

**RESILIENZA STRUMENTATA SU PROVINI CHARPY-V MINIATURIZZATI:  
ATTIVITA' DI UN UN GRUPPO DI LAVORO A LIVELLO EUROPEO (ESIS)**

E. Lucon

*ENEL SRI, Polo Diagnostica e Materiali, Segrate (MILANO)*

Sommario

L'impiego di provini di resilienza miniaturizzati per prove di impatto strumentate sta acquistando ampia popolarità nella comunità scientifica internazionale, particolarmente nell'ambito delle valutazioni di integrità e previsioni di vita residua di componenti di impianto eserciti e/o irraggiati. Tali valutazioni devono infatti essere ottenute senza prelevare quantità significative di materiale dal componente in esame, se ci si augura di mantenerlo in servizio.

Le prove di resilienza strumentata su provini Charpy-V miniaturizzati rappresentano uno strumento importante per caratterizzare le proprietà di impatto e di tenacità (FATT<sub>50</sub>, T<sub>41J</sub>, USE ecc.) di un componente utilizzando una quantità limitata di materiale o, in alternativa, utilizzando spezzoni di provini standard rotti in precedenti campagne di misura.

Il Sottocomitato Tecnico 5 (TC5) dell'ESIS (*European Structural Integrity Society*), dal titolo "*Dynamic Testing at Intermediate Strain Rates*", ha formato nel 1991 un gruppo di lavoro (presieduto dall'Autore) incentrato su queste tematiche, con lo scopo primario di mettere a punto una procedura di prova per l'esecuzione di prove di resilienza strumentate su provini Charpy-V miniaturizzati.

Nell'ambito di questo gruppo di lavoro, è stato iniziato nel 1995 un Round-Robin, che ha coinvolto 14 laboratori (12 europei e 2 statunitensi), articolato in due fasi distinte, che si è concluso nella primavera del 1998.

In questa memoria verranno presentati e sinteticamente discussi i risultati ottenuti nell'ambito di tale Round-Robin, con particolare attenzione ai risvolti legati alla formulazione di una futura normativa di prova a livello internazionale.

*Abstract*

*The use of miniaturized impact specimens is gaining widespread popularity in the scientific community, especially for structural integrity assessments and residual life predictions on service-exposed and/or irradiated plant components. Indeed, such evaluations have to be performed without sampling large amounts of material from the component, if there is hope to keep it in service.*

*Instrumented impact tests on miniaturized Charpy V-notch specimens represent an important tool for characterizing impact and toughness properties (FATT<sub>50</sub>, T<sub>41J</sub>, USE etc.) of a component, using a limited quantity of sample material or, alternatively, machining them out of full-size specimen halves broken during previous experimental campaigns.*

*The Technical Subcommittee 5 (TC5) of ESIS (European Structural Integrity Society), titled "Dynamic Testing at Intermediate Strain Rates", has formed in 1991 a Working Party (chaired by the Author) focused on these issues, with the primary aim of developing a test procedure for performing instrumented*

*impact tests on sub-size Charpy V-notch specimens.*

*Within this Working Party, a Round-Robin exercise was initiated in 1995, involving 14 labs (12 European and 2 from the US), divided into 2 separate Phases, which has been concluded in the spring of 1998.*

*This paper will address and briefly discuss the most relevant results obtained in this Round-Robin, with specific attention to the aspects related to the development of a test standard to be adopted in the international testing community.*

## 1. Introduzione

La conoscenza diretta delle proprietà meccaniche reali dei materiali strutturali di componenti di impianto eserciti rappresenta uno dei fattori decisivi per eseguire attendibili valutazioni di integrità strutturale e corrette previsioni di vita residua. Ciò risulta indubbiamente di vitale importanza qualora si sospetti che il componente in esame abbia subito fenomeni di infragilimento o di degrado generalizzato delle proprietà meccaniche, ad esempio a causa del prolungato servizio in condizioni di esercizio particolarmente gravose (temperature elevate, ambiente aggressivo, ed altro).

I dati meccanici di riferimento, relativi cioè al materiale allo stato di fornitura, sono abitualmente assai scarsi se non addirittura inesistenti per gli impianti più vecchi, cioè proprio nei casi che richiedono maggior attenzione e prudenza nella formulazione di valutazioni di integrità strutturale, al fine di consentire la prosecuzione dell'esercizio. D'altro canto, quand'anche fossero disponibili informazioni relative al materiale "vergine", la loro utilità pratica sarebbe per lo meno discutibile, dal momento che essi farebbero riferimento ad una condizione di materiale non esercito, quindi non rappresentativa della realtà, soprattutto nei casi di componenti degradati a cui si faceva cenno poc'anzi. Le condizioni reali di servizio ed i meccanismi di danno ad esse conseguenti possono infatti influenzare pesantemente nel tempo il comportamento meccanico dei materiali: occorre pertanto ricavare informazioni direttamente dal componente, al fine di valutarne sia le condizioni metallurgiche che le proprietà meccaniche residue.

La caratterizzazione delle proprietà meccaniche di un materiale metallico, con la sola eccezione delle misure di durezza, è per sua stessa definizione una tecnica distruttiva, in quanto richiede il campionamento di una seppur minima quantità di materiale dal componente da investigare. Ma questo può essere consentito soltanto a condizione che la quantità di materiale prelevato sia sufficientemente piccola da consentire la prosecuzione dell'esercizio, immediata o eventualmente dopo una semplice riparazione del componente.

In tali condizioni di limitata disponibilità di materiale, è giocoforza ricorrere all'uso di campioni di tipo sottodimensionato o addirittura miniaturizzato, che normalmente non vengono contemplati dalle normative ufficiali di prova ne', in molti casi, riescono a soddisfarne alcuni dei requisiti dimensionali.

All'interno della comunità scientifica internazionale, particolare attenzione è stata da sempre dedicata delle prove di tenacità a frattura, sia di tipo statico che di tipo dinamico.

## 2. L'attività in ambito ESIS (*European Structural Integrity Society*)

Uno dei più collaudati ed attivi Comitati Tecnici dell'ESIS (*European Structural Integrity Society*, erede dell'EGF, *European Group on Fracture*) è il TC5, incentrato sulla Frattura Dinamica (*Fracture Dynamics*). Al suo interno, il Sottocomitato Tecnico "*Dynamic Testing at Intermediate Strain Rates*", presieduto da H. McGillivray (Imperial College, Londra) ha lavorato per diversi anni allo studio e alla standardizzazione di varie prove dinamiche su materiali metallici, come le prove di resilienza strumentate (su provini Charpy-V precriccati e non), le prove di trazione o compressione dinamica e così via. L'obiettivo è lo sviluppo, corroborato da validazioni sperimentali, delle relative procedure di prova, nella prospettiva che queste diventino un giorno vere e prove normative. A tale proposito, va segnalato che alla

fine del 1995, il documento prodotto dal gruppo per prove di resilienza strumentate su provini Charpy-V standard [1] è stato sostanzialmente adottato dal competente Comitato Tecnico ISO per la trasformazione in norma, con codice numerico ISO 14556 [2].

Altri documenti attualmente in fase di messa a punto riguardano procedure per prove di resilienza strumentate su provini precriccati (calcolo della tenacità dinamica  $K_{Id}$ ,  $J_{Id}$  ecc.) e prove di trazione dinamiche con velocità di deformazione compresa tra  $10^{-4}$  e  $10^3$  m/s.

### 3. Il gruppo di lavoro sui provini di resilienza miniaturizzati

Nell'ambito del Sottocomitato Tecnico sopra descritto, è stato formato nel 1991 un gruppo di lavoro da parte di membri che, seguendo diversi interessi ed esigenze, erano interessati all'utilizzo di provette Charpy-V miniaturizzate per caratterizzare le proprietà di impatto di un materiale metallico. L'Autore di questa memoria è stato scelto come presidente di questo gruppo di lavoro, che attualmente coinvolge una ventina di laboratori, prevalentemente in Europa ma con qualche partecipazione d'Oltre Oceano (USA). Il gruppo si riunisce due volte all'anno, in occasione delle riunioni del TC5, dedicando abitualmente mezza giornata alla discussione delle proprie tematiche..

Il documento pre-normativo prodotto dal gruppo, inizialmente pressochè ricopiato dall'analogha procedura relativa ai provini standard [1], ha raggiunto attualmente lo stato di Draft 7 [3]. Una nuova versione aggiornata sarà comunque prodotta entro la fine dell'anno.

Nel 1994, fu deciso di avviare un'attività di prove interlaboratorio (Round-Robin), volta a validare sperimentalmente la procedura di prova, con particolare riguardo ad alcuni aspetti sperimentali, ancora abbastanza oscuri.

Il Round-Robin ha coinvolto 14 laboratori, 12 europei e 2 statunitensi; la presenza di questi ultimi rappresenta il legame dell'attività di questo gruppo ESIS con il corrispondente Sottocomitato ASTM che lavora sulle stesse tematiche (E28.07.08). Il materiale scelto è un acciaio da vessel tipo ASTM A 533 B (*JRQ Correlation Monitoring Material*).

L'attività sperimentale, che è terminata ufficialmente nella primavera del 1998, è stata organizzata in due fasi distinte.

- La Fase 1 prevedeva, per ogni partecipante, l'esecuzione di 3 ÷ 5 prove a temperatura ambiente ( $23 \pm 2$  °C), con velocità d'impatto  $v = 2.7 \div 3$  m/s, su provini tipo ESIS (*Kleinstprobe*, norma DIN 50 115, [4] - spessore = 3 mm, larghezza = 4 mm, lunghezza = 27 mm, span = 22 mm); le prove dovevano essere eseguite con qualsiasi macchina di impatto disponibile, purchè dotata di percussore strumentato con dimensioni a norma EN 10 045 (raggio di curvatura = 2 mm).
- La Fase 2 consentiva ai partecipanti di studiare l'influenza dei più disparati parametri sperimentali sui risultati delle prove, quali temperatura, geometria del provino e del percussore, velocità di prova ecc.

### 4. Risultati del Round-Robin

#### Fase 1

I parametri che i partecipanti dovevano fornire in base alle prove eseguite a T.A. riguardavano valori caratteristici, desunti dal diagramma sperimentale carico/spostamento, di forza, spostamento ed energia assorbita, in corrispondenza ad istanti significativi della prova (snervamento generalizzato, carico massimo, fine della prova ecc.). I dati forniti dai partecipanti sono raccolti nella Tabella 1 e nelle Figure 1

e 2 (forza e energia).

Le conclusioni più significative, concordate all'interno del gruppo dopo le doverose analisi, sono le seguenti.

1. Nonostante l'utilizzo di svariati tipi di macchine di prova e procedure di analisi (pur in conformità con la procedura prevista), nessuno dei partecipanti ha lamentato difficoltà nell'applicare la metodologia concordata.
1. La dispersione nei valori caratteristici è da ritenersi abbastanza contenuta per la forza e l'energia, decisamente meno accettabile nel caso degli spostamenti.
1. L'influenza della velocità di impatto e della frequenza limite del sistema di acquisizione sono risultate abbastanza modeste, con l'eccezione dei valori di fine prova (spostamento  $s_t$  e energia  $W_t$ ).
1. La differenza tra i valori di energia assorbita indicata dai sistemi analogici dei pendoli (*dial energy*) e quella calcolata alla frattura ( $W_t$ ) è sempre contenuta entro  $\pm 0.5$  J.

L'analisi dettagliata dei risultati della Fase 1 è stata fornita dall'Autore in [5], ivi compresa la determinazione degli indici di ripetibilità e riproducibilità del metodo di prova in accordo alla norma ISO 5725-2:1994.

*Tabella 1*

*Valori medi e deviazioni standard ottenuti nella Fase 1 per i parametri caratteristici misurati (\* = tutti i dati; \$ = solo prove con  $v = 2.7 \div 3$  m/s).*

Parametro	Valori medi (* ) (\$)		Dev. standard (ass.) (* ) (\$)		Dev. standard (%) (* ) (\$)	
	$F_{gy}$ (kN)	0.980	0.974	0.041	0.043	4.18
$F_m$ (kN)	1.300	1.304	0.048	0.054	3.69	4.14
$s_{gy}$ (mm)	0.189	0.171	0.042	0.035	22.22	20.47
$s_m$ (mm)	1.912	1.905	0.161	0.194	8.42	10.18
$s_t$ (mm)	11.901	11.792	1.384	1.531	11.63	12.98
$W_m$ (J)	2.211	2.201	0.241	0.280	10.90	12.72
$W_t$ (J)	8.302	8.532	0.696	0.745	8.38	8.73
KV (J)	8.149	8.351	0.585	0.569	7.18	6.81

Legenda  $F_{gy} / F_m$  = forza allo snervamento generalizzato / valore massimo di forza

$s_{gy} / s_m / s_t$  = spostamento allo snervamento / alla forza massima / a fine prova

$W_m / W_t$  = energia assorbita alla forza massima / a fine prova (alla frattura)

KV = energia alla frattura, indicata dal misuratore analogico (*dial energy*)

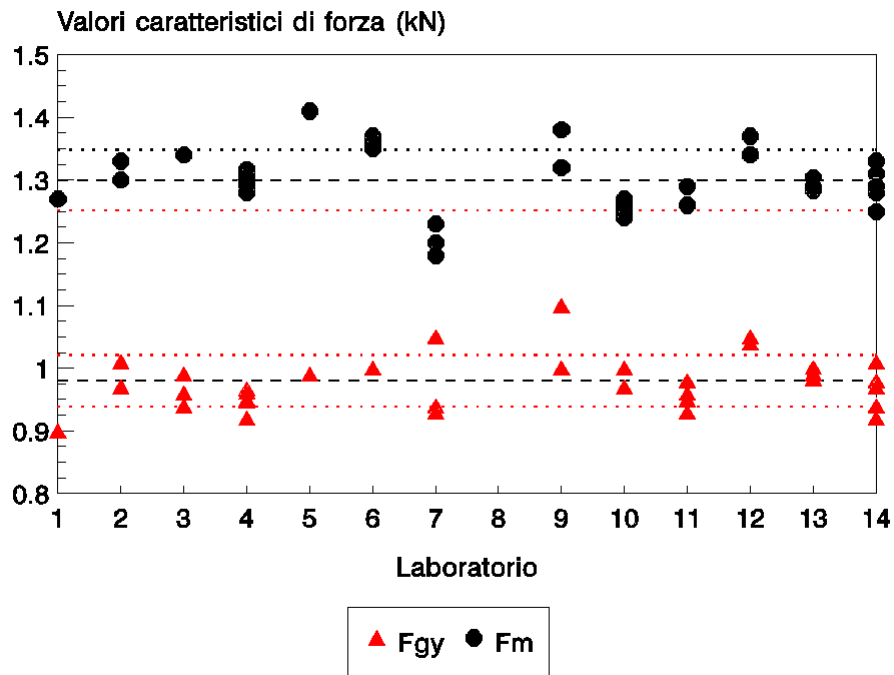


Figura A

Valori caratteristici di forza misurati nella Fase 1 (linee tratteggiate = valori medi; linee punteggiate =  $\pm \sigma$ ).

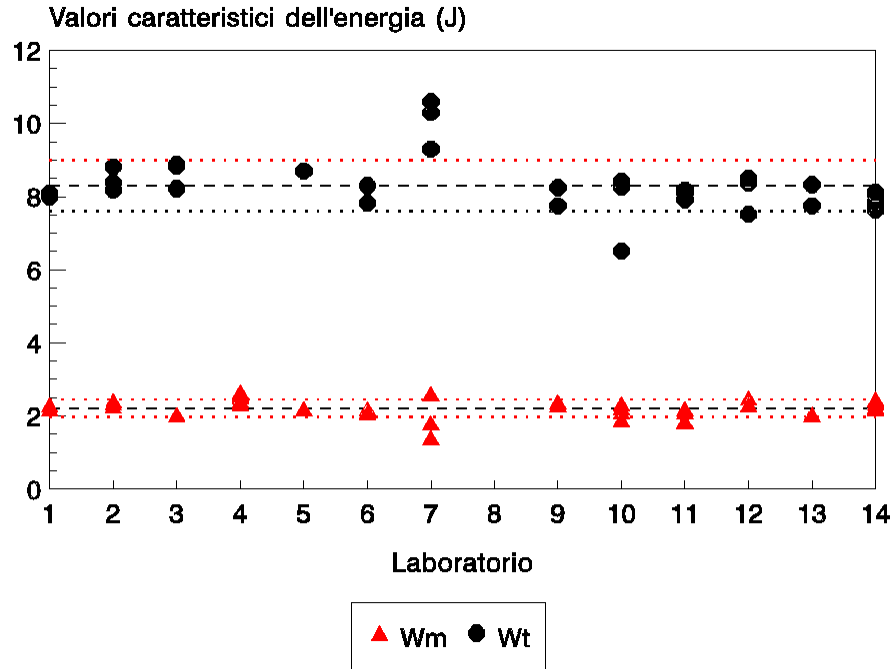


Figura B

Valori caratteristici di energia assorbita misurati nella Fase 1 (linee tratteggiate = valori medi; linee punteggiate =  $\pm \sigma$ ).

Fase 2

Quasi tutti i laboratori che hanno preso parte alla seconda fase del Round-Robin hanno studiato l'influenza della temperatura sui risultati; inoltre, alcuni di essi hanno considerato altri parametri di prova, quali la velocità d'impatto, la geometria della provetta e del percussore, la presenza di scanalature laterali (*side-grooves*) sul provino.

Influenza della temperatura. Le Figure 3 e 4 mostrano, rispettivamente, i valori caratteristici di forza ed energia assorbita in funzione della temperatura; con l'eccezione di alcuni dati anomali, si è riscontrata una dispersione senza dubbio accettabile, tenuto conto della variabilità delle velocità di impatto ( $v = 2.6 \div 3.9$  m/s) e dei problemi legati al controllo della temperatura, che rappresenta un parametro sicuramente delicato per provette di dimensioni miniaturizzate.

Influenza della geometria della provetta. Alcune delle prove sono state eseguite su provini di resilienza tipo *Half-Size* (spessore e larghezza = 5 mm, lunghezza = 27.5 mm, span = 20 mm), vale a dire esattamente in scala 1:2 rispetto alle provette standard. Tenendo anche conto che erano disponibili dati di provette Charpy-V standard, questo ha consentito di applicare ai dati di energia assorbita alcuni fattori di normalizzazione utilizzati in letteratura; il più efficace si è rivelato il fattore basato sul volume di frattura ( $Wb^2$ , con  $W$  = larghezza e  $b$  = lunghezza del legamento), come mostrato nella Figura 5. È evidente lo spostamento della temperatura di transizione, dovuto al fatto che le provette più piccole posseggono uno stato di triassialità inferiore all'apice dell'intaglio e tendono perciò a comportarsi in maniera "più duttile".

Influenza della presenza di *side-grooves*. La presenza di scanalature laterali sulle provette, allo scopo di aumentare il grado di triassialità degli sforzi all'apice dell'intaglio (*constraint*), è stato esaminato su provette tipo ESIS, a diverse temperature e con velocità di impatto di 3 m/s. A parte l'ovvia diminuzione in valore assoluto dell'energia assorbita, il risultato più significativo (chiaramente evidenziato dalla Figura 6) è uno spostamento della relativa curva di transizione verso temperature più elevate (comportamento "più fragile").

Confronto tra energia calcolata ( $W_t$ ) e misurata (KV). L'ottimo risultato che si era evidenziato nell'analisi dei risultati della Fase 1 risulta confermato: per la grande maggioranza delle prove eseguite, la differenza tra valore calcolato dell'energia di frattura e *dial energy* è contenuta entro una banda di tolleranza di  $\pm 0.5$  J.

Un'analisi più dettagliata dei risultati della Fase 2 è attualmente in corso all'interno del Gruppo di Lavoro; elaborazioni preliminari sono contenute in un Rapporto a livello di *draft* [6].

## Bibliografia

1. ESIS TC5 Sub-Committee on Dynamic Testing at Intermediate Strain Rates, Proposed Standard Method for the Instrumented Charpy-V Impact Test on Metallic Materials, Draft 10: 14 January 1994.
2. ISO 14556, Steel - Charpy V Pendulum impact test - Instrumented test method (Draft).
3. Proposed Standard Method for Instrumented Impact Testing of Sub-Size Charpy V-Notch Specimens of Steels, preparata dal Gruppo di Lavoro *European Standards on Instrumented Charpy V-Notch Testing of Sub-Size Specimens*, ESIS TC5, Draft 7: 12 June 1997.
4. DIN 50 115, Prüfung metallischer Werkstoffe - Kerbschlagbiegeversuch - Besondere Probenform und Auswertverfahren, April 1991.
5. E. Lucon, Round-Robin on Instrumented Impact Testing of Sub-Size Charpy-V Specimens: Results of Phase 1, Final Report, 2 April 1998.
6. E. Lucon, Round-Robin on Instrumented Impact Testing of Sub-Size Charpy-V Specimens: Results of Phase 2, Draft Report, 2 April 1998.

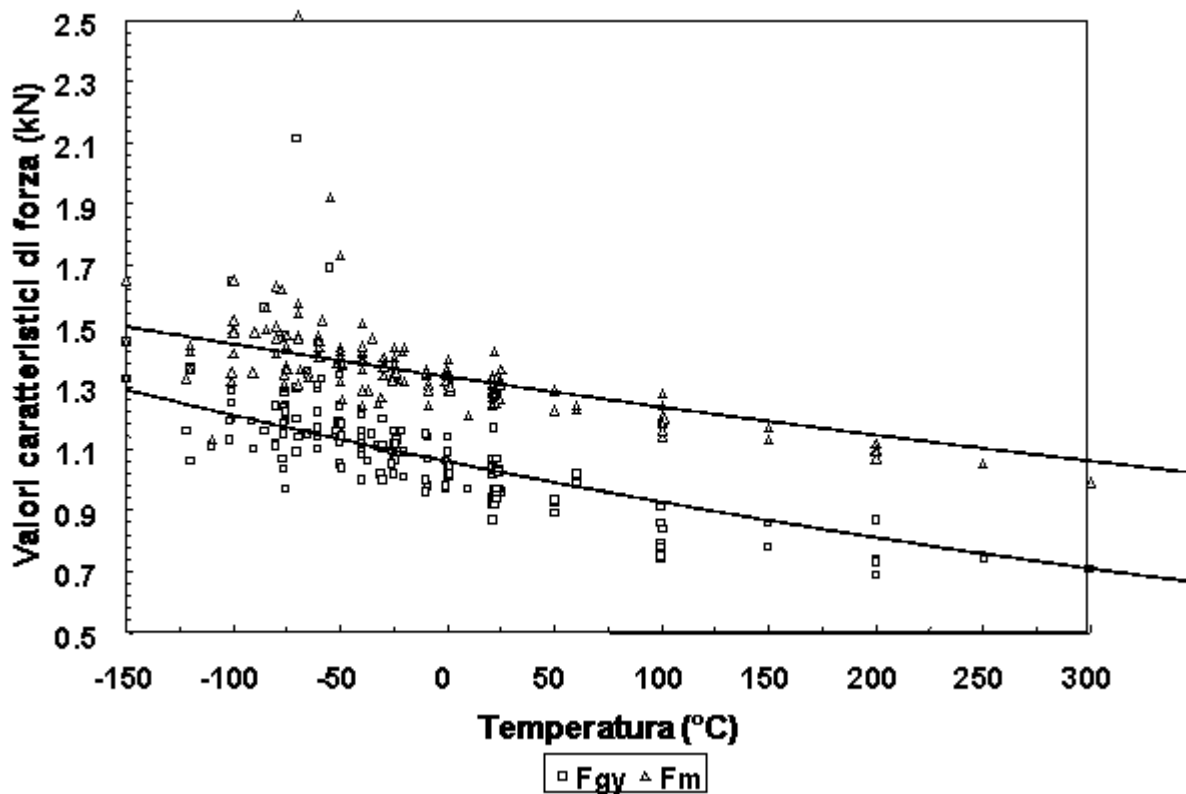


Figura C

Valori caratteristici di forza misurati dai partecipanti alla Fase 2 in funzione della temperatura (con relative linee di regressione esponenziali).

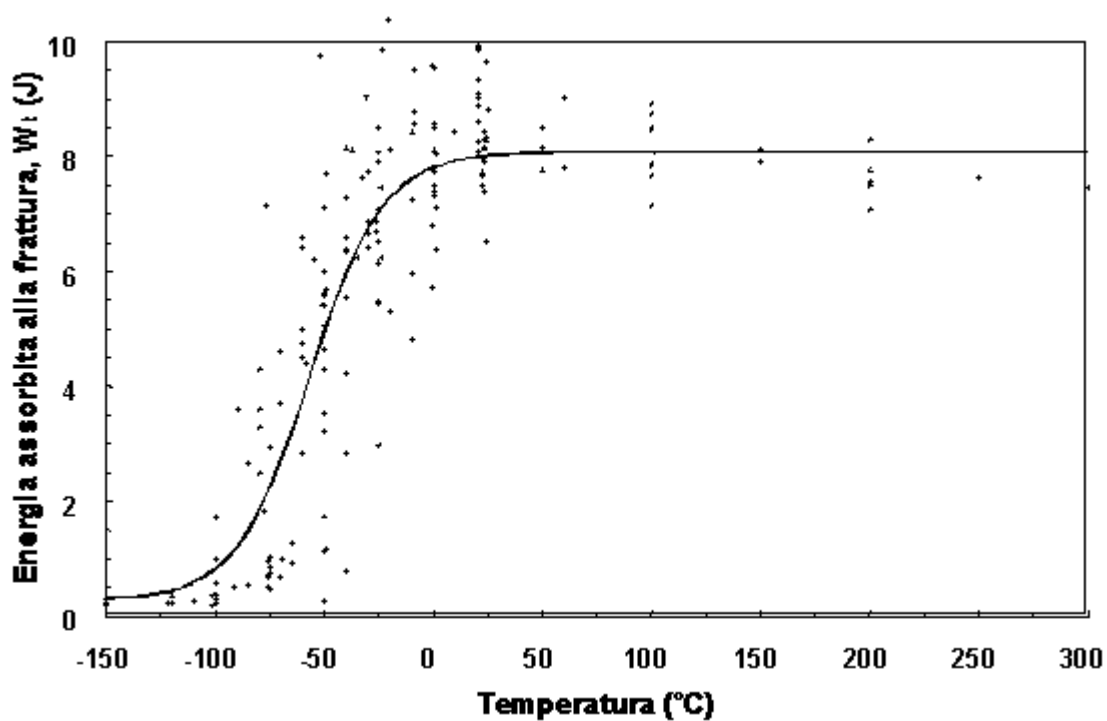


Figura D

Valori di energia assorbita alla frattura misurati dai partecipanti alla Fase 2 in funzione della temperatura (con relativa curva di regressione tipo tangente iperbolica).

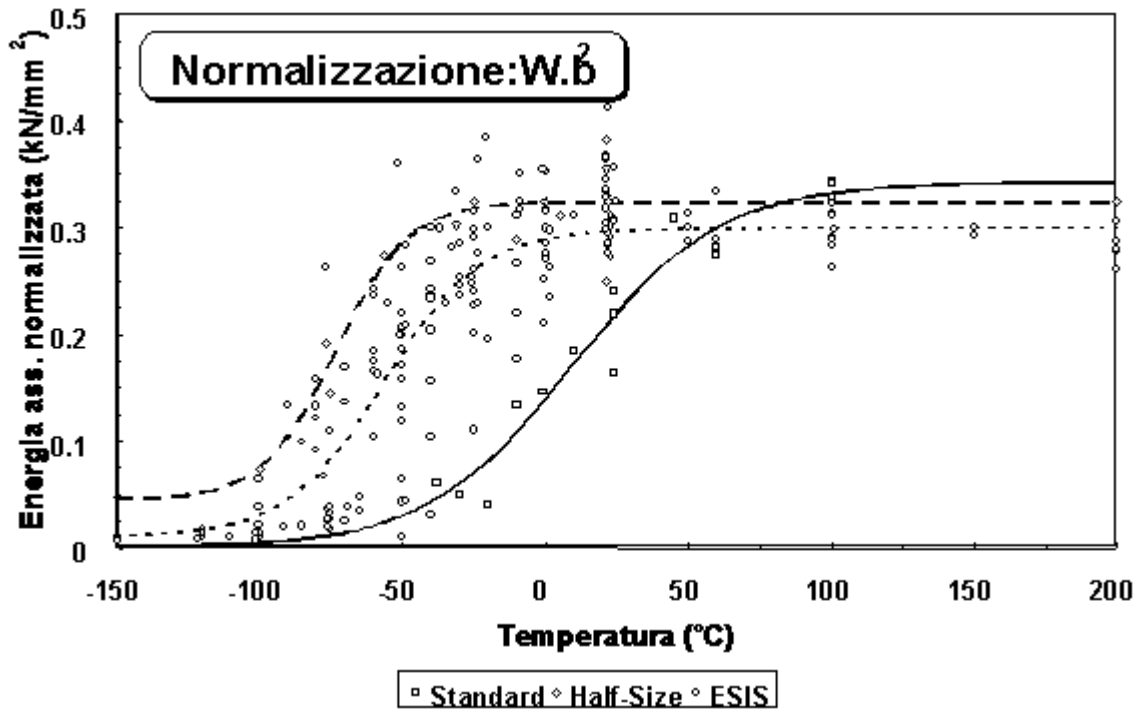


Figura E

Valori di energia assorbita alla frattura, misurati su provette diverse in funzione della temperatura, normalizzate in base al volume di frattura ( $W_b^2$ ).

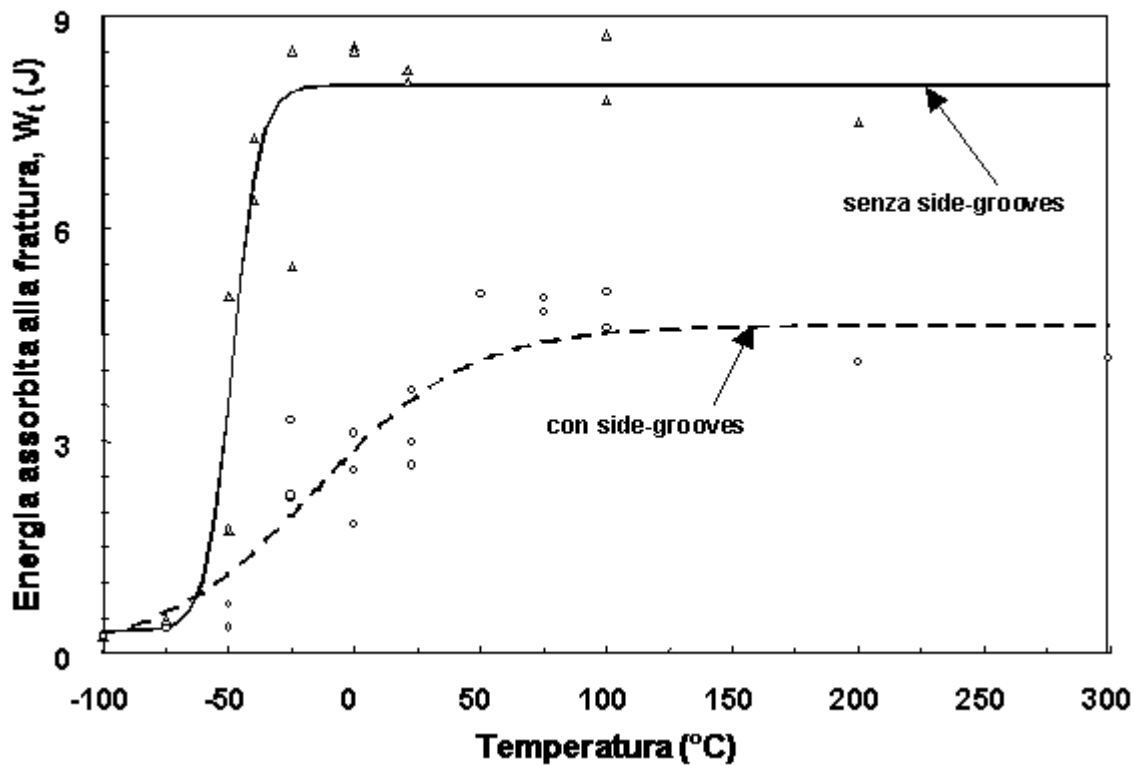


Figura F

Confronto tra provette con e senza scanalature laterali (side-grooves), in termini di energia assorbita alla frattura in funzione della temperatura di prova.



[ [Precedente](#) ] [ [Successiva](#) ]

Versione HTML realizzata da

