

IGF8 - VIII Convegno Nazionale
Gruppo Italiano Frattura
Genova, 27-29 Maggio 1992

**UN NUOVO LABORATORIO PER LA CARATTERIZZAZIONE
DEI MATERIALI IN CAMPO CRIOGENICO**

C. Ferrero, C. Marinari, E. Martino

Istituto di Metrologia "G. Colonnetti"
Strada delle Cacce, 73 - 10135 TORINO (I)

SOMMARIO

La crescente richiesta di applicazioni in settori di importanza strategica (superconduttività, ingegneria spaziale, ecc.) da parte di laboratori industriali ed Università, ha reso indispensabile dotare l'Istituto di Metrologia di un laboratorio adatto alle nuove esigenze tecnologiche.

Nella presente memoria viene descritto il sistema per la caratterizzazione strutturale dei materiali a temperatura variabile da Ambiente fino a 4.2 K (LHe) acquisito dall'IMGC, costituito da una macchina prova materiali con attuatore elettromeccanico della INSTRON e da un criostato a flusso della Oxford.

1. INTRODUZIONE

L'eccezionale sviluppo delle tecnologie criogeniche avvenuto in questi ultimi anni, legato alle applicazioni nel campo della Superconduttività, nel settore aereo-spaziale, degli acceleratori di particelle e, più recentemente, della ricerca nel campo della fusione termonucleare, ha evidenziato la necessità di caratterizzare materiali e trasduttori atti a lavorare dalla temperatura ambiente a quella dell'elio liquido (4.2 K).

Nel 1989 la direzione del Progetto Finalizzato "Tecnologie Superconduttive e Criogeniche", con l'obiettivo di dotare anche il nostro paese di adeguati sistemi di indagine in questo campo, ha finanziato la realizzazione, presso l'Istituto di Metrologia "G. Colonnetti" (IMGC), di un laboratorio per la caratterizzazione di materiali a temperature criogeniche.

Il gruppo di ricerca "Analisi delle sollecitazioni in condizioni di lavoro estreme" dell'Istituto di Metrologia "G. Colonnetti" del CNR di Torino era infatti inserito, fin dal primo Progetto

Finalizzato Superconduttività (1981), nel campo della caratterizzazione di trasduttori e sensori di deformazione per applicazioni superconduttive.

Nel 1990 il gruppo è stato impegnato nell'analisi del mercato dei costruttori delle macchine prova materiali e dei sistemi criogenici, nella progettazione e nelle modifiche da apportare ai progetti originali ed infine nel collaudo e caratterizzazione del sistema integrato (macchina-criostato).

2. MACCHINA PROVA MATERIALI (MPM)

La MPM è stata realizzata dalla Instron sulla base del modello 8562, al quale sono state apportate le modifiche necessarie al collegamento con il criostato a flusso della Oxford.

Si tratta di una macchina con telaio di carico a due colonne dimensionato per carichi fino a 200 kN.

Il piano inferiore della macchina è stato ribassato e la distanza fra le colonne aumentata (1850 mm x 1000 mm) in modo da poter accogliere con maggiore facilità al suo interno il criostato a flusso della Oxford (Fig. 1).

Il telaio è stato irrigidito trasversalmente con due traverse che collegano la sommità delle colonne alla base della macchina. Una ulteriore prolunga delle colonne, oltre la traversa mobile, permette il posizionamento di un argano per l'inserimento e la rimozione del criostato.

L'attuatore, sistemato al disopra della traversa mobile è del tipo elettromeccanico, adatto a prove di trazione, compressione e frattura. La sua capacità è di 100 kN con una corsa di ± 50 mm; la velocità massima è di 350 mm/min mentre quella minima controllabile è 1 μ m/ora.

Per prove cicliche la frequenza massima è di 1-2 Hz con una corsa di 0,5 mm. La rigidità assiale è 255 kN/mm, quella trasversale di 37 kN/mm.

La misura degli spostamenti viene effettuata con trasduttore induttivo differenziale (tipo LVDT), è previsto l'impiego di metodi ottici ed interferometrici per la determinazione delle rotazioni e spostamenti della macchina al fine di ottimizzarne le prestazioni.

3. CRIOSTATO A FLUSSO

3.1 Principio di funzionamento

La necessità di realizzare condizioni di prova con temperature variabili in modo continuo da 4.2 K a Tambiente ha reso necessaria l'acquisizione di un criostato a flusso. Esso permette, oltre alla realizzazione di punti fissi di temperatura attraverso lo riempimento della camera di prova con elio liquido (4.2 K) o con azoto liquido (77 K), di raggiungere e mantenere qualsiasi temperatura intermedia di prova.

Il criostato a flusso funziona sul principio del continuo e controllato trasferimento di liquido criogenico da un contenitore di stoccaggio al criostato stesso dove è sistemato uno scambiatore di calore.

L'opportuno bilanciamento tra la potenza termica dissipata dallo schermo riscaldatore ed il flusso di liquido criogenico che fluisce nel criostato permette di mantenere i valori di temperatura prefissati.

Il flusso criogenico è controllato automaticamente da una valvola a spillo montata sul tubo di transfer che accede direttamente alla camera di scambio termico.

Il liquido criogenico dopo aver percorso il tubo di transfer entra a contatto con lo schermo di irraggiamento termico nella camera di prova.

In un volume di 160 mm di diametro per 240 mm di altezza è possibile avere una regione isoterma con stabilità di temperatura entro ± 0.1 K.

Sia le operazioni di raffreddamento che quelle di riscaldamento vanno eseguite con sufficiente lentezza (2 ore circa per passare da Tamb e TLHe) onde evitare eccessivi specchi di liquido criogenico e lunghi periodi di oscillazione termica.

3.2 Caratteristiche principali

Il criostato schematizzato in Fig. 2, è composto da diversi moduli inseriti in serie.

Il contenitore esterno è costituito da un cilindro in acciaio inossidabile con una camicia interna sotto vuoto. La base del criostato è collegata alla traversa inferiore della MPM attraverso una apposita flangia di raccordo.

Nel cilindro di acciaio interno è situata la camera di prova. La sua base è collegata allo scambiatore di calore mentre un cilindro di rame circonda la regione isoterma migliorando lo scambio termico e quindi il rendimento del sistema.

Un vuoto di almeno $1-2 \times 10^{-4}$ mbar tra i due cilindri riduce drasticamente la trasmissione del calore verso l'esterno.

La barra di trasmissione del carico (attuatrice) è realizzata in lega di titanio (Ti6AlV) in modo da permettere l'applicazione dei massimi carichi previsti con la minima conducibilità termica e quindi la minima dissipazione di liquido criogenico.

Lungo il suo asse sono collegati sei dischi in acciaio inossidabile che favoriscono un efficiente raffreddamento utilizzando l'entalpia del gas di evaporazione. Nella flangia superiore del criostato sono ubicati i connettori per la rilevazione dei segnali di misura dei due termometri Rh-Fe che controllano la temperatura alle due estremità del provino e per il collegamento dei trasduttori di deformazione o di spostamento eventualmente utilizzati.

Nella parte inferiore della barra attuatrice è collegato il sistema di afferraggio dei provini. Anche tali sistemi di afferraggio sono realizzati in lega di titanio (Ti6AlV) in modo da limitare il consumo del liquido criogenico. Gli attuali afferraggi sono stati progettati per lavorare con provini piatti spinati come da norma ASTM E8.

3.3 Parti Accessorie

3.3.1 Sistemi di controllo

Il controllo e la programmazione della Tamb è attuato a mezzo di un controllore automatico (ITC-4). Tre sono i sensori di temperatura collegati, i primi due misurano la temperatura alle estremità del volume di prova, il terzo rileva la temperatura del riscaldatore.

L'ITC-4 controlla anche l'alimentatore che attiva il riscaldatore, e può controllare in modo automatico la potenza necessaria per la variazione di temperatura imposta nella camera di prova.

Il comando del flusso di elio liquido è effettuato attraverso l'attivazione di un motorino passo-passo che regola l'apertura di una valvola a spillo.

Il relativo display sul sistema di controllo indica la percentuale di apertura della valvola e, di conseguenza, il flusso di elio liquido.

Nella parte inferiore del sistema di controllo sono sistemate tre pompe meccaniche a diaframma che permettono di regolare il flusso del gas criogenico che esce dallo schermo di irraggiamento del criostato, dal tubo di transfer e dalla camera di prova.

3.3.2 Tubo di transfer

Il trasferimento del liquido criogenico dal dewar di stoccaggio al criostato è effettuato tramite un tubo in acciaio inossidabile del diametro di 1/8" tenuto sotto vuoto attraverso un secondo cilindro coassiale, flessibile, del diametro di 150 mm.

All'estremità del tubo, dove questo viene inserito nel dewar di stoccaggio, è sistemata la valvola a spillo per la regolazione del flusso, con il relativo motorino di regolazione.

All'estremità opposta un apposito sistema di collegamento permette di raccordare il tubo di transfer al criostato.

Il liquido criogenico passa quindi attraverso il tubo direttamente nella camera dove è sistemato il riscaldatore e raffredda lo schermo di irraggiamento.

Parte del gas prodotto ritorna indietro nel tubo di transfer attraverso la sezione definita dai due tubi coassiali, con

l'effetto di raffreddare il tubo di transfer stesso e migliorare il rendimento del sistema.

Il gas di uscita viene aspirato da una delle pompe sopra citate e disperso nell'ambiente. Il consumo massimo di elio liquido per provini tipo è di ca. 4+5 l/ora.

4. CONCLUSIONI

Alcuni recenti confronti internazionali sono stati effettuati in ambito VAMAS (Versailles Projects of Advanced Materials and Standards) al fine sia di determinare le proprietà meccaniche dei materiali a temperature criogeniche sia l'influenza delle condizioni di prova adottate dai vari laboratori /1/.

La dispersione dei risultati ottenuti (rapporto fra deviazione standard e valore medio superiore al 10%) ha sollecitato la stesura di una normativa per la caratterizzazione di materiali metallici alla temperatura dell'elio liquido /2, 3/ e l'approfondimento di fenomeni specifici a tali temperature quali la risalita in temperatura del provino dovuta a riscaldamento adiabatico a causa della deformazione dello stesso, l'influenza sulle proprietà meccaniche della velocità di deformazione del provino, l'andamento stesso (serration effect - Fig. 3) della curva σ - ϵ dipendente a sua volta dalla velocità di deformazione.

BIBLIOGRAFIA

- /1/ T. Ogata et alii, Vamas interlaboratory fracture toughness test at liquid helium temperature, Adv. in Cryog. Eng. Mat., vol. 36, (1990).
- /2/ Tensile testing method for metallic materials in liquid helium, Japanese Industrial Standard (1990).
- /3/ Tensile test of metallic materials at ultra-low temperatures, ISO (New Proposal) (1991).

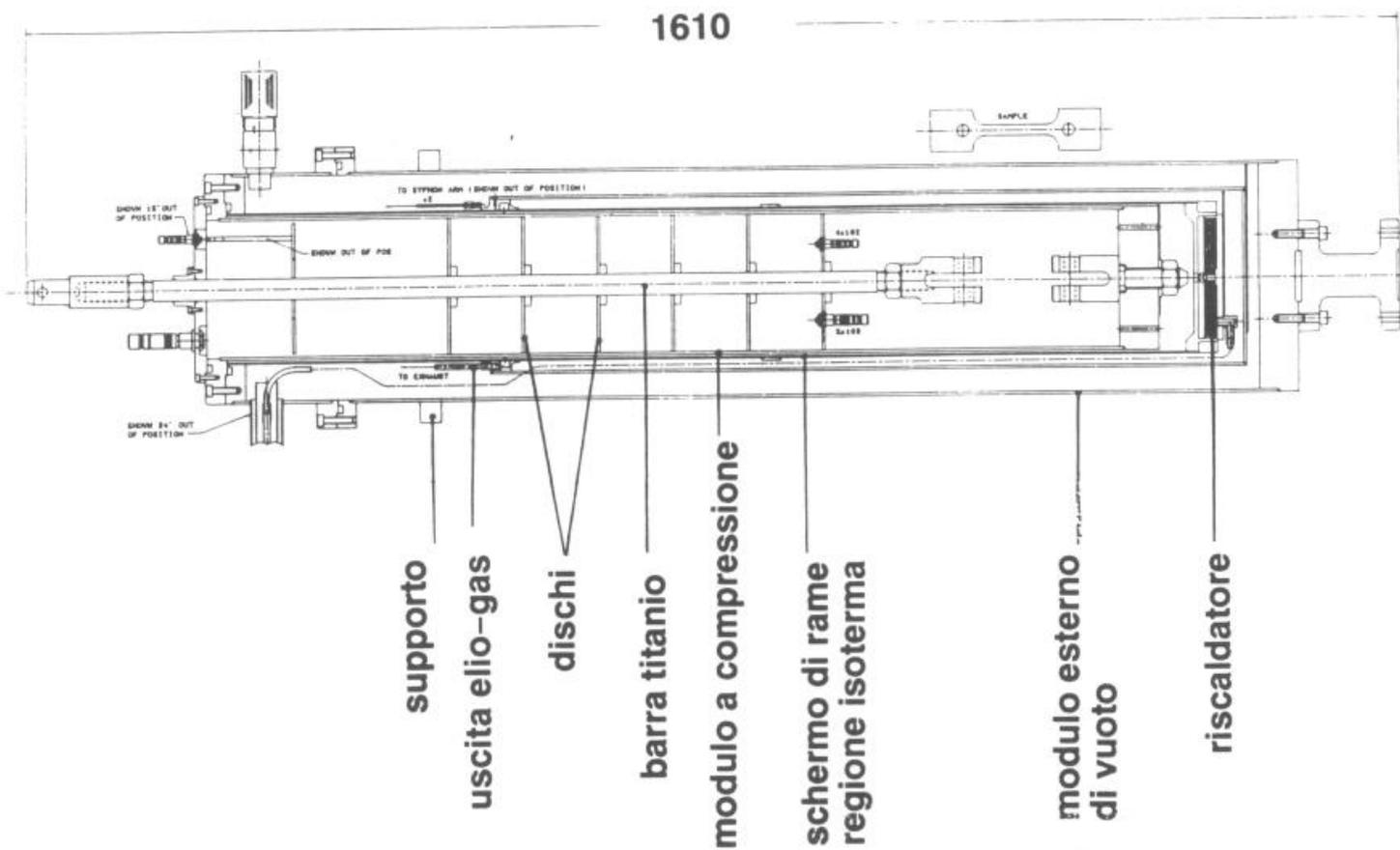


Fig. 2 – Schema del criostato a flusso

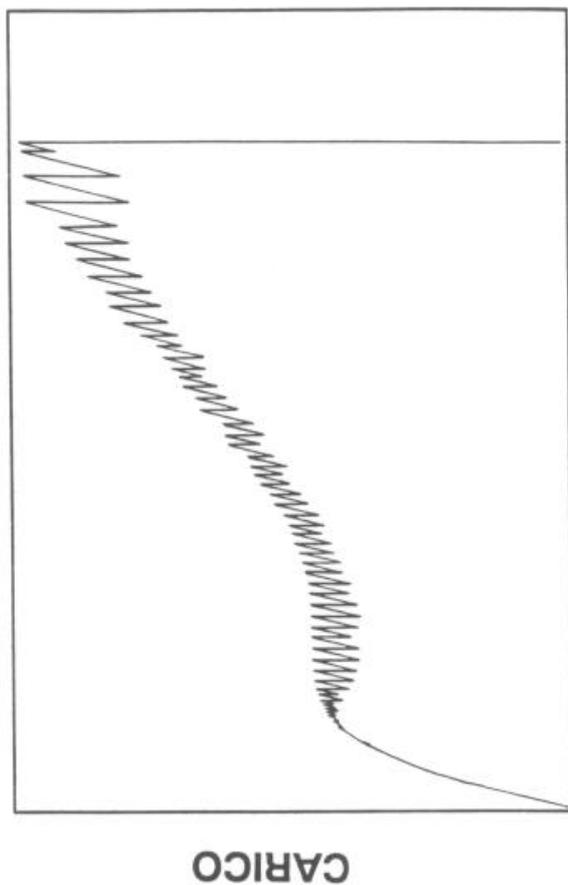


Fig. 3 – Tipico grafico carico-allungamento per Acciaio inox a temperature criogeniche

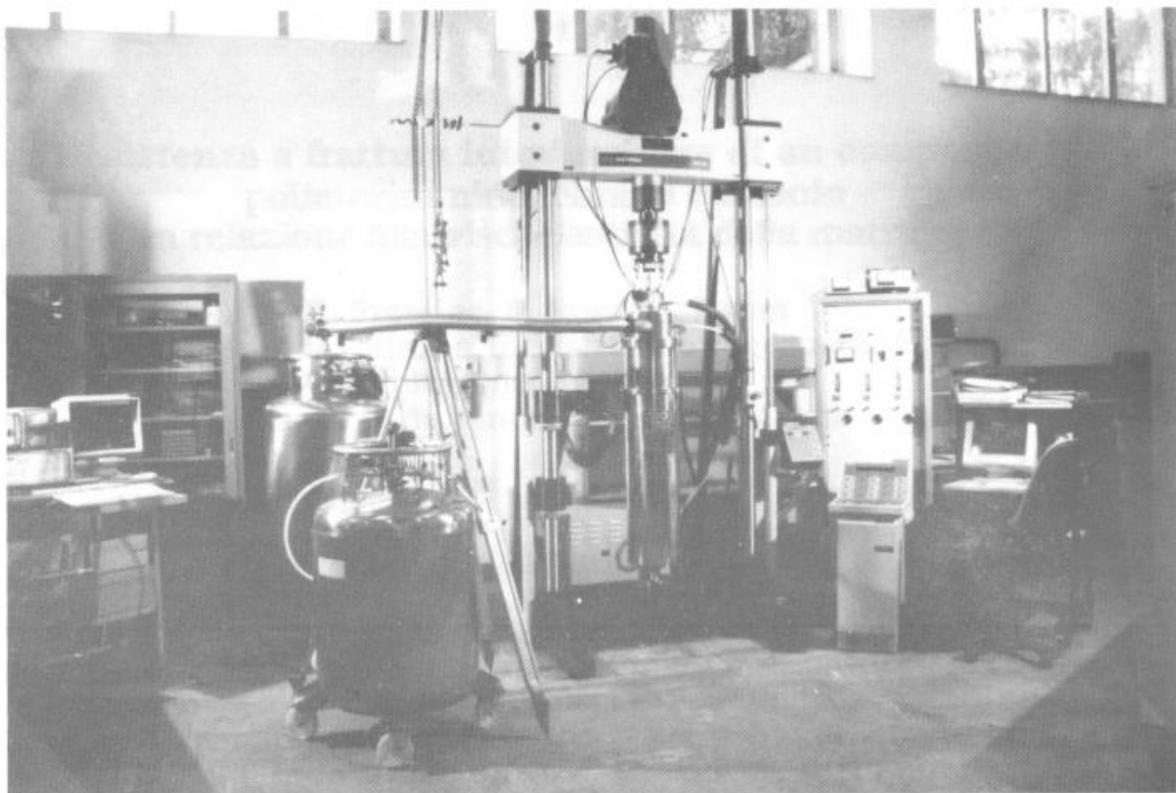


Fig. 1 – Vista generale della macchina prova materiali per prove criogeniche e particolare del criostato a flusso.

