

UNA METODOLOGIA PER IL DIMENSIONAMENTO E LA VERIFICA A FATICA DELLE BARRE DI TORSIONE

L. Catalano, D.A. Campagna

leonardo.catalano@diim.unict.it, andrea.campagna@diim.unict.it

Dipartimento di Ingegneria Industriale e Meccanica - Università di Catania
Viale A. Doria 6, 95125 - Catania

INTRODUZIONE

Nel presente lavoro si propone una metodologia per il dimensionamento e la verifica a fatica delle barre di torsione che debbano resistere a carichi affaticanti derivanti da condizioni di prova o di esercizio. La metodologia prevede l'uso di strumenti software F.E.M. e F.L.P. per la stima a calcolo della vita ed una verifica finale di tipo sperimentale dei risultati ottenuti.

DESCRIZIONE DEL PROBLEMA

Come noto le barre di torsione sono componenti progettati in modo che il coefficiente d'utilizzo sia elevato e che la caratteristica elastica sia a rigidità costante per tutto il campo della freccia d'utilizzo. Queste caratteristiche salienti impongono di lavorare con tensioni aventi elevate fluttuazioni durante i cicli di funzionamento e di conseguenza espongono il componente a possibili rotture per fatica.

Per valutare il comportamento a fatica di un componente è uso comune ricorrere a prove di affidabilità accelerate su componenti già pronti per il mercato o su prototipi; tuttavia questo modo di procedere, anche se fornisce risultati validi, richiede un impegno economico e temporale non indifferente. Sebbene decenni d'esperienza sul fenomeno "fatica" hanno permesso di redigere intere enciclopedie di letteratura circa il comportamento dei materiali ancora oggi riesce difficile valutare il comportamento di un elemento "sulla carta". Quest'impossibilità è dovuta principalmente al fatto che in questa direzione non è disponibile ancora materiale scientifico sufficiente.

Tuttavia è ormai assodato che la resistenza a fatica è una caratteristica del componente, inteso come frutto globale dei vari fattori che hanno partecipato alla sua realizzazione e/o che ad esso appartengono in termini resistenziali.

Il metodo che si presenta si basa sulla conoscenza delle caratteristiche costruttive, resistenziali e d'esercizio di un componente; queste informazioni sono poi elaborate, come riportato in figura 1, in maniera da riprodurre le condizioni di prova o di esercizio. Output della metodologia è una stima della vita prevista sotto le condizioni di carico simulate.

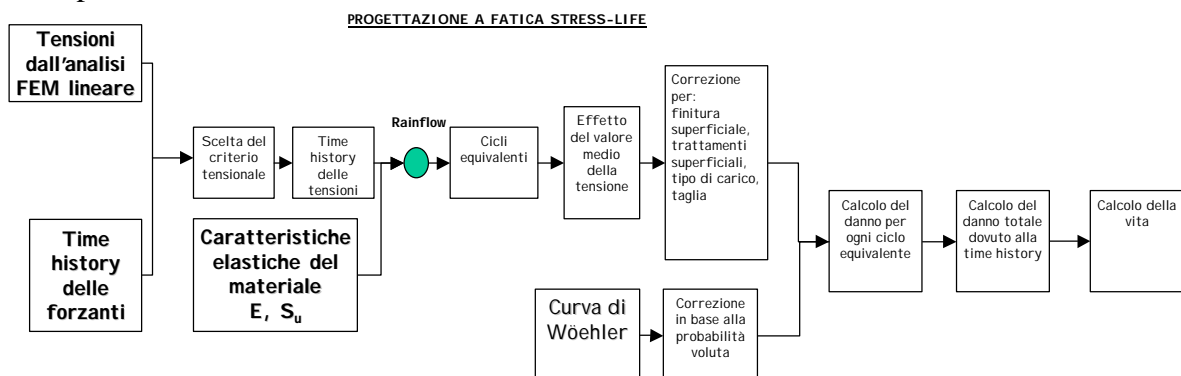


Figura 1: diagramma di flusso della metodologia

IL CASO DI STUDIO

La barra di torsione, oggetto dello studio, è realizzata in acciaio per molle riconducibile al SAE 1541 QT avente caratteristiche statiche riportate nella seguente tabella 1.

<i>ACCIAIO SAE 1541</i>	
Carico di rottura	1200 Mpa
Carico di snervamento	900 Mpa
Modulo di Young	206000 Mpa
Modulo di Poisson	0.26

Tabella 1: caratteristiche statiche

Il processo di costruzione prevede una prima lavorazione di forgiatura a caldo a cui segue un trattamento termico di distensione. Al fine di incrementare la resistenza a fatica il componente viene successivamente soggetto ad un trattamento di pallinatura e quindi verniciato.

Nella figura 2 è riportato il modello MCAD mentre nelle figure 5 e 6 è riportato il modello F.E.M.

<i>Caratteristiche del modello F.E.M.</i>	
Nodi	22408
Elementi	16169
Tipo elementi	Chexa 8

Tabella 2: caratteristiche del modello F.E.M.

Il modello F.E.M. è stato realizzato utilizzando elementi brick ad otto nodi al 99,9% sul totale degli elementi. Questa formulazione è scelta per l'affidabilità molto alta dei risultati ottenibili utilizzando i parametri di discretizzazione consigliati.

Vincolato e caricato il modello in maniera congruente con la modalità di prova a banco del componente, cioè incastrato ad un estremo e caricato da una forza unitaria su l'altro estremo, si è risolto il problema elastico mediante il solver Nastran, versione commerciale della Msc.

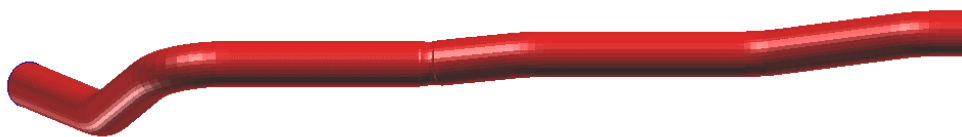


Figura 2: modello MCAD della barra

LA PREVISIONE A FATICA

Il componente opera durante le prove a banco in maniera tale che il campo delle tensioni resti nominalmente lineare su tutto il volume del componente come è possibile notare in figura 3. Quest'importante osservazione giustifica l'uso del metodo "S-N" per la stima della vita a fatica.

La previsione è stata effettuata utilizzando il software Msc.Fatigue v. 9.0.

Si descrivono brevemente tutti i fattori che contribuiscono alla previsione della vita a fatica e si dà giustificazione delle scelte adottate nel presente caso di studio.

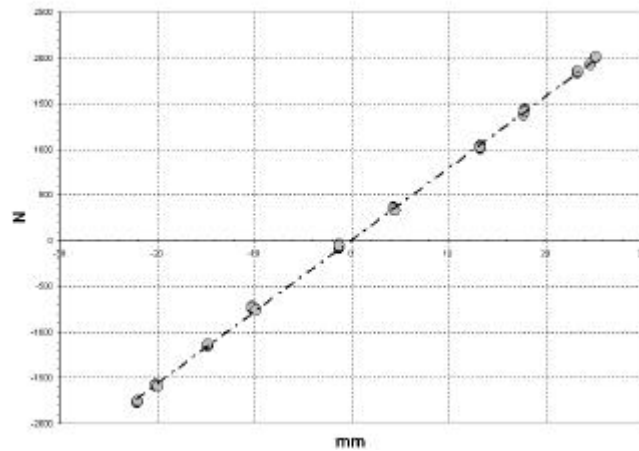


Figura 3: caratteristica sperimentale carico freccia della barra

IL MATERIALE

Nella figura 4 è riportata la curva di Wöhler per il caso di carico torsione alterna simmetrica (il diagramma è da intendersi a rottura).

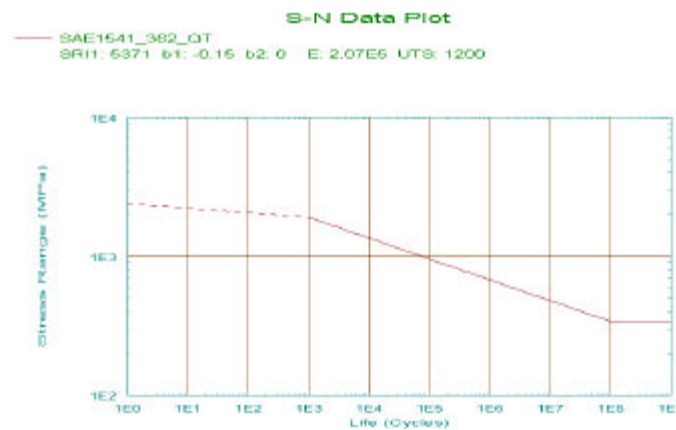


Figura 4: curva S-N dell'acciaio SAE 1541QT

LA FINITURA SUPERFICIALE

Al fine di incrementare le prestazioni dell'elemento in esame è prescritto un trattamento superficiale di pallinatura. Questo trattamento ha come conseguenza principale quella di lasciare una tensione residua superficiale di compressione. Da un punto di vista di previsione questo si traduce nel considerare un incremento della curva S-N dovuto all'accresciuta resistenza.

LA MODALITÀ DI CARICO

Il carico di prova ha un andamento periodico con frequenza pari ad 1 Hz, un escursione simmetrica in ampiezza di 1890 N ed un valor medio pari a 154 N (vedi fig. 5). Come prima detto, durante l'escursione del carico, l'elemento resta globalmente in campo lineare.

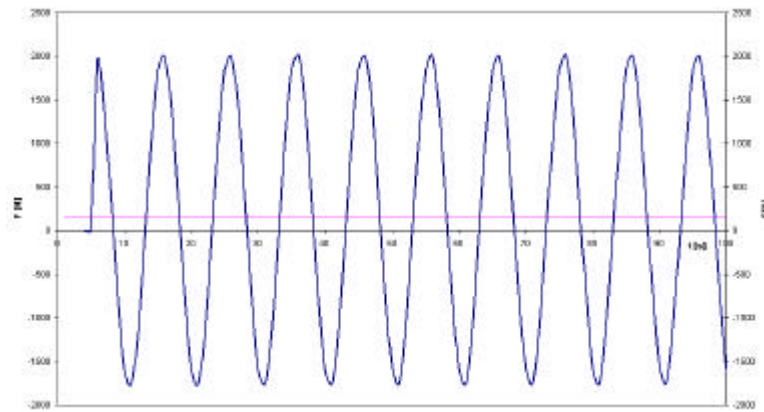


Figura 5: tratto temporale della storia di carico

IL CRITERIO DI EQUIVALENZA DELLE TENSIONI

L'analisi dell'escursione dell'andamento temporale delle tensioni su tutto l'elemento (fig. 6) permette di individuare la zona critica da un punto di vista di resistenza a fatica.

In questa zona i coefficienti di biassialità tendono ad indicare una contenuta biassialità. Per tener conto di questa biassialità la tensione equivalente è stata determinata formulando l'ipotesi della massima tensione tangenziale o di Tresca, criterio questo particolarmente adatto per i materiali fragili come nel caso in esame.

La correzione sul valor medio adottata è quella di Goodman. La relazione proposta da Goodman va bene per i materiali fragili, tuttavia è molto conservativa nel caso dei materiali duttili.

La percentuale di sopravvivenza adottata è quella nominale e cioè il 50% di probabilità di sopravvivenza.

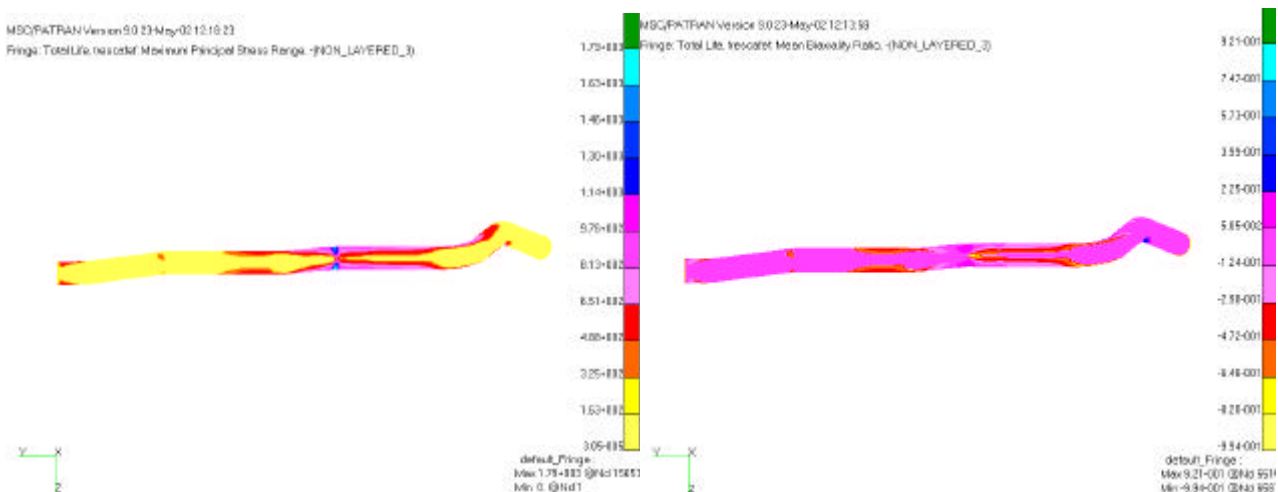


Figura 6: escursione in ampiezza della tensione massima principale (SX); Distribuzione dei coefficienti di biassialità (DX).

CONFRONTO RISULTATI SPERIMENTALI – REALI

In accordo con le indicazioni prima riportante si è calcolata la vita a fatica del componente. Dall'analisi della figure 7 ed 8 si nota che il valore della vita più basso è situato in due zone delimitate del modello. In queste due zone si aspetta la nascita della cricca che porta a rottura il

componente e si stima che la rottura avvenga dopo un numero di cicli di carico pari a $10^{4.98} = 95500$ cicli.

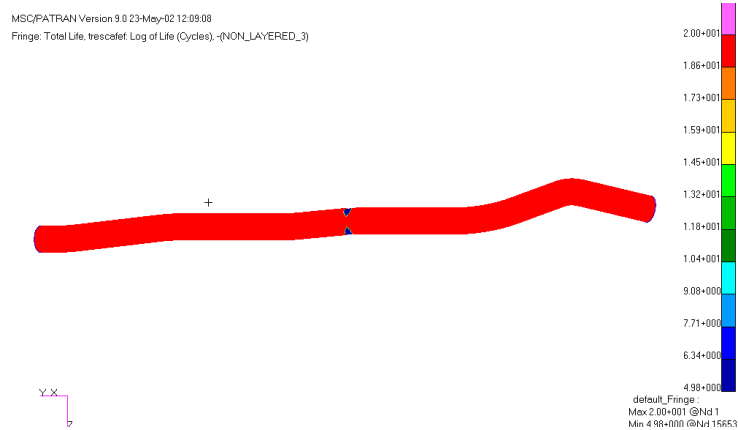


Figura 7: vita prevista

L'analisi dei risultati sperimentali, ha dimostrato che la rottura per fatica tende a prodursi ed a propagarsi in prossimità delle due zone previste, com'è visibile in figura 8, e la durata media è prossima al valore calcolato. La deviazione standard delle rotture è da ritenersi pari all'otto percento sul valore di vita media. La rottura per fatica del componente procede in modo classico, cioè inizia con una fase di formazione della cricca, la quale successivamente avanza. Quando la sezione resistente rimanente non riesce più a sopportare il carico applicato si ha la classica rottura di schianto.

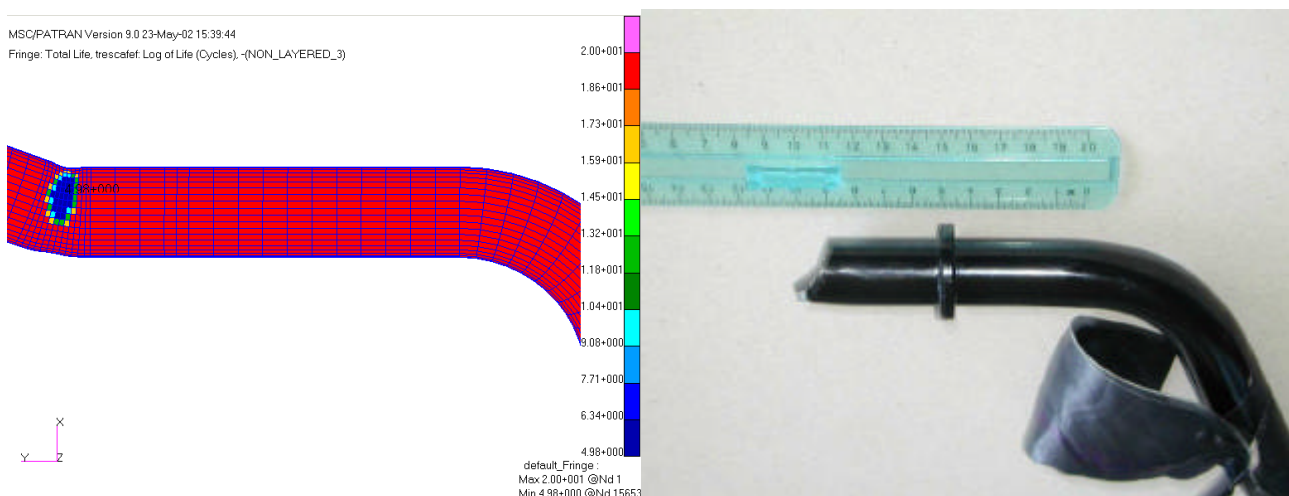


Figura 8: confronto tra le zone di rottura

Nella figura 9 è possibile osservare l'aspetto della superficie di rottura. In essa sono evidenziate sia la zona di martellamento che la zona di rottura finale, rispettivamente delimitate dal cerchio in verde e rosso.

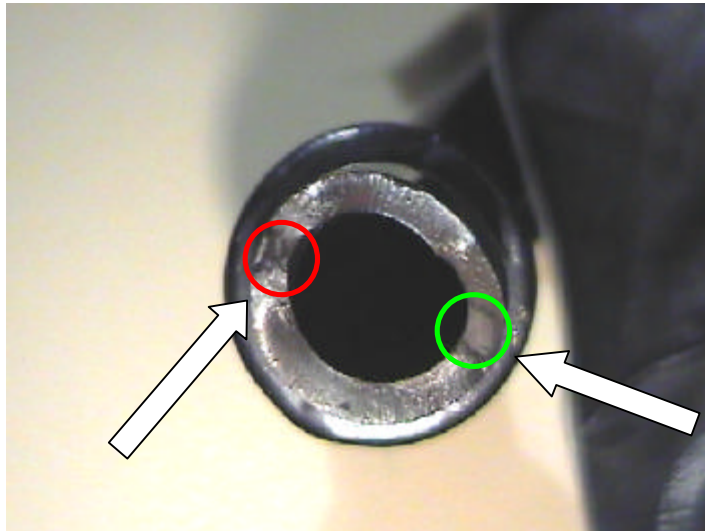


Figura 9: particolare della sezione di rottura

Osservando la figura 9 si nota che la cricca si forma inizialmente nella zona indicata dal cerchio in verde; questa zona presenta un aspetto vellutato conseguenza del martellamento iniziale. La parte di superficie con estensione maggiore presenta un aspetto frastagliato e lucido, conseguenza del cemento plastico che si ha nella fase d'avanzamento di cricca.

La zona diametralmente opposta a quella d'iniziazione, zona indicata dal cerchio in rosso, presenta un aspetto scabro, indice questo che caratterizza la zona di frattura finale.

CONCLUSIONI

La metodologia di calcolo proposta in questo lavoro si è dimostrata affidabile per lo studio del comportamento a fatica della barra di torsione presa come caso di studio ed i risultati ottenuti sono congruenti con quelli ricavati dalle prove sperimentali.

L'applicazione della nuova metodologia permette, proprio per la sua natura numerico sperimentale, già in fase di progetto di stabilire la regione di rottura e con buon'approssimazione anche la vita media prevista.

Grazie all'impiego di risorse economiche minori, rispetto ad i metodi classici di verifica, si può quindi ridurre il numero di prototipi necessari per la delibera del prodotto e di conseguenza abbassare i costi di prototipazione ed il time to market.

BIBLIOGRAFIA

- A.V.," *Msc/Fatigue User's Guide*", Macneal-Schwendler Corporation, U.S.A
 A.V.," *Msc/Nastran User's Guide*" ,Macneal-Schwendler Corporation, U.S.A
 A.V.," *Msc/Patran User's Guide*", Macneal-Schwendler Corporation, U.S.A
 S. Suresh," *Fatigue Of Materials*", Cambridge University Press , Cambridge.
 A.V.,"*Sae Fatigue Design Handbook*" , Society Of Automotive Engineers, Warrendale, Pa.
 R.C. Juvinal K.M. Marshek, "*Fondamenti Della Progettazione Dei Componenti Delle Macchine*", Edizioni ETS , Pisa.
 Ezio Iurzolla,"*I Criteri Di Resistenza*" , Edizioni Libreria Cortina, Padova
 H.E. Boyer, "*Atlas Of Fatigue Curves*", ASM, Metals Park, Ohio
 Shigley J.E, "*Mechanical Engineering Design*", Mcgraw-Hill, New York