di intraprendere qualsiasi azione legale nei confronti del cliente a salvaguardia dei propri diritti in qualsiasi giurisdizione presso la quale vi sia stata una violazione del presente accordo.

L'accordo è regolato dalla normativa vigente in Italia e il tribunale competente per qualsiasi controversia è quello di Milano.

<b>NORMA ITALIANA</b>	<b>Prodotti per l'isolamento delle vibrazioni Determinazione delle caratteristiche meccaniche di materassini e piastre</b>	<b>UNI 10570</b>
		GIUGNO 1997
	Vibration isolation products Determination of mechanical characteristics of mats and pads	
<b>DESCRITTORI</b>	Antivibrante, prova, caratteristica meccanica, materassino, piastra	
<b>CLASSIFICAZIONE ICS</b>	17.160	
<b>SOMMARIO</b>	La norma definisce le modalità di prova per la caratterizzazione meccanica in campo statico e dinamico dei materassini e piastre.	
<b>RELAZIONI NAZIONALI</b>		
<b>RELAZIONI INTERNAZIONALI</b>		
<b>ORGANO COMPETENTE</b>	Commissione "Vibrazioni"	
<b>RATIFICA</b>	Presidente dell'UNI, delibera del 21 maggio 1997	
<b>RICONFERMA</b>		

## **PREMESSA**

La presente norma è stata elaborata dalla Commissione "Vibrazioni" dell'UNI, nell'ambito del Gruppo di lavoro "Antivibranti", ed è stata approvata per la sua presentazione alla Commissione Centrale Tecnica dell'UNI il 29 settembre 1994.

È stata quindi esaminata ed approvata dalla Commissione Centrale Tecnica, per la pubblicazione come norma raccomandata, il 7 marzo 1996.

---

Le norme UNI sono revisionate, quando necessario, con la pubblicazione di nuove edizioni o di aggiornamenti.

È importante pertanto che gli utenti delle stesse si accertino di essere in possesso dell'ultima edizione e degli eventuali aggiornamenti.

## INDICE

<b>0</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>RIFERIMENTO NORMATIVO</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>TERMINI, SIMBOLI, DEFINIZIONI</b>	<b>1</b>
<b>4</b>	<b>PROVE DI CARATTERIZZAZIONE MECCANICA</b>	<b>5</b>
4.1	Prove quasi-statiche.....	5
4.2	Prove dinamiche.....	6
<b>5</b>	<b>PROVE DI INVECCHIAMENTO MECCANICO</b>	<b>7</b>
5.1	Prove di deformazione permanente .....	8
5.2	Prove a fatica .....	8
<b>6</b>	<b>MODALITÀ DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI DI LABORATORIO</b>	<b>10</b>
6.1	Resoconti di prova.....	10
6.2	Classificazione dei prodotti.....	11
6.3	Schede tecniche di prodotto .....	11
<b>APPENDICE A</b> (informativa)	<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI</b>	<b>12</b>
<b>APPENDICE B</b> (normativa)	<b>ATTREZZATURA DI PROVA - DESCRIZIONE, PRESCRIZIONI E CONTROLLI</b>	<b>13</b>
figura B.1	Esemplificativo dell'attrezzatura di prova.....	14
<b>APPENDICE C</b> (normativa)	<b>PROVA QUASI-STATICA - CRITERI DI ANALISI E DI INTERPRETAZIONE DEI DATI</b>	<b>15</b>
<b>APPENDICE D</b> (normativa)	<b>PROVA DINAMICA FORZATA - CRITERI DI ANALISI E DI INTERPRETAZIONE DEI DATI</b>	<b>16</b>
figura D.1	Prova dinamica forzata - Modello di riferimento e di interpretazione dei dati .....	18
<b>APPENDICE E</b> (normativa)	<b>PROVA DINAMICA DI OSCILLAZIONE LIBERA - CRITERI DI ANALISI E DI INTERPRETAZIONE DEI DATI</b>	<b>19</b>
figura E.1	Prova dinamica di oscillazione libera - Modello di riferimento e di interpretazione dei dati.....	20
<b>APPENDICE F</b> (informativa)	<b>PROVA DI DEFORMAZIONE PERMANENTE - CRITERI DI VALUTAZIONE DEI RISULTATI</b>	<b>21</b>
<b>APPENDICE G</b> (normativa)	<b>PROVA A FATICA - CONSIDERAZIONI E CRITERI DI VALUTAZIONE DEI RISULTATI</b>	<b>22</b>
<b>APPENDICE H</b> (informativa)	<b>CLASSIFICAZIONE DEI PRODOTTI</b>	<b>23</b>
<b>APPENDICE I</b> (informativa)	<b>SCHEDA TECNICA DI PRODOTTO</b>	<b>24</b>
figura I.1	Esempio di scheda tecnica di prodotto per piastra.....	25
figura I.2	Esempio di scheda tecnica di prodotto per materassino .....	26



0

## INTRODUZIONE

Le caratteristiche meccaniche dei prodotti per il controllo delle vibrazioni devono essere normalizzate per poter soddisfare i seguenti due aspetti:

- **tecnici:** scelta dei prodotti durante la progettazione e il controllo in fase di installazione;
- **di mercato:** confronto del rapporto costi/prestazioni di più prodotti disponendo di parametri tecnici facilmente comparabili.

1

## SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE

La presente norma definisce le modalità di prova per la caratterizzazione meccanica in campo statico e dinamico e la valutazione dell'invecchiamento meccanico per la fase di qualifica e/o per la fase di controllo dei prodotti.

Essa si applica a tutti quei prodotti elastomerici o similari di qualsiasi materiale semplice e composto (gomma, poliuretano, lana di vetro, gomma-sughero, metallo, ecc.) con la forma di piastre ("pads") o di materassini ("mats") aventi i seguenti due requisiti:

- una dimensione (spessore o altezza  $h$ ) è minore rispetto alle altre dimensioni; per elementi non circolari: lunghezza  $d_l$  e larghezza  $d_t$ ; ossia prodotti che rispettano rapporti tra lo spessore e la dimensione trasversale  $r$  sotto indicati:

$$r/h \geq 10$$

dove:

$r$  è, per elementi a sezione circolare il raggio, e per elementi a sezione non circolare rappresenta il valore equivalente alle dimensioni longitudinale  $d_l$  e trasversale  $d_t$  ossia:

$$\text{area del campione: } \Omega = d_l \cdot d_t$$

$$\text{raggio equivalente: } r = \sqrt{\Omega/\pi}$$

- i carichi sono applicati alle superfici maggiori e, prevalentemente, in direzione ad esse perpendicolare.

La presente norma è inoltre applicabile a quei prodotti realizzati in sito (vedere materassini e piastre confezionati attraverso la miscela di due o più componenti) per i quali è necessario verificare il mantenimento delle caratteristiche nominali nelle condizioni di posa, certamente più critiche e meno controllabili rispetto a quelle presenti in stabilimento.

*Nota* In appendice A sono riportate, per eventuale approfondimento, alcuni riferimenti bibliografici.

2

## RIFERIMENTO NORMATIVO

UNI 9513                      Vibrazioni e urti - Vocabolario

3

## TERMINI, SIMBOLI, DEFINIZIONI

Ai fini della presente norma si applica la definizione della UNI 9513 oltre alle seguenti:

3.1

**prodotto:** È l'oggetto della presente norma suddiviso nelle successive tipologie di piastra e di materassino, da esaminare tramite indagini di tipo meccanico su più campioni.

3.2

**piastra:** Prodotto "discreto" o "a pezzi" o "manufatto" di geometria assegnata con eventuali fori, asole passanti, impronte, scevronature, parti in rilievo.

3.3

**materassino:** Prodotto "continuo" o "a metro quadro" in grandi lastre oppure in rotoli con eventuali impronte e scevronature.

- 3.4** **campione:** Piastra, oppure una porzione rappresentativa di un materassino, sottoposta alle indagini sperimentali. Il campione deve essere "vergine" ossia nuovo di fabbrica (non sottoposto a carichi e/o a trattamenti non previsti dal processo produttivo).
- 3.5** **carico iniziale:** Azione, costantemente presente in esercizio, prodotta su piastre o materassini dopo la fase di montaggio prevista per le specifiche applicazioni. Essa può essere indotta da coazioni iniziali (per esempio l'azione di clips o fermagli) o da carichi gravitazionali (per esempio il peso proprio del sistema gravante su materassini continui o su piastre discrete).  
A tale parametro vengono attribuiti i seguenti simboli:  
per piastre:  
 $F_0$  [N]  
per materassini:  
 $\sigma_0$  [N/mm<sup>2</sup>]
- 3.6** **carico di progetto:** Azione nominale da valutare per via di calcolo e/o per via sperimentale, prodotta su piastre o materassini a fronte dell'applicazione delle azioni di esercizio previste nelle specifiche applicazioni.  
In relazione alla natura delle azioni si distinguono due tipi di componente del carico di progetto:
- **"quasi-statico"** è la componente "quasi-statica" prodotta dai carichi accidentali presenti in esercizio. A tale parametro vengono attribuiti i seguenti simboli:  
per piastre:  
 $F_{ps}$  [N]  
per materassini:  
 $\sigma_{ps}$  [N/mm<sup>2</sup>]
  - **"dinamico"** è la componente «dinamica» prodotta dai carichi accidentali presenti in esercizio. A tale parametro vengono attribuiti i seguenti simboli:  
per piastre:  
 $F_{pd}$  [N]  
per materassini:  
 $\sigma_{pd}$  [N/mm<sup>2</sup>]
- 3.7** **fase di qualifica:** Si riferisce a quelle indagini rivolte alla definizione delle proprietà di un prodotto. L'accuratezza di un programma di prove di qualifica è di norma più spinta rispetto al programma di prove di controllo.
- 3.8** **fase di controllo:** Si riferisce alle verifiche delle proprietà di una partita di un prodotto già qualificato.
- 3.9** **attrezzatura di prova:** Insieme della strumentazione di misura, del sistema di carico, dell'apparecchiatura di controllo e registrazione dei dati necessari per effettuare le prove.

### 3.10

### Grandezze fisiche, simboli, unità di misura utilizzati

Spessore:	$h$	mm
Dimensione longitudinale:	$d_l$	mm
Dimensione trasversale:	$d_t$	mm
Area del campione:	$\Omega = d_l \cdot d_t$	mm <sup>2</sup>
Raggio equivalente:	$r = \sqrt{\Omega/\pi}$	mm
Tempo:	$t$	s
Periodo:	$T$	s
Frequenza:	$f = T^{-1}$	Hz
Pulsazione:	$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$	rad/s
Cedimento (schiacciamento):	$\delta$	mm
Deformazione:	$\varepsilon = \delta/h$	%
Velocità di schiacciamento:	$v = d\delta/dt$	mm/s
Accelerazione di schiacciamento:	$a = dv/dt$	mm/s <sup>2</sup>
Accelerazione di gravità:	$a_g = 9\,810$	mm/s <sup>2</sup>
Forza applicata (o carico):	$F$	N
Carico specifico:	$\sigma = F/\Omega$	N/mm <sup>2</sup>
Massa:	$M$	kg
Massa specifica (riferita alla superficie del campione):	$m = M/\Omega$	kg/mm <sup>2</sup>
Rigidezza elastica:	$K$	N/mm <sup>2</sup>
- quasi-statica:	$K_s$	N/mm
- dinamica:	$K_d$	N/mm
Rigidezza elastica specifica riferita alla superficie del campione (rigidezza o modulo alla "Winkler"):	$k = K/\Omega$	N/mm <sup>3</sup>
- quasi-statica:	$k_s = K_s/\Omega$	N/mm <sup>3</sup>
- dinamica:	$k_d = K_d/\Omega$	N/mm <sup>3</sup>
Smorzamento isteretico:	$G$	N/mm <sup>3</sup>
- quasi-statico:	$G_s$	N/mm <sup>3</sup>
- dinamico:	$G_d$	N/mm <sup>3</sup>
Smorzamento isteretico specifico (riferito alla superficie del campione):	$g = G/\Omega$	N/mm <sup>3</sup>
- quasi-statico:	$g_s = G_s/\Omega$	N/mm <sup>3</sup>
- dinamico:	$g_d = G_d/\Omega$	N/mm <sup>3</sup>
Smorzamento viscoso (riferito alla superficie del campione):	$B$	N · s/mm
Smorzamento viscoso specifico (riferito alla superficie del campione):	$b = B/\Omega$	N · s/mm <sup>3</sup>



Unità immaginaria:	$j = \sqrt{-1}$	-
Fattore di smorzamento viscoso:	$v_v = \frac{B}{2 \cdot \sqrt{K \cdot M}}$	-
	$v_v = \frac{b}{2 \cdot \sqrt{k \cdot m}}$	-
Fattore di smorzamento isteretico:	$v_i = \frac{G}{2 \cdot K}$	-
	$v_i = \frac{g}{2 \cdot k}$	-
Fattore di perdita:	$\text{tg}(\theta) = \frac{G}{K}$	-
	$\text{tg}(\theta) = \frac{g}{k}$	-
Pulsazione naturale:	$\omega_d = \sqrt{\frac{K}{M}}$	rad/s
	$\omega_d = \sqrt{\frac{k}{m}}$	rad/s
Frequenza naturale:	$f_d = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{K}{M}}$	Hz
	$f_d = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}$	Hz
Periodo proprio:	$T_d = \frac{1}{f_d}$	s
Fattore di smorzamento proprio (globale):	$v = v_v + v_i$	-
- quasi-statico:	$v_s$	-
- dinamico:	$v_d$	-
Frequenza iniziale della prova dinamica:	$f_i$	
Frequenza finale della prova dinamica:	$f_f$	Hz
Incremento/passaggio della frequenza durante la prova dinamica:	$\Delta f$	Hz
Frequenza della prova ciclica a fatica:	$f_c$	Hz
Numero di cicli della prova ciclica a fatica:	$N_c$	-
Funzione di risposta in frequenza:	$H(f)$	mm/N
Funzione specifica di risposta in frequenza (riferita alla superficie del campione):	$h(f) = H(f) \cdot \Omega$	mm <sup>3</sup> /N

## 4

### PROVE DI CARATTERIZZAZIONE MECCANICA

Le prove di caratterizzazione meccanica sono necessarie per determinare sperimentalmente le caratteristiche **elastiche** e **dissipative** dei prodotti tenendo conto del fatto che in genere i prodotti in prova non presentano un comportamento lineare e che in esercizio sono impegnati da carichi statici ai quali si sovrappongono azioni di natura ciclica e/o dinamica.

Ai fini della determinazione dei livelli da adottare per i carichi di prova, nel seguito si farà riferimento ai **carichi iniziale e di progetto (componente quasi-statica e dinamica)** definiti in 3.

Per ogni prova si dovrà utilizzare un differente campione del prodotto indagato. Il set di campioni provati deve essere caratterizzato da comportamenti omogenei ossia in generale la campionatura deve essere condotta su un «lotto produttivo omogeneo».

Le prove di caratterizzazione meccanica sono così classificate:

- prove quasi-statiche (vedere 4.1);
- prove dinamiche (vedere 4.2).

### 4.1

#### Prove quasi-statiche

Le prove quasi-statiche sono le prove di caratterizzazione meccanica più tradizionale, che prevedono l'applicazione del carico secondo modalità predefinite (curva carico-tempo) e che si propongono di valutare il comportamento meccanico dei prodotti a fronte di carichi applicati in modo **"lento"** o **"quasi-statico"**.

Esse prescrivono l'applicazione di carichi monotonicamente crescenti, con legge lineare, sino ad un valore massimo e successivamente decrescenti pure con legge lineare. Si prevede la sequenza di tre successivi cicli ciascuno dei quali composto da un ramo ascendente (carico) e da un ramo discendente (scarico). I primi due cicli di carico e scarico sono preliminari e servono per assestare il campione e il suo accoppiamento meccanico nella attrezzatura di prova (appendice B); l'ultimo ciclo viene preso in esame per la valutazione dei parametri statici.

Le specifiche di prova sono:

- **dimensioni dei campioni:** l'intero manufatto  
almeno 300 mm · 300 mm per piastre  
per materassini
- **temperatura prova:** 15 - 20 °C salvo prescrizioni differenti connesse con particolari impieghi previsti per il prodotto. In ogni caso nei resoconti di prova dovrà essere indicata l'effettiva temperatura riscontrata nel corso della sperimentazione.
- **carico di prova:**  $F_{\max} = F_o + F_{ps} + F_{pd}$  per piastre  
 $\sigma_{\max} = \sigma_o + \sigma_{ps} + \sigma_{pd}$  per materassini
- **modalità di prova:** carico e scarico ( $0 - F_{\max} - 0$  oppure  $0 - \sigma_{\max} - 0$ ) ripetuto tre volte. Per evitare il distacco del ripartitore superiore del carico dal campione in prova, è consentito un pre-carico che comunque non dovrà superare il 5% del carico massimo.
- **durata della prova:** 6 min, ossia ogni fase di carico o di scarico ha una durata di 1 min.

I risultati dell'indagine quasi-statica, da allegare al resoconto di prova, sono:

- **curva carico-tempo**, relativa sia ai due preliminari cicli di "assestamento" sia a quello conclusivo "di prova", da confrontare in forma grafica con l'andamento teorico prescritto;
- **curva carico-cedimento** relativa sia ai due cicli preliminari sia a quello conclusivo;
- **rigidezza quasi-statica secante**  $K_s$  (o  $k_s$ ) valutata secondo le modalità indicate in appendice C;

- **smorzamento quasi-statico**  $G_s$  (oppure  $g_s$ ), fattore di smorzamento quasi-statico  $v_s$  e fattore di perdita  $tg(\theta)$  valutati secondo le modalità indicate nell'appendice C.

## 4.2

### Prove dinamiche

Le prove dinamiche possono essere effettuate secondo due modalità:

- prove dinamiche forzate (vedere 4.2.1), più accurate rispetto a quelle di oscillazione libera, utilizzate nella fase di qualifica;
- prove dinamiche di oscillazione libera (vedere 4.2.2), più semplificate rispetto a quelle forzate, utilizzate solo nella fase di controllo.

### 4.2.1

#### Prove dinamiche forzate

Le prove dinamiche forzate consentono di valutare i parametri meccanici dei prodotti con riferimento a quelli legati alla frequenza di applicazione del carico dinamico.

L'analisi dei dati deve essere condotta con adeguata attenzione in quanto potrebbero essere presenti apprezzabili forze di inerzia e movimenti dell'attrezzatura di prova (appendice B) capaci di «inquinare» i valori sperimentali. A tale proposito si rimanda alle indicazioni e prescrizioni fornite nell'appendice B.

Le modalità di prova prevedono l'applicazione di carichi,  $F(t)$  [oppure  $\sigma(t)$ ], caratterizzati dalla presenza di componenti quasi-statiche,  $F_s$  [oppure  $\sigma_s$ ], e di componenti dinamiche,  $F_d$  [oppure  $\sigma_d$ ], variabili nel tempo  $t$  con legge sinusoidale; ossia:

$$F(t) = F_s + F_d \cdot \sin[(2 \cdot \pi \cdot f) \cdot t] \quad \text{per piastre}$$

$$\sigma(t) = \sigma_s + \sigma_d \cdot \sin[(2 \cdot \pi \cdot f) \cdot t] \quad \text{per materassini}$$

Nel corso della prova la frequenza  $f$  (o la pulsazione  $\omega$ ) viene fatta variare tra  $f_i$  e  $f_f$ , attraverso incrementi o passi discreti  $\Delta_f$ :

$$f = f_i, (f_i + \Delta_f), (f_i + 2 \cdot \Delta_f), (f_i + 3 \cdot \Delta_f), \dots, (f_f - \Delta_f), f_f$$

Le specifiche di prova sono:

- |                                   |                                     |                           |
|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| - <b>dimensioni dei campioni:</b> | l'intero manufatto                  | per piastre               |
|                                   | almeno 300 mm · 300 mm              | per materassini           |
| - <b>temperatura prova:</b>       | vedere 4.1                          |                           |
| - <b>carico quasi statico:</b>    | $F_s = F_0 + F_{ps}$                | per piastre               |
|                                   | $\sigma_s = \sigma_0 + \sigma_{ps}$ | per materassini           |
| - <b>carico dinamico:</b>         | $F_d = \pm F_{pd}$                  | per piastre               |
|                                   | $\sigma_d = \pm \sigma_{pd}$        | per materassini           |
| - <b>campo di frequenza:</b>      | - frequenza iniziale:               | $f_i = 2 \text{ Hz}$      |
|                                   | - frequenza finale:                 | $f_f = 100 \text{ Hz}$    |
|                                   | - incremento di frequenza:          | $\Delta_f = 2 \text{ Hz}$ |

Qualora nel corso delle prove vi sia la presenza di importanti fenomeni di amplificazione dinamica del sistema in prova (campione e attrezzatura di carico) non facilmente controllabili, le indagini potranno essere condotte con controllo cinematico come precisato nell'appendice D.

L'analisi dei dati registrati, condotta secondo le modalità ed i criteri riportati nell'appendice D, consente di individuare, per il prodotto esaminato, le seguenti grandezze di natura dinamica:

- <b>le funzioni spettrali di trasferimento:</b>	$H(f)^{-1}$	[N/mm]	per piastre
	$h(f)^{-1}$	[N/mm <sup>3</sup> ]	per materassini
- <b>la rigidità dinamica:</b>	$K_d$	[N/mm]	per piastre
	$k_d$	[N/mm <sup>3</sup> ]	per materassini
- <b>lo smorzamento isteretico dinamico:</b>	$G_d$	[N/mm]	per piastre
	$g_d$	[N/mm <sup>3</sup> ]	per materassini
- <b>lo smorzamento viscoso:</b>	$B$	[N·s/mm]	per piastre
	$b$	[N·s/mm <sup>3</sup> ]	per materassini

#### 4.2.2

#### Prove dinamiche di oscillazione libera

Le prove dinamiche forzate (vedere 4.2.1) consentono di disporre di informazioni sul comportamento dinamico del prodotto con notevole grado di dettaglio a fronte di indagini sofisticate e quindi lunghe e complesse.

Per tale ragione è stata elaborata una procedura alternativa che, con un minor grado di precisione, consente di disporre di parametri sul comportamento dinamico dei prodotti. Questa procedura speditiva può essere utilizzata solo in fase di controllo del prodotto e non è da considerarsi alternativa alle prove dinamiche forzate nella fase di qualifica.

Le prove di oscillazione libera svolte secondo quanto indicato nell'appendice E prevedono di porre, al di sopra del campione da esaminare, un prisma che rappresenta una massa flottante (di massa  $M_f$  nota). La prova consiste nella misurazione e nell'analisi delle oscillazioni libere della massa flottante prodotte da un carico impulsivo (per esempio utilizzando una mazza o un grave guidato in caduta libera). La misurazione viene effettuata utilizzando una coppia di accelerometri disposti sull'estradosso della massa flottante in modo simmetrico con l'intento di lasciare sgombra la parte centrale ove vengono assestati gli impulsi (vedere figura E.1).

I parametri che definiscono la prova, salvo particolari prescrizioni legate al tipo di applicazione e/o prodotto specifici, sono fissate dalla presente norma da due differenti valori della massa da utilizzare:

$$M_{f1} = 100\% \cdot (F_0 + F_{ps})/a_g \quad M_{f2} = 60\% \cdot (F_0 + F_{ps})/a_g \quad [\text{kg}] \quad \text{per piastre}$$

$$m_{f1} = 100\% \cdot (\sigma_0 + \sigma_{ps})/a_g \quad m_{f2} = 60\% \cdot (\sigma_0 + \sigma_{ps})/a_g \quad [\text{kg/mm}^2] \quad \text{per materassini}$$

dove:

$a_g$  è l'accelerazione di gravità (pari a 9 810 mm/s<sup>2</sup>).

L'analisi degli accelerogrammi registrati, condotta secondo le modalità ed i criteri riportati nell'appendice E e mediando i risultati ottenuti per i due valori delle masse flottanti, consente di individuare del prodotto esaminato:

- la rigidità dinamica:	$K_d$	[N/mm]	per piastre
	$k_d$	[N/mm <sup>3</sup> ]	per materassini
- il fattore di smorzamento dinamico:	$v_d$		

## 5

### PROVE DI INVECCHIAMENTO MECCANICO

Le prove di invecchiamento meccanico sono necessarie per determinare sperimentalmente le capacità dei prodotti di conservare le loro caratteristiche fisico-meccaniche pur in presenza di azioni meccaniche di tipo costante e di tipo ciclico.

Ai fini della definizione dei livelli per i carichi di prova, nel seguito si farà riferimento ai carichi iniziale e di progetto (componente quasi-statica e dinamica) definiti in 3.

Per ogni prova si dovrà utilizzare un differente campione del prodotto indagato. Il set di campioni provati deve essere caratterizzato da comportamenti omogenei ossia in generale la campionatura deve essere condotta su un «lotto produttivo omogeneo».

Per la valutazione dell'invecchiamento meccanico dei prodotti sono previste:

- prove di deformazione permanente (vedere 5.1);
- prove a fatica (vedere 5.2).

## 5.1

## Prove di deformazione permanente

Le prove di deformazione permanente si propongono di valutare il comportamento del prodotto nei confronti di carichi permanenti applicati per un prolungato periodo di tempo.

La prova va condotta mantenendo per un periodo  $T_p$  il campione alla deformazione costante di prova  $\varepsilon_p$  e valutando la deformazione residua  $\varepsilon_r$  dopo il tempo di rilascio  $T_r$  intercorso dallo scarico del campione.

Le specifiche di prova sono:

- **dimensioni dei campioni:** almeno 1/4 di manufatto per piastre  
almeno 150 mm · 150 mm per materassini
- **temperatura prova:** vedere 4.1
- **numero dei campioni:** 3, in quanto i risultati delle prove (deformazione residua  $\varepsilon_r$ ) devono essere valutati considerando il valore medio fornito da 3 differenti campioni
- **durata della prova:**  $T_p = 70$  h (a deformazione  $\varepsilon_p$  costante)
- **tempo di rilascio:**  $T_r = 30$  min
- **cedimento di prova:**  $\delta_p$  [mm] (vedere appendice F)
- **deformazione di prova:**  $\varepsilon_0 = \delta_p/h$  [%]

La prova consente di individuare del prodotto esaminato:

- cedimento residuo:  $\delta_r$  [mm]
- deformazione residua:  $\varepsilon_r = \delta_r / h$  [%]

Per i criteri di valutazione dei risultati si rimanda all'appendice F.

## 5.2

## Prove a fatica

Le prove a fatica intendono riprodurre un elevato numero di cicli a un prefissato carico  $F(t)$  [oppure  $\sigma(t)$ ] che rappresenti per intensità e numero di cicli alcuni anni di esercizio.

Il carico di fatica è caratterizzato da una componente media  $F_m$  (o  $\sigma_m$ ) e da una componente ciclica  $F_c$  (o  $\sigma_c$ ) con legge sinusoidale:

$$F(t) = F_m + F_c \cdot \text{sen} [(2 \cdot \pi \cdot f_c) \cdot t] \quad \text{per piastre}$$

$$\sigma(t) = \sigma_m + \sigma_c \cdot \text{sen} [(2 \cdot \pi \cdot f_c) \cdot t] \quad \text{per materassini}$$

L'attrezzatura di prova sarà la stessa utilizzata per le indagini di caratterizzazione (vedere appendice B) consentendo quindi immediata alternanza tra differenti fasi della prova a fatica con specifiche prove di caratterizzazione utili al fine di controllare l'entità dei degradi in atto.

I parametri che definiscono la prova a fatica, salvo particolari prescrizioni legate al tipo di applicazione e/o prodotto specifico, sono:

- **dimensioni dei campioni:** l'intero manufatto  
almeno 300 mm · 300 mm per piastre  
per materassini
- **temperatura prova:** vedere 3.1
- **carico medio:** vedere 5.2.1 oppure 5.2.2
- **carico ciclico:** vedere 5.2.1 oppure 5.2.2
- **frequenza:**  $f_c = 10$  Hz (può essere utilizzata anche una frequenza inferiore)
- **numero di cicli:**  $N_c = 3 \cdot 10^6$  (tre milioni)
- **durata della prova:** con riferimento ai valori richiesti per la frequenza ciclica  $f_c$  e per il numero di cicli  $N_c$  si deve prevedere una durata continuativa della prova a fatica di almeno 3,5 d
- **accorgimenti:** il campione, dopo il suo posizionamento nell'attrezzatura di prova, non deve essere spostato durante le varie fasi dell'indagine
- **monitoraggio:** durante la prova ciclica a fatica devono essere monitorati in modo continuo i valori medi e ciclici del carico applicato e dei cedimenti del campione
- **controlli:**
  - controllo iniziale: a cicli  $0 \cdot 10^6$
  - controllo intermedio: a cicli  $1 \cdot 10^6$
  - controllo intermedio: a cicli  $2 \cdot 10^6$
  - controllo finale: a cicli  $3 \cdot 10^6$

In particolare in ciascuna fase di controllo deve essere misurato lo spessore medio del campione sotto l'attrezzatura di prova a carico nullo e deve essere condotta una prova di caratterizzazione quasi-statica con valutazione delle rigidezze elastiche quasi statiche ( $K_s; k_s$ ).

Tale prova di controllo deve essere condotta almeno due ore dopo la fine della precedente fase di carico ciclico a fatica.

Per la valutazione del comportamento a fatica del prodotto vanno valutati i seguenti parametri:

- la variazione percentuale complessiva dello spessore medio del campione:
- $\varepsilon_t$  (da cicli  $0 \cdot 10^6$  a  $3 \cdot 10^6$ );
- le variazioni percentuali, tra una fase e la successiva, dello spessore medio del campione:
- $\varepsilon_1$  (da cicli  $0 \cdot 10^6$  a  $1 \cdot 10^6$ );
- $\varepsilon_2$  (da cicli  $1 \cdot 10^6$  a  $2 \cdot 10^6$ );
- $\varepsilon_3$  (da cicli  $2 \cdot 10^6$  a  $3 \cdot 10^6$ );

a fronte di ispezioni visive iniziali e finali del campione, vanno valutate le variazioni della geometria e le smagliature delle due superfici caricate; questi aspetti vanno quantificati attraverso il rapporto percentuale tra la porzione di superfici interessate da variazioni di geometria e/o da presenza di smagliature ( $\Omega_i$  inferiore e  $\Omega_s$  superiore) e le intere superfici ( $2 \cdot \Omega$ ):

$$\Phi_{\Omega} = \frac{[\Omega_i + \Omega_s]}{[2 \cdot \Omega]}$$

la variazione percentuale complessiva dei valori della rigidezza secante del campione:

$$\Phi_{k[t]} \text{ (da cicli } 0 \cdot 10^6 \text{ a } 1 \cdot 10^6 \text{);}$$

le variazioni percentuali, tra una fase e la successiva, dei valori della rigidezza secante del campione:

$$\Phi_{k[1]} \text{ (da cicli } 1 \cdot 10^6 \text{ a } 2 \cdot 10^6 \text{);}$$

$\Phi_{k[2]}$  (da cicli  $2 \cdot 10^6$  a  $3 \cdot 10^6$ );

$\Phi_{k[3]}$  (da cicli  $2 \cdot 10^6$  a  $3 \cdot 10^6$ );

la variazione percentuale complessiva dei cedimenti ciclici del campione:

$\Phi_{\delta c[t]}$  (da cicli  $0 \cdot 10^6$  a  $3 \cdot 10^6$ );

le variazioni percentuali, durante ciascuna fase di prova ciclica, dei cedimenti ciclici del campione:

$\Phi_{\delta c[1]}$  (da cicli  $0 \cdot 10^6$  a  $1 \cdot 10^6$ );

$\Phi_{\delta c[2]}$  (da cicli  $1 \cdot 10^6$  a  $2 \cdot 10^6$ );

$\Phi_{\delta c[3]}$  (da cicli  $2 \cdot 10^6$  a  $3 \cdot 10^6$ );

Per i criteri di valutazione dei risultati si rimanda all'appendice G.

## 5.2.1

### Componente quasi-statica del carico di progetto prevalente ai fini della fatica

È il caso in cui in esercizio è previsto che la componente quasi-statica del carico di progetto sia prevalente rispetto alla componente dinamica ai fini della fatica; ossia è previsto che in esercizio il carico quasi-statico sia ripetutamente applicato per un elevato numero di volte (almeno un milione per la vita prevista del prodotto).

In questo caso i carichi di prova a fatica vanno scelti nel seguente modo:

- **componente media:**  $F_m = F_0 + F_{ps} / 2$  per piastre  
 $\sigma_m = \sigma_0 + \sigma_{ps} / 2$  per materassini
- **componente ciclica:**  $F_c = (F_{ps} / 2 + F_{pd})$  per piastre  
 $\sigma_c = (\sigma_{ps} / 2 + \sigma_{pd})$  per materassini

## 5.2.2

### Componente dinamica del carico di progetto prevalente ai fini della fatica

È il caso in cui in esercizio è previsto che la componente dinamica del carico di progetto sia prevalente rispetto alla componente quasi-statica ai fini della fatica; ossia è previsto che in esercizio il carico quasi-statico sia applicato per un numero di volte limitato (inferiore a un milione per la vita prevista del prodotto).

In questo caso i carichi della prova a fatica vanno scelti nel seguente modo:

- **componente media:**  $F_m = F_0 + F_{ps}$  per piastre  
 $\sigma_m = \sigma_0 + \sigma_{ps}$  per materassini
- **componente ciclica:**  $F_c = F_{pd}$  per piastre  
 $\sigma_c = \sigma_{pd}$  per materassini

## 6

## MODALITÀ DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI DI LABORATORIO

### 6.1

#### Resoconti di prova

I resoconti di prova devono raccogliere tutti quegli elementi significativi che interessano l'indagine e in particolare:

- committente;
- ditta produttrice;
- laboratorio di prova e gli sperimentatori;
- periodo di ricevimento dei campioni;
- descrizione e marchi di identificazione dei prodotti;
- periodo di prova.

La struttura del resoconto suggerita è fornita dal seguente indice:

1. Introduzione
2. Descrizione dei prodotti indagati
3. Descrizione delle attrezzature di prova
4. Risultati delle prove di caratterizzazione
  - 4.1. Prove quasi-statiche
  - 4.3. Prove dinamiche
5. Risultati delle prove di invecchiamento
  - 5.1. Prove di deformazione permanente
  - 5.2. Prove a fatica
    - 5.2.1. Prove di controllo
    - 5.2.2. Esame visivo
6. Osservazione conclusiva
7. Elenco della documentazione allegata (figure, disegni, foto, grafici, tabelle)
8. Schede tecniche dei prodotti

La simbologia delle grandezze fisiche utilizzate deve essere quella indicata in 3.

Nel caso delle piastre i risultati vanno riferiti allo specifico manufatto, ossia vanno utilizzate le grandezze:  $F$ ,  $K$ ,  $G$ ,  $B$ .

Nel caso di materassini i risultati delle prove vanno riferiti all'area del campione, ossia vanno utilizzate le grandezze specifiche (ossia riferite all'unità di area):  $\sigma$ ,  $k$ ,  $g$ ,  $b$ .

## 6.2 **Classificazione dei prodotti**

Una proposta di classificazione dei prodotti è riportata nell'appendice H.

## 6.3 **Schede tecniche di prodotto**

A completamento dei risultati di prova lo sperimentatore può compilare una o più schede tecniche sintetiche da allegare al resoconto di prova e da utilizzare anche separatamente al resoconto di prova stesso purché indicato nella scheda.

Un esempio delle schede tecniche di prodotto sono riportate nell'appendice I.



---

**APPENDICE**  
(informativa)

---

**A RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI**

---

Ai fini di una miglior comprensione dei contenuti della norma si rimanda ai seguenti riferimenti bibliografici:

- [1] Cyril M. Harris:  
«*Shock and vibration handbook*»;  
Third Edition; McGraw-Hill Book Company; New York, 1988.
- [2] J. S. Bendat, A. G. Pierson:  
«*Engineering applications of correlation and spectral analysis*»;  
John Wiley & Sons; New York, 1980.

## **APPENDICE B    ATTREZZATURA DI PROVA - DESCRIZIONE, PRESCRIZIONI E CONTROLLI**

(normativa)

Per l'effettuazione delle prove quasi-statiche (vedere 4.1), dinamiche forzate (vedere 4.2.1) e a fatica (vedere 5.2) è previsto l'impiego di attrezzature di prova illustrate, a titolo esemplificativo, nella figura B.1.

In tal senso si precisa che le attrezzature di prova indicate in tale figura possono essere sostituite da attrezzature anche basate su differenti principi fisici purché in grado di svolgere le stesse funzioni; inoltre possono essere utilizzate anche attrezzature differenti e specializzate in relazione al tipo di prova da effettuare.

Il campione in prova viene interposto tra due piastre metalliche di adeguata rigidità, sgrassate e con grado di lavorazione comparabile alle carpenterie metalliche. Solo nel caso di applicazione particolari è necessario riprodurre nella macchina di prova le medesime condizioni di contatto tra il prodotto e le interfacce previste in esercizio.

Il carico di prova (quasi-statico, dinamico o a fatica) è prodotto, nell'esempio di figura B.1, da un attuatore idraulico servo-controllato a doppio effetto ossia dotato di una camera per comprimere ed una per decomprimere il campione in prova; possono essere utilizzati sistemi di carico di caratteristiche differenti quali per esempio martinetti meccanici, eccitatori elettro-dinamici, eccitatori meccanici (vibrodine), tavole vibranti.

Per la misura del carico prodotto è necessario prevedere l'impiego di un trasduttore di forza, di sensibilità e fondo scala adeguati ai carichi da produrre, disposto o tra l'attuatore idraulico e il ripartitore di carico superiore o tra il ripartitore di carico inferiore e la struttura di reazione della macchina di carico (pressa).

È in generale sconsigliato l'uso di misure indirette della forza quali per esempio l'impiego, sempre con riferimento allo schema di figura B.1, di celle di pressione installate sul circuito idraulico di alimentazione dell'attuatore (per esempio sensore differenziale tra le due camere) in quanto a questo tipo di misura corrisponde una sovrastima del carico in relazione alla possibile presenza di forze di attrito tra lo stelo (in movimento) e la camicia (fissa) dell'attuatore.

È tollerato l'impiego di sensori di accelerazione (accelerometri) per la misura indiretta del carico per esempio per prove dinamiche condotte con tavoli vibranti sui quali viene predisposto il campione da indagare e la zavorra in grado di riprodurre la componente quasi-statica del carico prevista dalle specifiche di prova; in questo caso la misura dell'accelerazione della zavorra consente una corretta valutazione della componente dinamica del carico.

Il rilievo del cedimento prodotto nel campione deve essere assicurato attraverso l'impiego di quattro trasduttori di spostamento, di sensibilità e fondo scala adeguato ai cedimenti previsti, disposti tra il ripartitore di carico superiore e quello inferiore in corrispondenza dei vertici degli stessi.

È sconsigliato l'uso di un unico sensore disposto, sempre con riferimento allo schema della figura B.1, in asse all'attuatore e installato tra lo stelo (in movimento) e la camicia (fissa) dell'attuatore; questo suggerimento è connesso sia alla possibile sovrastima dei cedimenti in relazione alla presenza di giochi meccanici tra le varie parti dell'attrezzatura, sia alla necessità di un controllo sull'omogeneità dei cedimenti. Nel caso in cui anche solo uno dei quattro cedimenti si discosti di oltre il 50% rispetto al valore medio, lo sperimentatore dovrà segnalare nella relazione tale aspetto e fornire come risultato non solo il cedimento medio ma anche le quattro misure raccolte nel corso delle prove.

Gli accelerometri, oltre a poter sostituire i sensori di spostamento nel caso di prove dinamiche, debbono essere utilizzati per lo meno nelle fasi di messa a punto dell'attrezzatura di prova e di controllo periodico per valutare l'importanza dei fenomeni dinamici potenzialmente presenti nel sistema di prova anche in funzione del tipo di prodotto indagato.

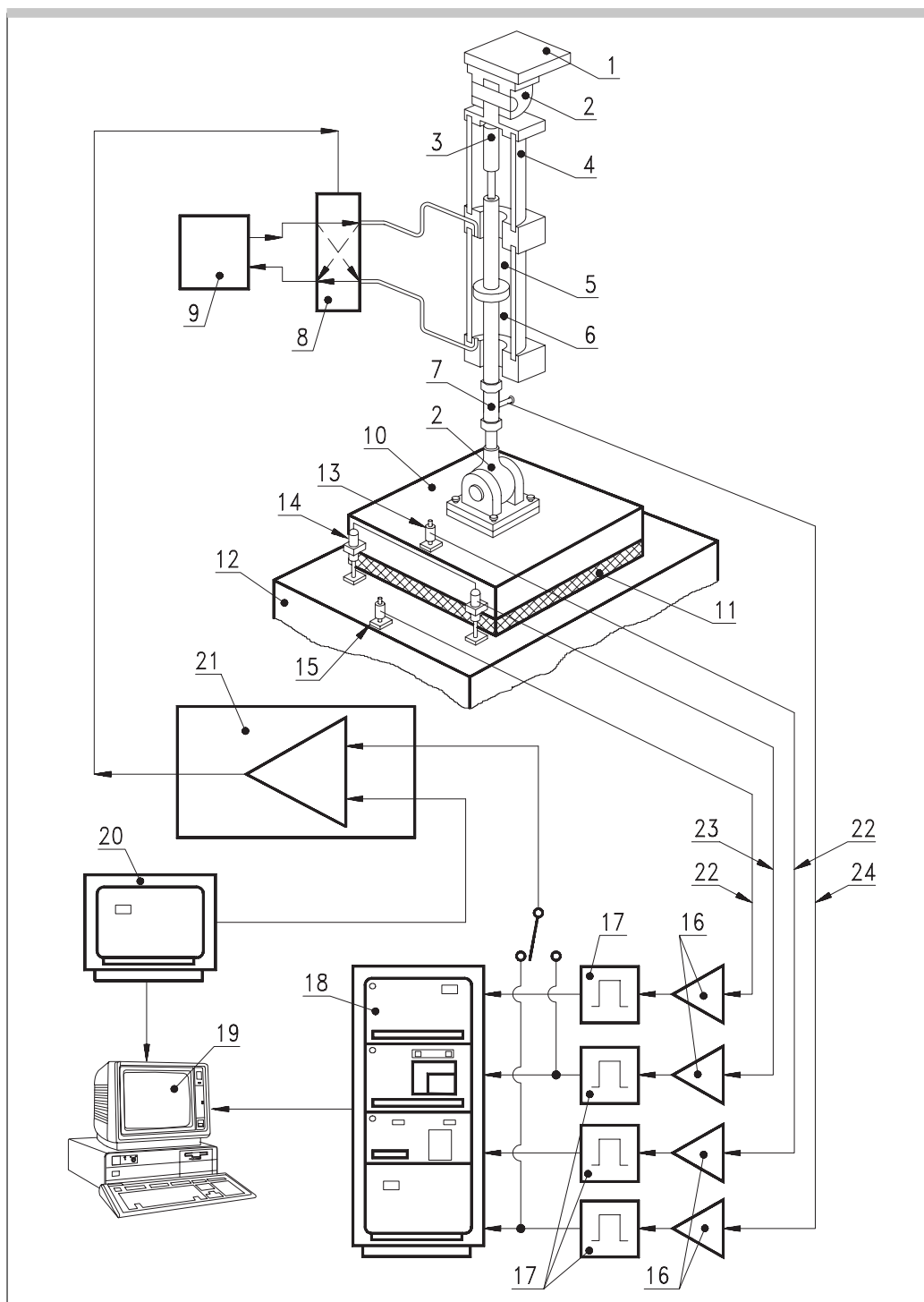
L'impianto di prova dovrà inoltre essere completato con attrezzature idonee sia a svolgere il ruolo di controllo del carico erogato dall'attrezzatura di prova, sia a fornire le funzioni di acquisizione e di analisi delle grandezze misurate (carico e cedimenti). Sebbene il controllo di norma prescritto sia di tipo meccanico (sul carico), in certe condizioni di prova l'attrezzatura deve essere in grado di operare anche in controllo cinematico (sul cedimento). Per i trasduttori utilizzati (celle di carico, trasduttori di spostamento, accelerometri) non vi è nessun vincolo relativamente al principio fisico di funzionamento, ossia possono essere utilizzati sensori induttivi, resistivi, capacitivi, ecc. purché di sensibilità, fondo scala, campo di frequenza adeguati alle prove sui campioni.

figura B.1

## Esemplificativo dell'attrezzatura di prova

### Legenda

- |    |                                   |    |                                       |
|----|-----------------------------------|----|---------------------------------------|
| 1  | Struttura di reazione             | 13 | Accelerometro (superiore)             |
| 2  | Snodo                             | 14 | Trasduttore di spostamento            |
| 3  | Trasduttore di corsa              | 15 | Accelerometro (inferiore)             |
| 4  | Attuatore idraulico               | 16 | Amplificatori di misura               |
| 5  | Camera superiore                  | 17 | Filtri passa - basso                  |
| 6  | Camera inferiore                  | 18 | Convertitore A/D                      |
| 7  | Trasduttore di forza              | 19 | Calcolatore di controllo del processo |
| 8  | Servovalvola                      | 20 | Convertitore D/A                      |
| 9  | Pompa oleodinamica                | 21 | Amplificatore di potenza              |
| 10 | Ripartitore di carico             | 22 | Accelerazione                         |
| 11 | Campione di prova                 | 23 | Spostamento                           |
| 12 | Ripartitore di carico (inferiore) | 24 | Forza                                 |



## APPENDICE C PROVA QUASI-STATICA - CRITERI DI ANALISI E DI INTERPRETAZIONE DEI DATI (normativa)

L'elaborazione dei dati raccolti nel corso della prova quasi-statica dovrà interessare il solo terzo ciclo conclusivo della prova di carico.

La rigidità quasi-statica secante verrà valutata facendo riferimento alle seguenti relazioni:

$$K_s = \frac{F_{ps}}{\delta_{ps} - \delta_0} \quad \text{per piastre}$$

$$k_s = \frac{\sigma_{ps}}{\delta_{ps} - \delta_0} \quad \text{per materassini}$$

dove:

$\delta_{ps}$  cedimento per il carico ( $F_{ps} + F_0$ ) oppure ( $\sigma_{ps} + \sigma_0$ );

$\delta_0$  cedimento per il carico ( $F_0$ ) oppure ( $\sigma_0$ ).

I cedimenti  $\delta_{ps}$  e  $\delta_0$  vanno valutati con riferimento alla fase di carico del ciclo conclusivo.

Il fattore di smorzamento quasi-statico verrà valutato utilizzando la relazione seguente:

$$\nu_s = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{E_{ciclo}}{E_{carico} - \frac{E_{ciclo}}{2}}$$

essendo:  $E_{ciclo}$  l'energia dissipata nel ciclo completo

$E_{carico}$  l'energia accumulata nella fase di carico

In particolare per le piastre:

$$E_{ciclo} = \int_0^{F_{max}} \delta \cdot dF + \int_{F_{max}}^0 \delta \cdot dF \quad E_{carico} = \int_0^{F_{max}} \delta \cdot dF$$

e per i materassini:

$$E_{ciclo} = \int_0^{\sigma_{max}} \delta \cdot d\sigma + \int_{\sigma_{max}}^0 \delta \cdot d\sigma \quad E_{carico} = \int_0^{\sigma_{max}} \delta \cdot d\sigma$$

Lo smorzamento quasi-statico verrà valutato utilizzando la seguente relazione:

$$G_s = 2 \cdot K_s \cdot \nu_s \quad \text{per piastre}$$

$$g_s = 2 \cdot k_s \cdot \nu_s \quad \text{per materassini}$$

## APPENDICE D PROVA DINAMICA FORZATA - CRITERI DI ANALISI E DI INTERPRETAZIONE DEI DATI (normativa)

Qualora nel corso delle prove vi sia la presenza di importanti fenomeni di amplificazione dinamica del sistema in prova (campione e attrezzatura di carico) non facilmente controllabili, le indagini potranno essere condotte con controllo cinematico ossia imponendo il cedimento  $\delta(t)$  del campione in prova:

$$\delta(t) = \delta_s + \delta_d \cdot \sin[(2 \cdot \pi \cdot f) \cdot t]$$

e valutando l'effettiva forza applicata al campione (considerando sia il carico direttamente generato dall'attrezzatura di prova sia quello indotto da fenomeni dinamici).

Le componenti quasi-statiche  $\delta_s$  e dinamiche  $\delta_d$  imposte dall'attrezzatura di prova dovranno essere valutate facendo riferimento alle componenti meccaniche quasi-statiche  $F_s$  (oppure  $\sigma_s$ ) e dinamiche  $F_d$  (oppure  $\sigma_d$ ) precedentemente definite e alla rigidezza  $K_s$  (o  $k_s$ ) valutata nel corso delle prove quasi-statiche; ossia:

$$\delta_s = F_s / K_s \quad \text{e} \quad \delta_d = F_d / (\Psi \cdot K_s) \quad \text{per piastre}$$

$$\delta_s = \sigma_d / k_s \quad \text{e} \quad \delta_d = \sigma_d / (\Psi \cdot k_s) \quad \text{per materassini}$$

In particolare il fattore  $\Psi$  deve essere introdotto per mettere in conto l'incremento della rigidezza dinamica, rispetto a quella quasi statica, per gli usuali materiali elastomerici o similari; in mancanza di specifici elementi sperimentali si deve assumere  $\Psi = 2$ .

Nel caso di controllo meccanico, l'elaborazione dei dati sperimentali raccolti nel corso della prova dinamica forzata dovrà partire dall'esame, per ogni frequenza di analisi, del cedimento del campione (valutato come media delle indicazioni fornite dai quattro trasduttori installati) che sarà caratterizzato da andamenti prevalentemente sinusoidali:

$$\delta(t) = \delta_s + \delta_d \cdot \sin[(2 \cdot \pi \cdot f) \cdot t + \varphi] + \delta^\circ(t)$$

in quanto la distorsione  $\delta^\circ(t)$  dovrà risultare trascurabile, ossia il rapporto «rumore/segnale» dovrà risultare minore del 10%, come di seguito indicato:

$$\frac{\sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T \delta^\circ(t)^2 \cdot dt}}{\sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T \delta(t)^2 \cdot dt}} \leq 10\%$$

In una fase successiva, valutate le componenti quasi-statiche  $\delta_s$ , quelle dinamiche  $\delta_d$  e lo sfasamento  $\varphi$ , verrà calcolata la funzione di risposta in frequenza del campione attraverso la formula:

$$H(f)^{-1} = \frac{F_d(f)}{\delta_d(f)} \cdot e^{j \cdot \varphi(f)} \quad \text{per piastre}$$

$$h(f)^{-1} = \frac{\sigma_d(f)}{\delta_d(f)} \cdot e^{j \cdot \varphi(f)} \quad \text{per materassini}$$

con  $j$  l'unità immaginaria.

Con riferimento al modello "elasto-viscoso-isteretico", illustrato in modo esemplificativo nella figura D.1, interpretativo del comportamento del materiale, devono essere infine valutati, con procedimenti statistici di interpolazione lineare, i parametri elastici e dissipativi (viscosi ed isteretici) del campione considerando la relazione:

$$H(f)^{-1} = [K_d] + j \cdot [G_d + B \cdot (2 \cdot \pi \cdot f)] \quad \text{per piastre}$$

$$h(f)^{-1} = [k_d] + j \cdot [g_d + b \cdot (2 \cdot \pi \cdot f)] \quad \text{per materassini}$$

Si osserva che mentre la parte reale della funzione spettrale (la funzione inversa della funzione di risposta in frequenza del campione) è una costante pari alla rigidezza dinamica, la parte immaginaria è una retta con intercetta all'origine pari alla dissipazione di natura isteretica e con pendenza proporzionale alla dissipazione di natura viscosa.

Con riferimento ai grafici esemplificativi della figura D.1, in genere i materiali mostrano un primo campo di frequenza (sino alla frequenza di transizione  $f^*$ ) nel quale il comportamento del materiale è caratterizzato da una graduale transizione tra il comportamento "quasi-statico" e quello "dinamico"; lo sperimentatore dovrà pertanto stimare tale frequenza di transizione  $f^*$  ed applicare i procedimenti statistici di interpolazione lineare per la valutazione dei parametri elastici e dissipativi per frequenze  $f$  maggiori della frequenza di transizione  $f^*$ .

Le espressioni analitiche per la valutazione dei parametri dinamici relativi alle piastre sono:

$$K_d = \frac{\sum_i [H(f_i)^{-1}]_{R_e}}{\sum_i 1}$$

$$B = \frac{\sum_i \{ [H(f_i)^{-1}]_{I_m} \cdot [2 \cdot \pi \cdot f_i] \} - \sum_i [H(f_i)^{-1}]_{I_m} \cdot \sum_i [2 \cdot \pi \cdot f_i]}{\sum_i [2 \cdot \pi \cdot f_i]^2 - \frac{\{ \sum_i [2 \cdot \pi \cdot f_i] \}^2}{\sum_i 1}}$$

$$G_d = \frac{\sum_i [H(f_i)^{-1}]_{I_m}}{\sum_i 1} - B \cdot \frac{\sum_i [2 \cdot \pi \cdot f_i]}{\sum_i 1}$$

Le espressioni analitiche per la valutazione dei parametri dinamici relativi ai materassini sono:

$$k_d = \frac{\sum_i [h(f_i)^{-1}]_{R_e}}{\sum_i 1}$$

$$b = \frac{\sum_i \{ [h(f_i)^{-1}]_{I_m} \cdot [2 \cdot \pi \cdot f_i] \} - \sum_i [h(f_i)^{-1}]_{I_m} \cdot \sum_i [2 \cdot \pi \cdot f_i]}{\sum_i [2 \cdot \pi \cdot f_i]^2 - \frac{\{ \sum_i [2 \cdot \pi \cdot f_i] \}^2}{\sum_i 1}}$$

$$g_d = \frac{\sum_i [h(f_i)^{-1}]_{I_m}}{\sum_i 1} - b \cdot \frac{\sum_i [2 \cdot \pi \cdot f_i]}{\sum_i 1}$$

Per una immediata valutazione se il modello "elasto-viscoso-isteretico" assunto a riferimento sia in grado di rappresentare in modo adeguato il comportamento reale del prodotto, si suggerisce di fornire i grafici di confronto dell'inversa della funzione di risposta in frequenza valutata nel corso delle prove e quella calcolabile a partire dai coefficienti elastici e dissipativi stimati con le formule appena riportate.

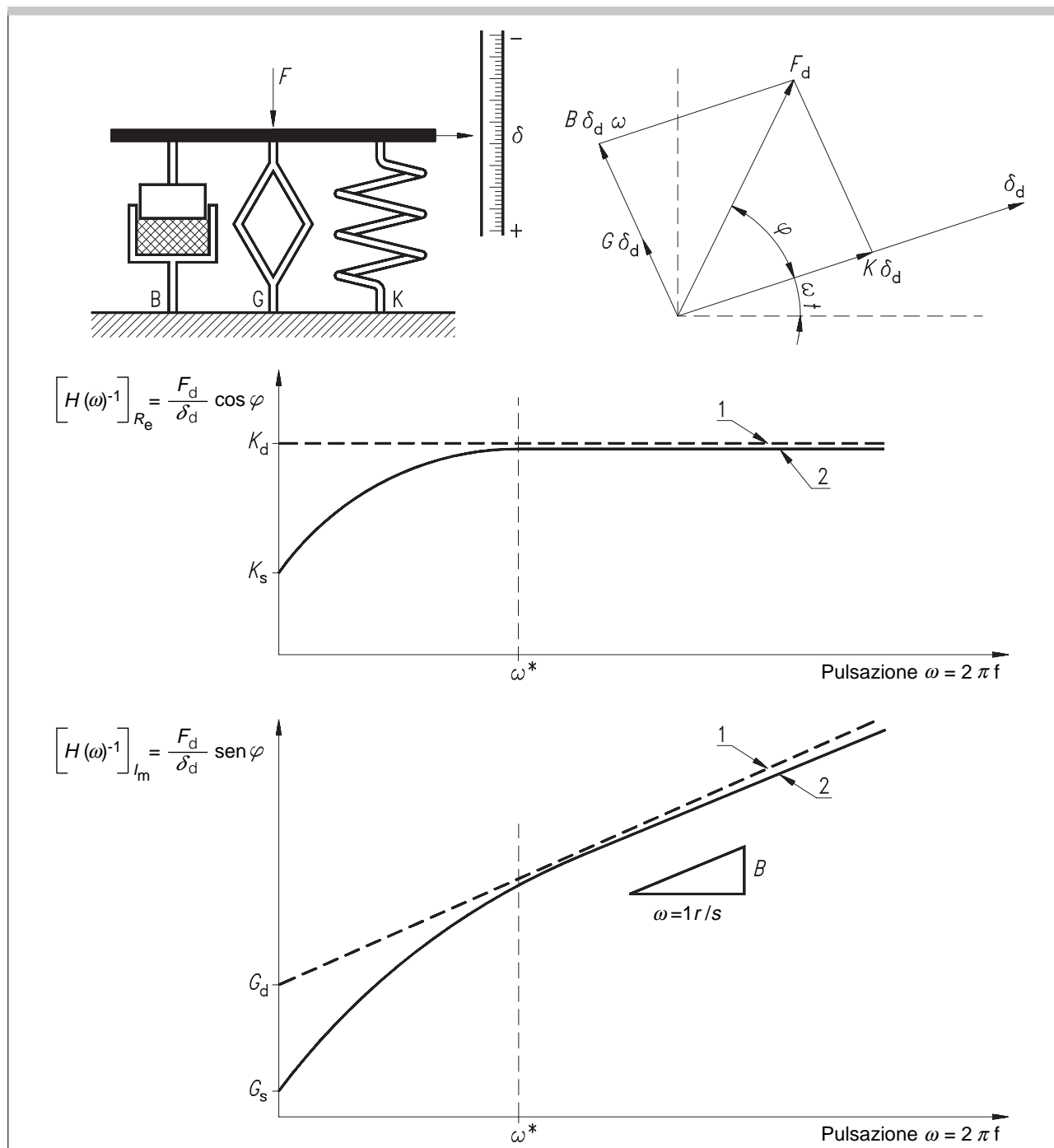
Da ultimo si osserva che qualora il comportamento del prodotto non sia ragionevolmente riconducibile al modello "elasto-viscoso-isteretico", si dovrà evitare la valutazione dei parametri di sintesi appena indicati e fornire nella relazione di prova la sola curva (in forma di grafico e/o di tabella) dell'inversa della funzione di risposta in frequenza del campione. In alcuni casi particolari si possono riscontrare prodotti per i quali il comportamento dissipativo (parte immaginaria) è ben descritto dal modello assunto a riferimento ma che presentano un comportamento elastico (parte reale) non costante con la frequenza (anche oltre la frequenza di transizione). In questi casi potranno essere valutate intercetta e pendenza della curva spettrale relativa alla componente elastica con metodi analoghi a quelli proposti in precedenza per la curva relativa alla componente dissipativa fornendo il valore della rigidità all'origine (intercetta) e l'incremento della rigidità con la frequenza.

figura D.1

# Prova dinamica forzata - Modello di riferimento e di interpretazione dei dati

## Legenda

- 1 Teorico
- 2 Sperimentale



## APPENDICE (normativa)

## E PROVA DINAMICA DI OSCILLAZIONE LIBERA - CRITERI DI ANALISI E DI INTERPRETAZIONE DEI DATI

Facendo riferimento alla figura E.1, in linea teorica, trascorso il brevissimo transitorio relativo all'impulso, le oscillazioni libere  $a(t)$  della massa flottante sul campione in prova hanno andamento sinusoidale smorzato:

$$a(t) = A_0 \cdot e^{-v_d \cdot (2 \cdot \pi \cdot f_d) \cdot t} \cdot \sin[(2 \cdot \pi \cdot f_d) \cdot t]$$

dove:

$v_d$  fattore di smorzamento dinamico;

$f_d$  la frequenza propria del sistema (massa flottante sul campione indagato).

Con riferimento ai grafici esemplificativi illustrati nella figura E.1, il procedimento per la valutazione di questi parametri prevede:

- l'individuazione della sequenza di picchi (positivi e negativi)  $A_n$ , via via in attenuazione, e dei corrispondenti tempi  $T_n$ :

$$A_0, A_1, A_2, \dots, A_N$$

$$T_0, T_1, T_2, \dots, T_N$$

- il calcolo della frequenza propria  $f_d$  o considerando la massima amplificazione spettrale (analisi di Fourier) dell'accelerogramma registrato  $a(t)$  o utilizzando la:

$$f_d = \frac{1}{2} \cdot \frac{N}{\sum_n [T_n - T_{n-1}]} \quad \text{ove } n = 1, 2, \dots, N$$

- il calcolo della rigidità dinamica utilizzando la relazione:

$$K_d = [2 \cdot \pi \cdot f_d]^2 \cdot M_f \quad \text{per piastre}$$

$$k_d = [2 \cdot \pi \cdot f_d]^2 \cdot m_f \quad \text{per materassini}$$

- il calcolo del fattore di smorzamento utilizzando la relazione nella quale il logaritmo è in base naturale:

$$v_d = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\sum_n \ln \left[ \frac{A_0}{A_n} \right]}{\sum_n n} \quad \text{ove } n = 1, 2, \dots, N$$

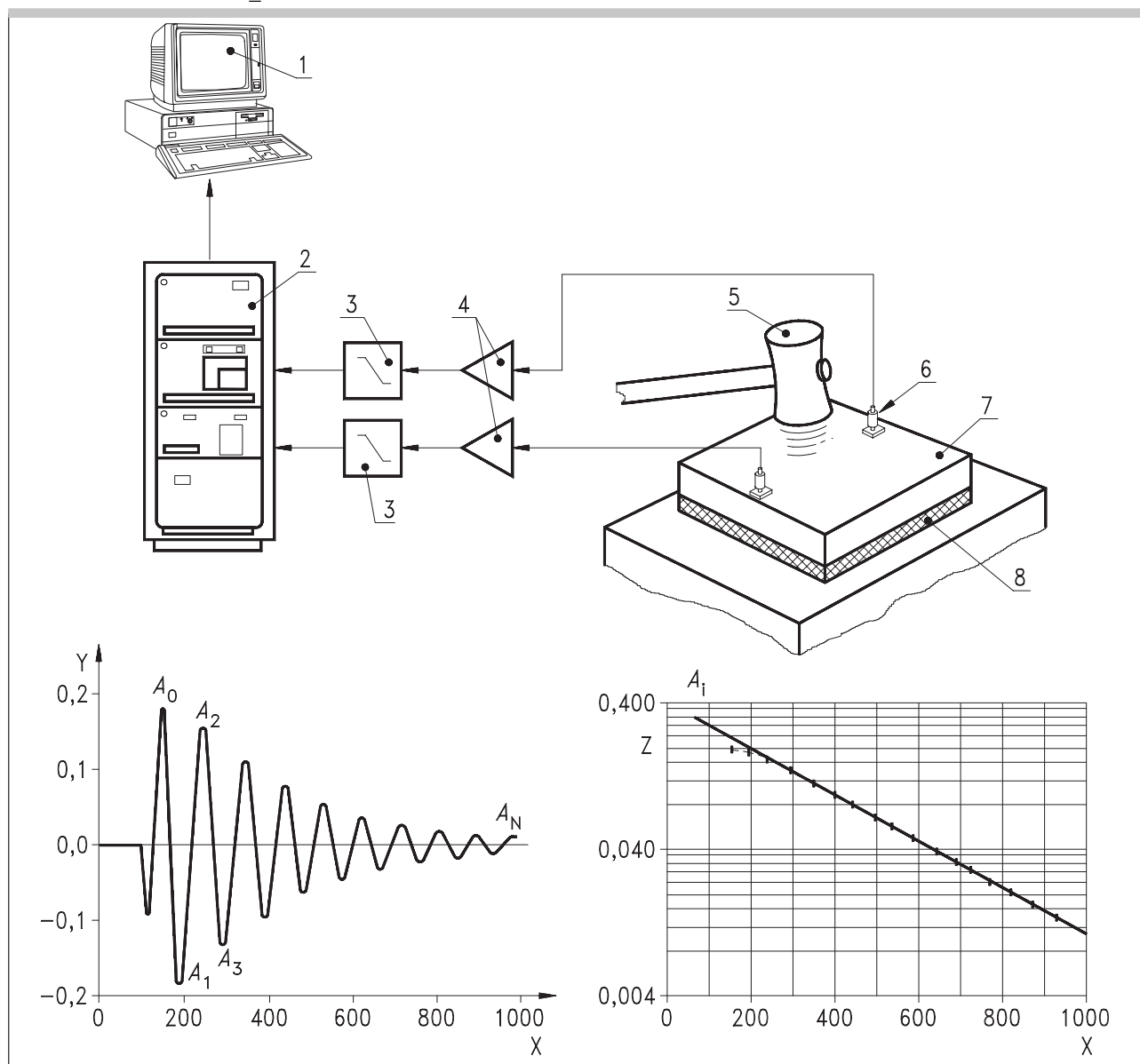


figura E.1

## Prova dinamica di oscillazione libera - Modello di riferimento e di interpretazione dei dati

### Legenda

- |   |                                            |   |                      |
|---|--------------------------------------------|---|----------------------|
| 1 | Calcolatore per l'acquisizione e l'analisi | 7 | Massa rotante        |
| 2 | Convertitore A/D                           | 8 | Campione di prova    |
| 3 | Filtri passa - basso                       | Y | Accelerazione, $g$   |
| 4 | Amplificatore di misura                    | X | Tempo in m/s         |
| 5 | Carico impulsivo                           | Z | Valori di picco, $g$ |
| 6 | Accelerometro                              |   |                      |



---

**APPENDICE**  
(informativa)

**F PROVA DI DEFORMAZIONE PERMANENTE - CRITERI DI VALUTAZIONE DEI RISULTATI**

---

In mancanza di prescrizioni specifiche, la deformazione di prova  $\varepsilon_p$  va valutata con la seguente relazione:

$$\varepsilon_p = \frac{1}{h} \cdot \frac{K_s}{[F_0 + F_{ps} + F_{pd}]} \quad \text{per piastre}$$

$$\varepsilon_p = \frac{1}{h} \cdot \frac{k_s}{[\sigma_0 + \sigma_{ps} + \sigma_{pd}]} \quad \text{per materassini}$$

Per la valutazione dei risultati della prova di deformazione permanente (deformazione:  $\varepsilon_r$ ) vengono forniti a titolo puramente indicativo i seguenti criteri:

- comportamento ottimo se:  $\varepsilon_r / \varepsilon_p \leq 10\%$
- comportamento buono se:  $\varepsilon_r / \varepsilon_p > 10 \leq 15\%$
- comportamento accettabile se:  $\varepsilon_r / \varepsilon_p > 15 \leq 20\%$
- comportamento non-accettabile se:  $\varepsilon_r / \varepsilon_p > 20\%$

## APPENDICE G PROVA A FATICA - CONSIDERAZIONI E CRITERI DI VALUTAZIONE DEI RISULTATI (normativa)

Per ridurre i tempi delle prove a fatica usualmente si tende ad incrementare la frequenza ciclica di prova  $f_c$  con possibili risvolti in relazione all'insorgere di non desiderati fenomeni sia «dinamici» che «termici». Per tale ragione vanno previsti come strumenti di monitoraggio, oltre ai sensori di misura del carico applicato e del cedimento conseguente, pure accelerometri e sonde termometriche.

Per la valutazione dei risultati della prova a fatica ( $\varepsilon_t, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \Phi_\Omega, \Phi_{k[t]}, \Phi_{k[1]}, \Phi_{k[2]}, \Phi_{k[3]}, \Phi_{\delta c[t]}, \Phi_{\delta c[1]}, \Phi_{\delta c[2]}, \Phi_{\delta c[3]}$ ) vengono forniti a titolo puramente indicativo i seguenti criteri:

- variazioni percentuali dello spessore:
 

$\varepsilon_t < 15\%$	(da cicli $0 \cdot 10^6$ a $3 \cdot 10^6$ ),
$\varepsilon_1 < 10\%$	(da cicli $0 \cdot 10^6$ a $1 \cdot 10^6$ ),
$\varepsilon_2 < 10\%$	(da cicli $1 \cdot 10^6$ a $2 \cdot 10^6$ ),
$\varepsilon_3 < 10\%$	(da cicli $2 \cdot 10^6$ a $3 \cdot 10^6$ );
- percentuale delle porzioni di superfici interessate da variazioni di geometria e/o da presenza di smagliature:
 

$\Phi_\Omega < 25\%$	(da cicli $0 \cdot 10^6$ a $3 \cdot 10^6$ );
----------------------	----------------------------------------------
- variazioni percentuali dei valori della rigidezza secante del campione:
 

$\Phi_{k[t]} < 20\%$	(da cicli $0 \cdot 10^6$ a $3 \cdot 10^6$ ),
$\Phi_{k[1]} < 12\%$	(da cicli $0 \cdot 10^6$ a $1 \cdot 10^6$ ),
$\Phi_{k[2]} < 12\%$	(da cicli $1 \cdot 10^6$ a $2 \cdot 10^6$ ),
$\Phi_{k[3]} < 12\%$	(da cicli $2 \cdot 10^6$ a $3 \cdot 10^6$ );
- variazioni percentuali dei cedimenti ciclici del campione:
 

$\Phi_{\delta c[t]} < 20\%$	(da cicli $0 \cdot 10^6$ a $3 \cdot 10^6$ ),
$\Phi_{\delta c[1]} < 12\%$	(da cicli $0 \cdot 10^6$ a $1 \cdot 10^6$ ),
$\Phi_{\delta c[2]} < 12\%$	(da cicli $1 \cdot 10^6$ a $2 \cdot 10^6$ ),
$\Phi_{\delta c[3]} < 12\%$	(da cicli $2 \cdot 10^6$ a $3 \cdot 10^6$ ).

---

## APPENDICE H CLASSIFICAZIONE DEI PRODOTTI

(informativa)

---

I prodotti (piastre o materassini) possono essere classificati facendo riferimento ai seguenti aspetti:

In base alla rigidità specifica (o modulo alla Winkler):

- prodotti duri:  $k_s \geq 50 \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^3$
- prodotti morbidi:  $k_s < 50 \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^3$

In base al fattore di smorzamento:

- prodotti vibro-assorbenti:  $v_d \geq 20\%$
- prodotti vibro-isolanti:  $v_d < 20\%$

---

**APPENDICE**  
(informativa)

---

**I SCHEDA TECNICA DI PRODOTTO**

---

Al fine di fornire all'utente dei risultati sperimentali relativi a prove meccaniche di caratterizzazione e di invecchiamento condotte su specifici prodotti, lo sperimentatore può compilare schede tecniche di sintesi da allegare ai resoconti di prova.

Tali schede possono anche essere utilizzate separatamente al resoconto di prova purché lo stesso sia indicato nella scheda.

Nelle figure I.1 e I.2 vengono forniti due differenti esempi di schede tecniche di prodotto rispettivamente per piastre e per materassini.

figura I.1

## Esempio di scheda tecnica di prodotto per piastra

**La presente scheda tecnica di prodotto fa parte integrante del resoconto di prova n° ... emesso in data ..... (gg.mm.aa) dal Laboratorio ..... di .....**

- Ditta produttrice:			
- Modello:			
- Dimensioni:	- spessore:	$h$	= mm
	- dimensione longitudinale:	$d_l$	= mm
	- dimensione trasversale:	$d_t$	= mm
	- sezione:	$\Omega$	= mm <sup>2</sup>
- Classificazione del prodotto (vedere appendice H):			
- duro			(oppure morbido)
- vibro-assorbente			(oppure vibro-isolante)
- Carichi:			
- carico iniziale:		$F_0$	= N
- carico di progetto «quasi-statico»:		$F_{ps}$	= N
- carico di progetto «dinamico»:		$F_{pd}$	= N
- Componente quasi-statica del carico di progetto prevalente ai fini della fatica:		SI/NO	-
- Componente dinamica del carico di progetto prevalente ai fini della fatica:		SI/NO	-
<b>Caratterizzazione meccanica</b>			
- Rigidezze:			
- rigidezza elastica quasi-statica:		$K_s$	= N/mm
- rigidezza elastica dinamica:		$K_d$	= N/mm
- rapporto:		$K_d/K_s$	= -
- Smorzamenti isteretici:			
- smorzamento isteretico quasi-statico:		$G_s$	= N/mm
- smorzamento isteretico dinamico:		$G_d$	= N/mm
- rapporto:		$G_d/G_s$	= -
- Smorzamento viscoso:		$B$	= N-s/mm
- Frequenza di transizione:		$f^*$	= Hz
<b>Invecchiamento meccanico</b>			
- Deformazione di prova:		$\varepsilon_p$	= %
- Deformazione residua:		$\varepsilon_r$	= %
- Variazioni percentuali dello spessore:		$\varepsilon_t$	= %
		$\varepsilon_1$	= %
		$\varepsilon_2$	= %
		$\varepsilon_3$	= %
- Percentuale delle porzioni di superfici interessate da variazioni di geometria e/o da presenza di smagliature:		$\Phi_\Omega$	= %
- Variazioni percentuali dei valori della rigidezza secante del campione:		$\Phi_{k[t]}$	= %
		$\Phi_{k[1]}$	= %
		$\Phi_{k[2]}$	= %
		$\Phi_{k[3]}$	= %
- Variazioni percentuali dei cedimenti ciclici del campione:		$\Phi_{\delta c[t]}$	= %
		$\Phi_{\delta c[1]}$	= %
		$\Phi_{\delta c[2]}$	= %
		$\Phi_{\delta c[3]}$	= %

figura I.2

## Esempio di scheda tecnica di prodotto per materassino

**La presente scheda tecnica di prodotto fa parte integrante del resoconto di prova n° ... emesso in data ..... (gg.mm.aa) dal Laboratorio ..... di .....**

- Ditta produttrice:			
- Modello:			
- Dimensioni:	- spessore:	$h$	= mm
- Classificazione del prodotto (vedere appendice H):			
- duro			(oppure morbido)
- vibro-assorbente			(oppure vibro-isolante)
- Carichi:			
- carico iniziale:		$\sigma_0$	= N/mm <sup>2</sup>
- carico di progetto «quasi-statico»:		$\sigma_{ps}$	= N/mm <sup>2</sup>
- carico di progetto «dinamico»:		$\sigma_{pd}$	= N/mm <sup>2</sup>
- Componente quasi-statica del carico di progetto prevalente ai fini della fatica:		SI/NO	-
- Componente dinamica del carico di progetto prevalente ai fini della fatica:		SI/NO	-
<b>Caratterizzazione meccanica</b>			
- Rigidezze specifiche o modulo alla "Winkler":			
- rigidezza elastica quasi-statica:		$K_s$	= N/mm <sup>3</sup>
- rigidezza elastica dinamica:		$K_d$	= N/mm <sup>3</sup>
- rapporto:		$K_d/K_s$	= -
- Smorzamenti isteretici:			
- smorzamento isteretico quasi-statico:		$g_s$	= N/mm <sup>3</sup>
- smorzamento isteretico dinamico:		$g_d$	= N/mm <sup>3</sup>
- rapporto:		$g_d/g_s$	= -
- Smorzamento viscoso specifico:		$b$	= N·s/mm <sup>3</sup>
- Frequenza di transizione:		$f^*$	= Hz
<b>Invecchiamento meccanico</b>			
- Deformazione di prova:		$\epsilon_p$	= %
- Deformazione residua:		$\epsilon_r$	= %
- Variazioni percentuali dello spessore:		$\epsilon_t$	= %
		$\epsilon_1$	= %
		$\epsilon_2$	= %
		$\epsilon_3$	= %
- Percentuale delle porzioni di superfici interessate da variazioni di geometria e/o da presenza di smagliature:		$\Phi_{\sigma}$	= %
- Variazioni percentuali dei valori della rigidezza secante del campione:		$\Phi_{k[t]}$	= %
		$\Phi_{k[1]}$	= %
		$\Phi_{k[2]}$	= %
		$\Phi_{k[3]}$	= %
- Variazioni percentuali dei cedimenti ciclici del campione:		$\Phi_{\delta c[t]}$	= %
		$\Phi_{\delta c[1]}$	= %
		$\Phi_{\delta c[2]}$	= %
		$\Phi_{\delta c[3]}$	= %





## PUNTI DI INFORMAZIONE E DIFFUSIONE UNI

Milano (sede)	Via Battistotti Sassi, 11B - 20133 Milano - Tel. (02) 70024200 - Fax (02) 70105992 Internet: <a href="http://www.unicei.it">www.unicei.it</a> - Email: <a href="mailto:diffusione@uni.unicei.it">diffusione@uni.unicei.it</a>
Roma	Piazza Capranica, 95 - 00186 Roma - Tel. (06) 69923074 - Fax (06) 6991604 Email: <a href="mailto:uni.roma@uni1.inet.it">uni.roma@uni1.inet.it</a>
Bari	c/o Tecnopolis CSATA Novus Ortus Strada Provinciale Casamassima - 70010 Valenzano (BA) - Tel. (080) 8770301 - Fax (080) 8770553
Bologna	c/o CERMET Via A. Moro, 22 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO) - Tel. (051) 6257511 - Fax (051) 6257650
Brescia	c/o AQM Via Lithos, 53 - 25086 Rezzato (BS) - Tel. (030) 2590656 - Fax (030) 2590659
Cagliari	c/o Centro Servizi Promozionali per le Imprese Viale Diaz, 221 - 09126 Cagliari - Tel. (070) 306877 - Fax (070) 340328
Catania	c/o C.F.T. SICILIA Piazza Buonarroti, 22 - 95126 Catania - Tel. (095) 445977 - Fax (095) 446707
Firenze	c/o Associazione Industriali Provincia di Firenze Via Valfonda, 9 - 50123 Firenze - Tel. (055) 2707268 - Fax (055) 281616
La Spezia	c/o La Spezia Euroinformazione, Promozione e Sviluppo Piazza Europa, 16 - 19124 La Spezia - Tel. (0187) 728225 - Fax (0187) 777961
Napoli	c/o Consorzio Napoli Ricerche Corso Meridionale, 58 - 80143 Napoli - Tel. (081) 5537106 - Fax (081) 5537112
Torino	c/o Centro Estero Camere Commercio Piemontesi Via Ventimiglia, 165 - 10127 Torino - Tel. (011) 6700511 - Fax (011) 6965456
Treviso	c/o Treviso Tecnologia Via Roma, 4/D - 31020 Lancenigo di Villorba (TV) - Tel. (0422) 608858 - Fax (0422) 608866
Udine	c/o CATAS Via Antica, 14 - 33048 S. Giovanni al Natisone (UD) - Tel. (0432) 756289 - Fax (0432) 756914
Vicenza	c/o Associazione Industriali Provincia di Vicenza Piazza Castello, 3 - 36100 Vicenza - Tel. (0444) 545573 - Fax (0444) 547318