

COMPORTAMENTO A FRATTURA DELLE TUBAZIONI: IL PROGETTO INTERNATIONAL PIPING INTEGRITY RESEARCH GROUP (IPIRG)

C. Maricchiolo, P.P. Milella
ENEA-DISP
Via V. Brancati 48 - 00144 Roma

SOMMARIO

Dal 1988 l'ENEA-Disp partecipa all' "International Piping Integrity Research Group - IPIRG", un programma internazionale di ricerca coordinato dalla United States Nuclear Regulatory Commission e finanziato da Autorità di Controllo degli impianti nucleari, centri di ricerca ed industrie di diversi Paesi.

Lo scopo del progetto IPIRG è studiare il comportamento a frattura di tubazioni difettate, sottoposte a carichi ciclici e dinamici. In particolare si è voluto verificare in quali condizioni sia da attendersi il Leak-Before-Break (LBB), cioè la rottura parziale della tubazione con conseguente perdita di refrigerante.

Presso i laboratori Battelle (Ohio, USA) sono state eseguite prove di frattura su componenti e su piccoli campioni; inoltre è stato realizzato un circuito per la esecuzione di prove dinamiche in piena scala, con lo scopo di riprodurre condizioni simili a quelle che si verificano durante un evento sismico.

Nel 1992 i Paesi partecipanti al progetto IPIRG-1 hanno deciso di continuare le attività di ricerca, dando inizio al progetto IPIRG-2. Nell'ambito di questo nuovo progetto le ricerche intraprese verranno estese per altri tre anni, con lo scopo di sperimentare nuovi componenti e condizioni di carico differenti.

IL CRITERIO DEL LEAK-BEFORE-BREAK

Uno degli incidenti base di progetto per un impianto nucleare è la rottura istantanea, in due parti, della più grande tubazione del circuito primario di raffreddamento (Double Ended Guillotine Break, DEGB). Questa ipotesi di progetto consente di definire un valore limite per la pressione di progetto del sistema di contenimento, nonché la portata di refrigerante che il sistema di refrigerazione di emergenza (Emergency Core Cooling System, ECCS) deve essere in grado di fornire per far fronte a qualsiasi incidente di LOCA (Loss Of Coolant Accident).

Poiché l'ipotesi di rottura DEGB veniva adottata, in passato, anche nel progetto strutturale dei sistemi di tubazioni, si rendeva necessaria l'installazione di un numero notevole di vincoli che impedissero il colpo di frusta delle tubazioni in corrispondenza delle rotture, al fine di evitare il danneggiamento di altre strutture o strumentazioni adiacenti; inoltre era richiesto il montaggio di schermi protettivi contro l'impatto del getto.

In realtà, studi e ricerche sul comportamento a frattura delle tubazioni difettate hanno dimostrato che, grazie all'elevato livello di qualità della progettazione e della costruzione, in un

impianto nucleare la possibilità che si verifichi una rottura istantanea, tipo DEGB, è estremamente bassa. Invece, il modo di rottura più credibile è una rottura parziale, con la conseguente perdita di refrigerante, che può essere rilevata tempestivamente mediante i sistemi di rilevamento delle perdite. Pertanto, nella progettazione dei sistemi di tubazioni di nuovi impianti nucleari viene considerata oggi la possibilità di sostituire il criterio di rottura DEGB con il nuovo criterio di rottura denominato Leak-Before-Break (LBB), in virtù del quale non è più necessario prevedere vincoli supplementari e barriere protettive contro gli effetti dinamici associati ad una rottura in due parti del circuito di refrigerazione.

I vantaggi derivanti dall'applicazione del criterio LBB sono riassunti di seguito:

- 1) la rimozione di vincoli e schermi protettivi non necessari, ottenendo così circuiti più flessibili, in grado di assecondare le dilatazioni termiche e gli spostamenti differenziali dei punti di ancoraggio;
- 2) una maggiore accessibilità all'impianto per le ispezioni;
- 3) la riduzione delle dosi al personale addetto alle ispezioni in servizio;
- 4) un risparmio sul costo di impianto.

E' da sottolineare che l'applicazione del criterio LBB non comporta alcuna modifica della capacità del sistema di refrigerazione di emergenza (ECCS), né del sistema di contenimento, né dei supporti dei principali componenti del circuito di refrigerazione primario.

IL PROGETTO IPIRG-1

Le ricerche sulla resistenza delle tubazioni di impiego nucleare, svolte in tutti i Paesi industrializzati ed in particolare in Italia [1,2,3,4], sono concentrate da anni sulla conferma sperimentale del criterio LBB. Nella gran parte dei casi le campagne di prove sono mirate a studiare la resistenza a frattura delle tubazioni in acciaio ferritico ed austenitico sottoposte a carichi applicati in modo quasi-statico e monotono.

Con il progetto IPIRG-1 si è voluto studiare l'effetto della sollecitazione di natura dinamica e ciclica sulla resistenza a frattura. Per questo scopo sono state allestite tre differenti attrezzature di prova mediante le quali sono state portate a rottura tubazioni contenenti difetti circonferenziali, realizzate in acciaio ferritico (del tipo SA106B) ed inossidabile (del tipo 304).

Risultati del progetto IPIRG-1

Effetto del carico dinamico

Le prove su tubazioni in acciaio ferritico hanno messo in evidenza una modesta riduzione della resistenza a frattura, quando il carico viene applicato in un regime dinamico tipico di un evento sismico. Questo risultato è attribuito al "dynamic strain aging" dell'acciaio impiegato.

Di contro, le prove su tubazioni in acciaio inossidabile austenitico non hanno evidenziato variazioni significative della resistenza.

Effetto del carico ciclico

In tutte le prove con tubazioni in acciaio ferritico ed inossidabile, quando il carico è stato applicato in maniera ciclica è stata evidenziata una riduzione sensibile della resistenza a frattura.

Previsione teorica dei risultati

I risultati delle prove sperimentali sono stati confrontati con le previsioni teoriche ottenute mediante l'uso dei metodi di analisi attualmente ritenuti più accurati; infine, i valori delle sollecitazioni misurate sono state confrontate con i valori massimi consentiti dal codice di sorveglianza degli impianti nucleari (ASME Section XI).

I metodi di previsione impiegati hanno fornito valori dei carichi di rottura prossimi a quelli misurati nel corso delle prove. Va sottolineato il fatto che il metodo CEGB-R6 ha fornito stime conservative del carico massimo sopportabile dalle tubazioni, in qualsiasi condizione di carico. Per quanto concerne il confronto con i limiti di sollecitazione imposti dal codice di sorveglianza, si è osservato che il minimo margine di sicurezza richiesto dal codice non è sempre stato garantito nelle prove realizzate nel circuito in scala reale.

IL PROGETTO IPIRG-2

La continuazione dell'attività di ricerca prevede la esecuzione di prove su tubazioni e gomiti difettati, sottoposti a carichi statici, dinamici single-frequency e carichi simulanti un sisma. Le prove verranno condotte utilizzando il circuito di prova in piena scala realizzato nel corso della fase 1 del progetto.

Riferimenti

- [1] P.P. Milella, Outline of Nuclear Piping Research Conducted in Italy, Nuclear Engineering and Design 98 (1987), 219-229.
- [2] C. Maricchiolo, P.P. Milella, Fracture Behaviour of Carbon Steel Pipes Containing Circumferential Cracks at Room Temperature and 300°C, Nuclear Engineering and Design 111 (1989), 35-46.
- [3] C. Maricchiolo, P.P. Milella, Prediction of Leak Areas and Experimental Verification on Carbon and Stainless Steel Pipes, Nuclear Engineering and Design 111 (1989), 47-54.
- [4] C. Maricchiolo, P.P. Milella, A. Pini, Fracture Behaviour of Stainless Steel Pipes Containing Circumferential Cracks at Room Temperature and 280°C, International Journal of Pressure Vessels and Piping 43 (1990), 367-377.