

5. Metodi sperimentali per la caratterizzazione di leghe metalliche a differenti velocità di deformazione

Si analizzano in questo capitolo le problematiche, le tecniche sperimentali, le attrezzature utilizzate ed i risultati relativi alla caratterizzazione di differenti leghe metalliche, in particolare quelle caratterizzate da carichi unitari di snervamento e rottura particolarmente elevati. Nello specifico si riportano i risultati pertinenti a:

- 1) Leghe Cromo – Molibdeno - Vanadio contraddistinte da elevatissimi carichi di snervamento e rottura con applicazione in ambito aeronautico.
- 2) Leghe di alluminio ad elevata carico unitario di snervamento utilizzato per applicazioni aerospaziali
- 3) Acciaio duttile ad elevata resistenza utilizzato in ambito industriale Oil and Gas
- 4) Leghe di Titanio ed Inconel per applicazioni in entrambi gli ambiti aeronautico ed aerospaziale

5.1. Problematiche sperimentali inerenti la caratterizzazioni di leghe metalliche ad elevata resistenza e configurazione sperimentale utilizzata

La caratterizzazione di leghe metalliche ad elevata resistenza necessita, a partire dalla caratterizzazione in regime quasi statico, dell'utilizzo della tecnica di correlazione digitale delle immagini. Ciò risulta fondamentale poiché, in compressione, le superfici di carico si deformano elasticamente, facendo sì che la misura delle deformazioni sul materiale derivate da queste ultime non siano rappresentative delle deformazioni sul provino. Una misura basata sullo spostamento delle estremità dei piatti di compressione quindi falserebbe le misure di deformazione e, conseguentemente, la valutazione del modulo elastico del materiale. Per tale motivo si è passati dall'utilizzo dell'estensometro laser per la misura della distanza tra due superfici riflettenti poste sui piatti di compressione (realizzati in acciaio) all'utilizzo della tecnica di correlazione digitale delle immagini registrate attraverso telecamera con ottica tele centrica. L'utilizzo di un ottica telecentrica

garantisce che un'immagine di un punto nello spazio non dipenda dalla sua distanza, ovvero, che le immagini non presentino alcuna distorsione e siano rappresentative delle effettive dimensioni degli oggetti coinvolti nell'esecuzione del test, ovvero di piatti di compressione e provino.

L'utilizzo di piatti di compressione composti di carburo di tungsteno (caratterizzato da un modulo elastico pari a 420 GPa) anziché di acciaio garantisce la non eccessiva indentazione delle superfici di compressione che possono essere utilizzate per un maggior numero di test consecutivi.

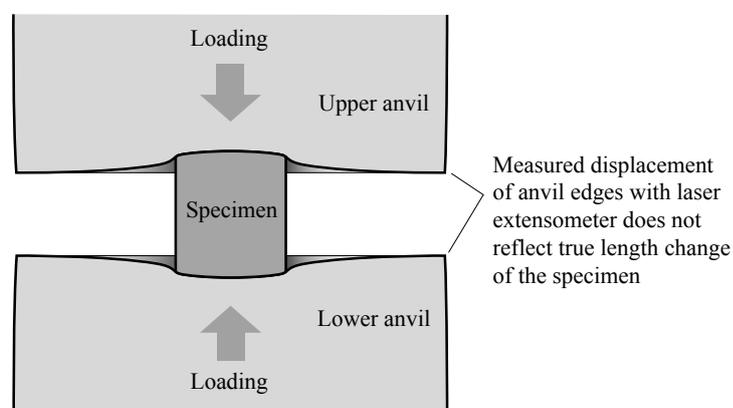


Figura M.1 (Courtesy of Nik Petrinic and Jens Schupp, IEL, University of Oxford): la deformazione delle superfici di compressione non permette l'utilizzo dell'estensimetro laser che comporterebbe una sottostima della rigidità del provino

Allo scopo di conoscere gli esatti istanti esatti in cui le immagini sono registrate e permettere quindi la successiva sincronizzazione tra i dati relativi alle forze ed i dati relativi alle deformazioni si è fatto sì, interfacciando il software di gestione della macchina servo idraulica Zwick/Roell Z250 con un apposito programma National Instrument Labview, che la prima immagine della sequenza fotografica sia relativa all'istante di raggiungimento di una forza pari al precarico impostato. In questo modo la sincronizzazione dei dati di tensione e deformazione risulta di agevole esecuzione, essendo noto che il tempo relativo al raggiungimento del precarico corrisponde al tempo di registrazione della prima immagine della sequenza fotografica.

Allo scopo di migliorare l'uniformità di illuminazione del provino e, quindi, far sì che la successiva analisi delle deformazioni fosse più accurata si è circondato il provino, opportunamente illuminato, di opportuna copertura di materiale diffusivo provvisto di opportuna fessura per la ripresa delle immagini.

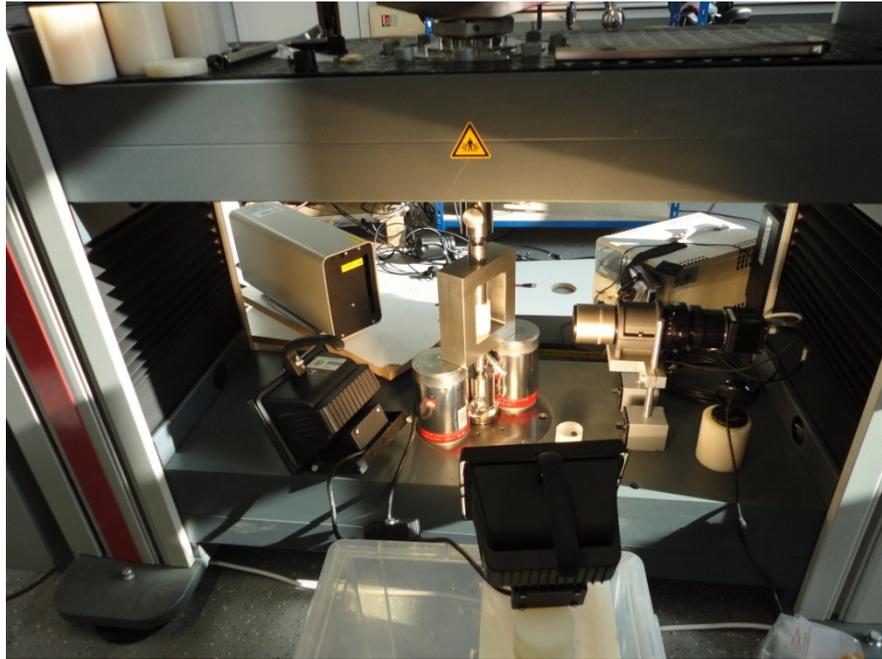


Figura M.2: setup sperimentale per test in compressione su materiale tenace. Si noti l'ottica telecentrica utilizzata, il laser estensimetro utilizzato a scopo comparativo e la copertura di materiale diffusivo posta attorno al provino.

Si riportano, a seguire, alcuni dei risultati sperimentali ottenuti in compressione su una particolare su una particolare tipologia di inconel e su una lega di titanio avente caratteristiche anisotrope, entrambe utilizzate per applicazioni aerospaziali.

Come è possibile osservare in figura M3 relativa ad uno degli esperimenti in compressione effettuati su Inconel la curva caratteristica ricavata mediante misure da estensometro laser si presenta marcatamente differente da quella, più realistica determinata attraverso analisi delle immagini. Il valore della tensione di snervamento in compressione per tale lega si colloca tra i 1300 ed i 1350 MPa ed il modulo di elasticità risulta pari a circa 272 GPa. Come è possibile osservare la differenza tra le

due curve risulta più marcata al crescere delle tensioni e, quindi, al crescere delle deformazioni delle superfici ci carico in compressione.

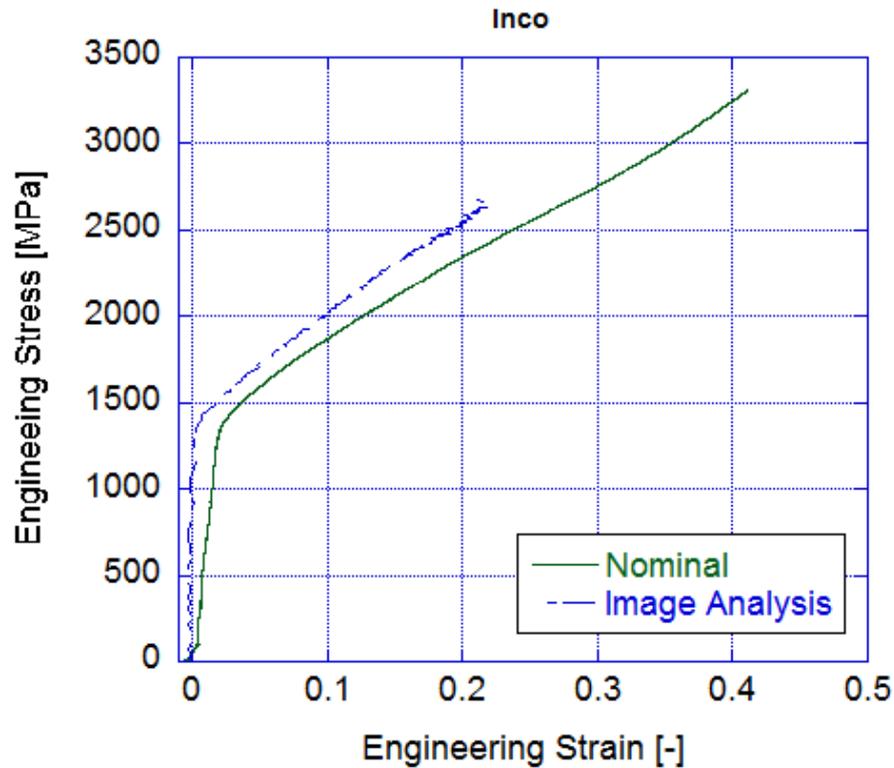


Figura M3 – curva caratteristica stress strain per Inconel utilizzato su applicazioni aeronautiche determinata attraverso estensimetro laser ed analisi delle immagini (provino cilindrico $h = 3\text{ mm}$ diametro = 2.5 mm , $SR = 10^{-3}\text{ s}^{-1}$)

Le figure M4-M8 riportano le curve caratteristiche di una lega di titanio per applicazioni aerospaziali. Poiché il materiale oggetto di interesse ha subito un processo meccanico di laminazione esso presenta proprietà di resistenza differenti lungo tre direzioni ortogonali tra loro. Nello specifico si sono determinate le proprietà meccaniche del materiale in regime quasi statico nelle direzioni di laminazione, in direzione trasversale e lungo lo spessore.

Come è possibile osservare la deformazione di cedimento plastico risulta notevolmente differente lungo le tre direzioni ed in particolare si ha cedimento plastico per valori di strain logaritmico pari a circa:

- 0,25 in direzione trasversale
- 0,35 nella direzione lungo lo spessore di laminazione
- 0,75 nella direzione di laminazione

I carichi di snervamento per le tre differenti direzioni valgono rispettivamente:

- Circa 1000 MPa lungo la direzione di laminazione
- Circa 1050 MPa lungo lo spessore di laminazione
- Circa 1200 MPa in direzione trasversale

Il modulo di elasticità risulta pari a circa 116 GPa per le tre direzioni.

Infine la figura M.8 illustra le differenze tra le curve ingegneristiche determinate mediante estensometro laser e mediante analisi delle immagini. Sebbene nella regione elastica delle deformazioni le curve si sovrappongono, la differenza tra le due risulta via via più marcata nella regione plastica in cui si ha sensibile deformazione delle superfici di compressione.

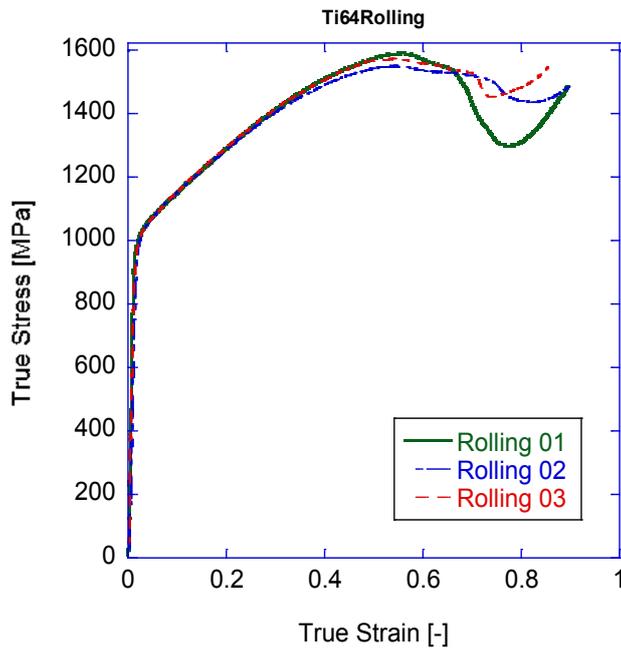


Figura M4: curva caratteristica stress strain per lega di titanio utilizzata per applicazioni aerospaziali (provino cilindrico $h = 2.5 \text{ mm}$ diametro = 2.5 mm , $SR = 10^{-3} \text{ s}^{-1}$) – direzione di laminazione

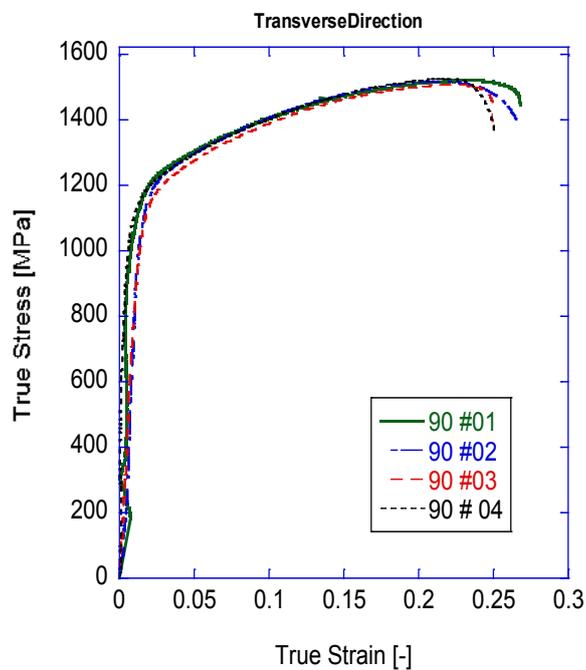


Figura M5: curva caratteristica stress strain per lega di titanio utilizzata per applicazioni aerospaziali (provino cilindrico $h = 2.5 \text{ mm}$ diametro = 2.5 mm , $SR = 10^{-3} \text{ s}^{-1}$) – direzione trasversale

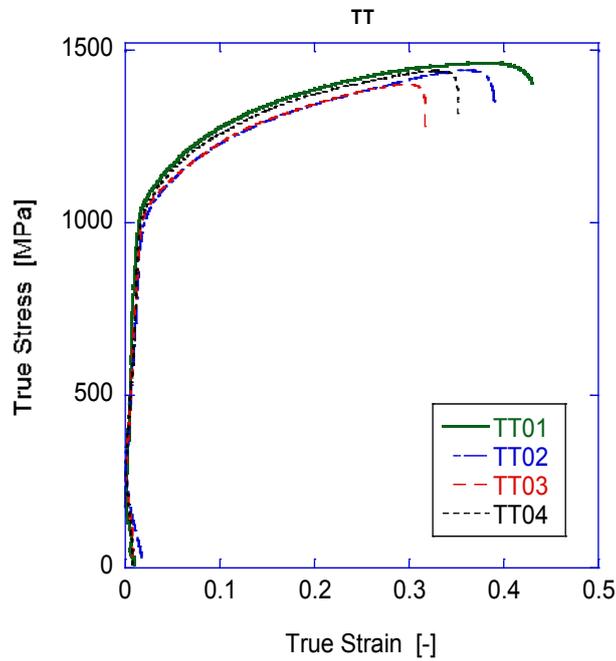


Figura M6: curva caratteristica stress strain per lega di titanio utilizzata per applicazioni aerospaziali (provino cilindrico $h = 2.5$ mm diametro = 2.5 mm, $SR = 10^{-3} s^{-1}$) – direzione lungo lo spessore

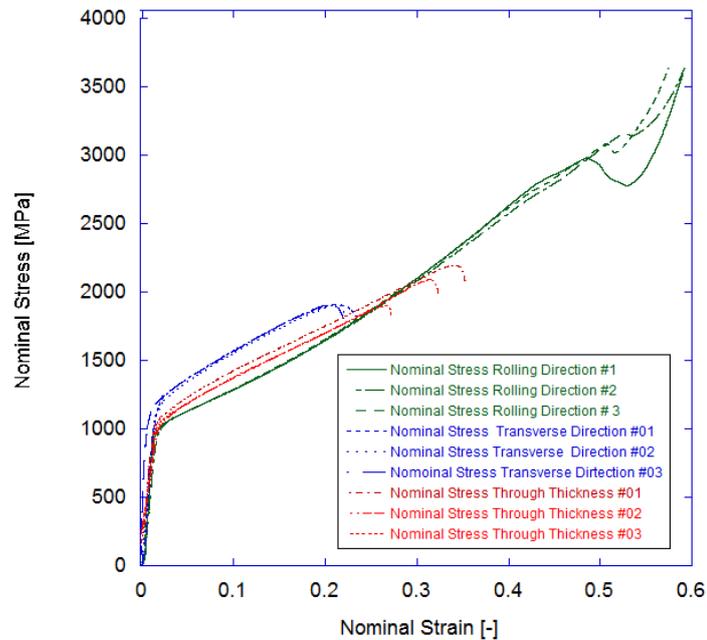


Figura M7: curve caratteristiche stress strain per lega di titanio utilizzata per applicazioni aerospaziali lungo le tre direzioni

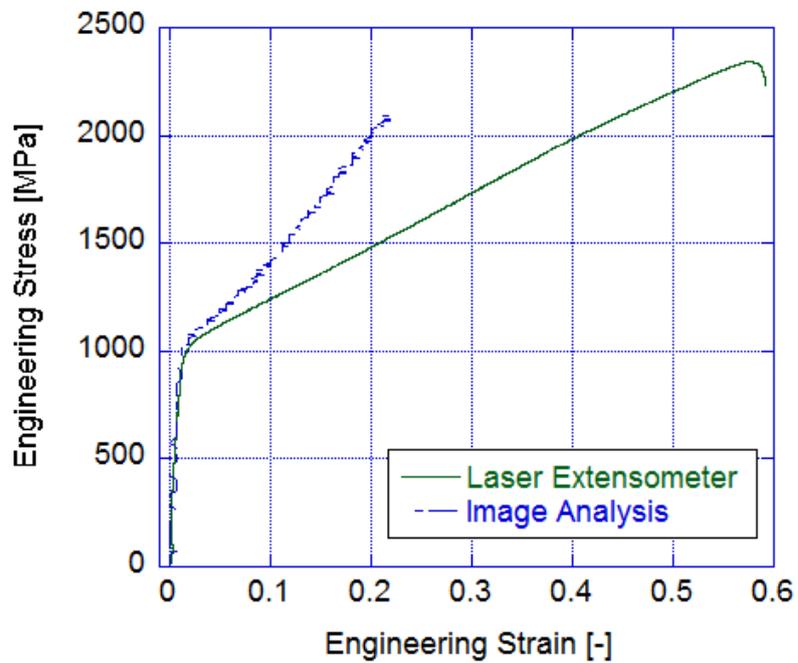


Figura M8: curva caratteristica stress strain per lega di titanio utilizzata per applicazioni aerospaziali differenza tra la caratteristica determinata mediante estensimetro laser e quella determinata attraverso analisi delle immagini (provino “dogbone” in compressione, gauge length = 2.5 mm diametro 0 2.5 mm, SR = SR = 10^{-3} s^{-1})