

Inizia, da questo numero di *Costruzioni Metalliche*, una serie di articoli, a cura di diversi autori, sulla norma UNI EN 1090, norma di grande importanza che consente la marcatura CE degli elementi strutturali prodotti dalle officine di carpenteria, stabilisce le buone regole del costruire, fornisce ai progettisti materiale utile per la stesura di un buon capitolato ed ai direttori dei lavori criteri per poter eseguire la loro azione di controllo. Questo primo articolo introduttivo parla dell'importante concetto delle classi di esecuzione delle strutture e dei legami della EN 1090 con il cosiddetto Eurocodice 0, la EN 1990, che contiene i principi alla base di tutti gli Eurocodici, compresa la EN 1090.

A: Maestro, sto leggendo la norma UNI EN 1090, "Esecuzione di strutture di acciaio ed alluminio" e, nella parte 2 che parla specificatamente di "requisiti tecnici per l'acciaio", trovo che le precizioni tecniche per la realizzazione in officina di strutture in acciaio devono essere dosate secondo 4 classi di esecuzione, EXC1, 2, 3 e 4. La EXC1 è la meno severa, la EXC4 la più severa. Perché questa classificazione? In passato non c'era....

M: Per spiegarti il perché dobbiamo fare un passo indietro e parlare di *affidabilità delle strutture*.

A: Cos'è la affidabilità?

M: Dove abiti tu?

A: In una palazzina di 4 piani con giardino, non lontano dallo stadio.

M: Sei un tifoso di calcio?

A: Moltissimo, vado sempre a vedere la mia squadra giocare, lo stadio non è lontano da casa.

M: So che a qualche centinaio di chilometri da casa tua c'è anche una centrale nucleare....

A: Sì... spero che sia stata progettata e costruita bene...

M: Bene? Cioè... in modo affidabile, vuoi dire?

A: Ecco sì, in modo affidabile.

M: Anche la tua casa e lo stadio sarebbe bene che fossero stati costruiti in modo affidabile, no?

A: Certamente, Maestro.

M: Chi taglia l'erba del tuo giardino?

A: Io. Mi rilassa... Pensi che ho progettato e costruito una tettoia per tenere al riparo il tagliaerba ed altri attrezzi.

M: E immagino che tu l'abbia costruita in modo che, se soffia un vento forte, non caschi giù e rovini gli attrezzi, e poi l'abbia realizzata con materiali certificati e rivolgendoti ad una buona carpenteria?

A: Certamente Maestro, l'ho costruita bene... anzi, in modo affidabile!

M: Ti faccio un'ultima domanda: se, oltre alla tettoia, tu avessi progettato anche la casa in cui vivi, lo stadio che frequenti e la centrale nucleare che, per quanto lontana, non è mai troppo lontana... li avresti progettati con la stessa affidabilità?

A: Direi di no... credo che avrei progettato la casa in modo più affidabile della tettoia: se la tettoia crolla non uccide nessuno,

Il Progettista, l'affidabilità delle strutture e le classi di esecuzione. Dalla UNI EN 1990 alla UNI EN 1090

Benedetto Cordova

mentre la casa ospita un certo numero di persone. Avrei poi progettato lo stadio in modo più affidabile della casa, perché in uno stadio ci stanno molte più persone che in una casa. E infine la centrale nucleare, l'avrei progettata in modo ancor più affidabile perché se accade qualcosa può diventare pericolosissima...

M: Concordo con te: non occorre tenere la stessa affidabilità. Certo, potrei progettare tutto con le stesse regole che seguo per la centrale nucleare, anche la tettoietta, ma butterei via dei soldi inutilmente.

A: Ma come faccio a scegliere il giusto grado di affidabilità, e come faccio, soprattutto, a raggiungerlo?

M: Ti può aiutare la lettura di questa norma: UNI EN 1990, il cosiddetto "Eurocodice 0", che contiene i principi alla base degli altri Eurocodici. Sappiamo che il primo compito del progettista e del realizzatore di una struttura è quello di, per così dire, "tenere in piedi" la struttura. Per precisare meglio questo concetto, possiamo leggere la UNI EN 1990, che afferma:

Una struttura deve essere progettata e realizzata in modo tale che, con *l'appropriato gradi di affidabilità ed in modo economico*, possa:

- *sopportare tutte le sollecitazioni esterne* che possono verificarsi durante la costruzione e l'uso;
- *rimanere efficiente per la destinazione d'uso* per cui è progettata.

Una struttura deve essere progettata e realizzata per avere:

- *Resistenza strutturale;*
- *Funzionalità;*
- *Durabilità.*

In caso di *incendio*, una struttura deve *resistere il tempo stabilito* affinché si possano mettere in salvo le persone e si possano mettere in sicurezza gli impianti che lo necessitano.

In caso di *esplosioni, urti o errori umani*, le *conseguenze non* devono essere *sproporzionate* alla causa che le produce.

Quindi, una struttura deve, prima di tutto, *sopportare le sollecitazioni esterne*, ovvero deve avere *resistenza strutturale*. E questo è il primo

requisito al quale le normative rispondono (per l'acciaio, l'Eurocodice 3, oppure le nostre NTC2008, oppure le americane AISC 360-10, o quel che si vuole).

È anche il primo requisito che ci viene insegnato quando studiamo all'università.

Quindi, per esempio, se ho una trave inflessa, le norme mi insegnano a valutare il momento massimo di progetto M_{Ed} , frutto di opportune combinazioni di carico, e me lo fanno confrontare con un momento resistente M_{Rd} :

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = \chi_{LT} \frac{W f_y}{\gamma_{M1}} \quad (1)$$

Le norme mi insegnano quindi a valutare le combinazioni di carico, i fenomeni di instabilità, se ce ne sono (in questo caso ci potrebbe essere l'instabilità flessotorsionale o *lateral buckling*, sintetizzata nel coefficiente χ_{LT}), le proprietà meccaniche dei materiali (la tensione di snervamento f_y , dietro alla quale stanno le norme di prodotto, come la UNI EN 10025, per esempio) e i coefficienti parziali di sicurezza (γ_{M1} in questo caso) che fanno parte del metodo semiprobabilistico agli stati limite che si adotta.

La EN 1990 mi dice anche che *la struttura deve rimanere efficiente per la sua destinazione d'uso e deve avere funzionalità*. In questo caso, applicando il principio, la norma mi chiederà di valutare la deformabilità della trave e le sue vibrazioni sotto i carichi di progetto, e mi fornirà opportuni valori limite da rispettare. Quindi dovrò ad esempio rispettare una limitazione della freccia in mezzzeria, esprimibile con una espressione del tipo:

$$f = \frac{5 q l^4}{384 E J} \leq f_{amm} \quad (2)$$

Dove f_{amm} potrebbe essere tipicamente $l/300$. Da questi principi derivano, quindi, le verifiche agli SL Ultimi ed agli SL di Servizio di cui si parla nell'Eurocodice 3.

Ma la EN 1990 va oltre, e mi dice che la mia trave deve avere *durabilità*: potremmo definirla come la capacità di una struttura di mantenere inalterate nel tempo le sue caratteristiche di resistenza strutturale e funzionalità. Come si assicura la durabilità della nostra tra-

P_f	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
β	1,28	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,20

Tabella 1 - Correlazione tra valori di P_f e β

Reliability Class	Minimum values for β	
	1 year reference period	50 years reference period
RC3	5,2	4,3
RC2	4,7	3,8
RC1	4,2	3,3

Tabella 2 - Classi di affidabilità

Consequences Class	Description	Examples of buildings and civil engineering works
CC3	High consequence for loss of human life, or economic, social or environmental consequences very great	Grandstands, public buildings where consequences of failure are high (e.g. a concert hall)
CC2	Medium consequence for loss of human life, economic, social or environmental consequences considerable	Residential and office buildings, public buildings where consequences of failure are medium (e.g. an office building)
CC1	Low consequence for loss of human life, and economic, social or environmental consequences small or negligible	Agricultural buildings where people do not normally enter (e.g. storage buildings), greenhouses

Tabella 3a - Definizione delle classi di conseguenza della EN 1990

Consequence class	Example of categorisation of building type and occupancy
1	Single occupancy houses not exceeding 4 storeys. Agricultural buildings. Buildings into which people rarely go, provided no part of the building is closer to another building, or area where people do go, than a distance of $1\frac{1}{2}$ times the building height.
2a Lower Risk Group	5 storey single occupancy houses. Hotels not exceeding 4 storeys. Flats, apartments and other residential buildings not exceeding 4 storeys. Offices not exceeding 4 storeys. Industrial buildings not exceeding 3 storeys. Retailing premises not exceeding 3 storeys of less than 1 000 m ² floor area in each storey. Single storey educational buildings All buildings not exceeding two storeys to which the public are admitted and which contain floor areas not exceeding 2000 m ² at each storey.
2b Upper Risk Group	Hotels, flats, apartments and other residential buildings greater than 4 storeys but not exceeding 15 storeys. Educational buildings greater than single storey but not exceeding 15 storeys. Retailing premises greater than 3 storeys but not exceeding 15 storeys. Hospitals not exceeding 3 storeys. Offices greater than 4 storeys but not exceeding 15 storeys. All buildings to which the public are admitted and which contain floor areas exceeding 2000 m ² but not exceeding 5000 m ² at each storey. Car parking not exceeding 6 storeys.
3	All buildings defined above as Class 2 Lower and Upper Consequences Class that exceed the limits on area and number of storeys. All buildings to which members of the public are admitted in significant numbers. Stadia accommodating more than 5 000 spectators Buildings containing hazardous substances and /or processes

Tabella 3b - Esempificazione delle classi di conseguenza secondo la EN 1993-1-7

ve? Ad esempio, con *trattamenti superficiali di protezione*, verniciatura o zincatura, che ne impediscono la corrosione (se si fa anche una

buona manutenzione nel tempo), e quindi il degrado delle caratteristiche statiche.

La EN 1990 entra poi nel comportamento

della nostra struttura nei confronti di *eventi eccezionali* quali incendio, urti, esplosioni.

Per la *resistenza all'incendio* ci dice che va garantita la resistenza strutturale per un tempo minimo necessario per consentire la messa in sicurezza delle persone e eventualmente degli impianti: tipicamente 60 minuti. Ciò può essere ottenuto con vari accorgimenti (vernici intumescenti, rivestimenti in cartongesso, etc.).

Per la *resistenza a urti o esplosioni*, si richiede che la struttura manifesti il collasso di pochissimi elementi strutturali, circoscritti alla zona in cui l'evento eccezionale ha avuto luogo, senza trascinare la struttura in un collasso generalizzato, sproporzionato rispetto alle cause (*disproportionate collapse*): questa forma di resistenza viene definita *robustezza* strutturale. L'argomento è molto vasto e richiederebbe una trattazione a parte: qui ricordiamo solo che è trattato nell'EN 1993-1-7 "Azioni eccezionali". Molto utile la guida dello SCI – Steel Construction Institute, P391 "Structural Robustness of Steel Framed Buildings". Per tornare alla nostra trave, una prescrizione molto semplice che difende dal *disproportionate collapse* è quella di calcolare le connessioni agli estremi (pensiamo ad una trave di impalcato semplicemente appoggiata) che normalmente sono soggette solo a carichi verticali, anche per una forza orizzontale, posta tradizionalmente pari a 75 kN.

A: Resistenza, funzionalità, durabilità, robustezza... abbiamo detto tutto.

M: No, perché, proprio all'inizio del brano della EN 1990 che ti ho citato, forse non hai notato, ma veniva detto:

...con l'appropriato gradi di affidabilità ed in modo economico...

Cioè: resistenza, funzionalità, durabilità e robustezza vanno garantite con l'appropriato grado di affidabilità e in modo economico.

A: Che intende per "In modo economico"? Vuol dire: "spendendo poco"?

M.: No, intende: "facendo una valutazione costi-benefici".

Consideriamo, per esempio, la definizione che le NTC fanno del terremoto di progetto

da usare per l'SLV, lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, per la verifica di resistenza delle strutture. Esso è definito come il sisma che, nella data località, ha una probabilità del 10% di essere superato da uno di maggiore intensità durante la vita della struttura. Se tale vita è di 50 anni, esso è il sisma con 475 anni di periodo di ritorno. Esiste dunque una probabilità del 10%, quindi non nulla, che la nostra struttura subisca un terremoto peggiore, e quindi danni peggiori. Le prescrizioni normative sono dosate in modo tale che, se arrivasse tale terremoto, anzi il peggior terremoto compatibile con quella zona, la struttura soffrirebbe danni gravissimi ma non tali da farla crollare, salvando perciò le vite umane. Certo potrei pensare di progettare con un sisma con probabilità 5% di essere superato, cioè con periodo di ritorno di 975 anni. Non annullerei i rischi di danneggiamento degli edifici, certo li diminuirei, ma in compenso spenderei tanto nella costruzione degli edifici stessi. Allora la domanda che il legislatore si pone è: fin quanto conviene far spendere alla collettività di più al momento della costruzione, risparmiando sulle spese di ricostruzione dopo un evento sismico di notevole intensità? Da questa valutazione costi-benefici, *che non inficia comunque il principio di salvaguardia della vita umana*, nasce la scelta del livello di intensità del sisma di progetto da adottare.

A: Ma che intende la norma, esattamente, per "grado di affidabilità"?

M: La norma definisce:

L'affidabilità è la capacità di una struttura o un elemento strutturale di soddisfare i requisiti specificati, compresa la vita utile di progetto, per cui è stato progettato. L'affidabilità è di solito espressa in termini probabilistici.

L'affidabilità è dunque, possiamo dire, la probabilità che ha una struttura di fallire, durante la sua vita utile, nel rispetto degli SL ultimi e degli SL di servizio per i quali è stata progettata e realizzata. Più bassa è tale probabilità, più alta è la sua affidabilità. Ovviamente "probabilità di fallire nel rispetto dello SL ultimo" è un sinonimo di dissesto grave o crollo struttu-

rale, mentre "probabilità di fallire nel rispetto dello SL di servizio" è una condizione di non efficienza della struttura, senza crollo. Non è che il secondo scenario sia poco importante: pensiamo ad esempio ad un ospedale che, dopo un sisma, quando c'è molto bisogno di averlo funzionante, non crolli ma risulti inutilizzabile: ciò potrebbe portare, indirettamente, a perdite di altre vite umane.

Seguendo ancora la norma:

Si possono adottare *livelli di affidabilità della struttura diversi*, sia per gli Stati Limite Ultimi che per gli Stati Limite di Servizio.

Dunque la EN 1990 ammette che *si possano definire diversi livelli di affidabilità*, differenziati per il valore che assume P_f , probabilità di crisi, cioè la probabilità di superamento di uno SL di progetto. Anzi la norma definisce anche un *indice di affidabilità β* , che è una variabile che cresce al crescere dell'affidabilità. Tra P_f e β c'è una relazione matematica per cui le due variabili sono correlabili. In tabella 1 (tratta dalla tabella C1 della EN 1990) sono riportati valori tipici corrispondenti delle due variabili. La norma definisce poi 3 classi di affidabilità (*reliability class*), denominate RC1, RC2 e RC3, dalla meno affidabile alla più affidabile, alle quali associa 3 valori dell'indice di affidabilità β , e quindi 3 valori di P_f (tabella 2).

Bisogna tener presente che il metodo semiprobabilistico agli stati limite sul quale sono basati gli Eurocodici e le norme italiane NTC2008, si basa su un'unica classe di affidabilità che è sostanzialmente la RC2, con indice di affidabilità $\beta = 3,8$ su una vita della struttura di 50 anni, al quale corrisponde (vedi tabella 1) un valore di P_f pari a poco meno di 10^{-4} , per gli SL ultimi. Per gli SL di esercizio la tabella C2 della EN 1990 suggerisce un indice di affidabilità β variabile da 1,5 a 3,8, cioè un valore di P_f variabile da 10^{-1} - 10^{-2} a poco meno di 10^{-4} .

La diversificazione delle classi di affidabilità non è prevista, dunque, negli Eurocodici che danno le regole per creare le combinazioni dei carichi e per verificare le strutture.

C'è da dire che i valori di P_f prima riportati

sono abbastanza più elevati (di almeno un ordine di grandezza) dei valori che circolavano in letteratura prima della EN 1990. Ma questo è un discorso troppo difficile per noi, che siamo dei progettisti: lo rimandiamo a chi si occupa di questi argomenti.

A: OK, ma, sempre restando nell'ambito della EN 1990, cosa si deve fare per attribuire un livello di affidabilità (diversificato) ad una struttura?

Il livello di affidabilità opportuno per una particolare struttura dovrebbe essere scelto in base ai seguenti fattori:

- 1) La possibile causa e/o modalità di raggiungimento di un determinato stato limite (SL);
- 2) Le possibili conseguenze di un superamento di uno SL in termini di *rischio per la vita umana e danni economici*;
- 3) L'avversione dell'opinione pubblica al superamento di uno SL;
- 4) La spesa e le procedure necessarie per *ridurre* il rischio di superamento di uno SL.

I *livelli di affidabilità* da applicare a una particolare struttura possono essere specificati per *l'intera struttura o per parti* di essa.

Quindi la EN 1990 dà 4 criteri per scegliere il livello di affidabilità più opportuno per una certa struttura.

Ma la norma stessa alla fine privilegia il criterio numero 2, cioè *la valutazione delle possibili conseguenze di un dissesto grave o crollo* (pensando agli SL ultimi) *in termini di perdita di vite umane e danni economici*, e proprio basandosi su questo criterio, definisce una nuova classificazione delle strutture in termini di *classi di conseguenze*, CC1 CC2 e CC3, che ti riporto in tabella 3a (tratta dalla tabella B1 della norma). C'è da aggiungere che, nell'Eurocodice 3 parte 1-7 (EN 1993-1-7) c'è una tabella, la A.1, che dà esempi di classificazione di edifici e strutture in base alle classi di conseguenze (tabella 3b).

Assegnare ad una struttura, o a parte di una struttura perché la norma lo ammette (come

citato prima), una classe di conseguenza, è abbastanza facile, usando le tabelle 3a e 3b. A questo punto, al paragrafo B2.2(2), la norma afferma:

Le tre classi di affidabilità RC1, RC2 e RC3, possono essere associate con le tre classi di conseguenze CC1, CC2 e CC3.

Quindi se vuoi assegnare una classe di affidabilità alla tua struttura puoi, semplicemente, assegnare ad essa una classe di conseguenze usando i criteri della tabella 3, e poi assegnare la corrispondente classe di affidabilità.

A: Quindi ad esempio, se ho trovato che per la mia struttura è opportuna la classe di conseguenze CC2, potrò dire che la classe di affidabilità da assegnare è la RC2?

M: Esatto.

A: Così ho imparato ad assegnare ad una struttura una classe di affidabilità, ma quali accorgimenti devo poi adottare perché la mia struttura abbia davvero il livello di affidabilità che le ho assegnato?

M: Ci soccorre ancora la EN 1990 che al paragrafo 2.2(1)P afferma:

L'*affidabilità* di una struttura può essere raggiunta mediante:

- La progettazione *eseguita secondo norme affidabili*;
- Una *realizzazione adeguata*;
- Opportune *misure di garanzia e controllo della qualità*.

Quindi è fondamentale progettare secondo norme autorevoli (gli Eurocodici, nel nostro caso, o le norme AISC, per esempio), e realizzare la struttura secondo standard affidabili (le norme e gli standard industriali di comprovata validità: norme UNI, ISO, etc.), e infine lavorare in Garanzia della Qualità.

A: La norma parla di "realizzazione adeguata". Adeguata a cosa?

M: Al livello di affidabilità scelto. Quindi la EN 1990 introduce il principio che la qualità della realizzazione va dosata in base al livello di affidabilità richiesto.

A: E viene applicato questo principio? Da

quale normativa?

M: Certamente, dalla UNI EN 1090-2. Ma lo vediamo più avanti.

Continuiamo a leggere il paragrafo 2.2 della EN 1990, al punto (5):

I livelli di affidabilità richiesti nei confronti degli SL ultimi e di servizio possono essere *raggiunti* mediante:

- a) *misure preventive e protettive*: implementazione di barriere protettive, misure di protezione attiva e passiva contro gli incendi, protezione contro la corrosione mediante verniciatura, zincatura, protezione catodica;
- b) misure relative ai *calcoli di progetto*: scelta dei valori caratteristici delle sollecitazioni esterne e dei coefficienti parziali di sicurezza;
- c) misure relative alla *gestione della qualità*;
- d) misure dirette a ridurre gli errori di progettazione ed esecuzione della struttura: *supervisione della progettazione e sorveglianza in officina e cantiere*;
- e) altre misure relative ai seguenti argomenti progettuali: requisiti di base della progettazione, grado di robustezza della struttura, scelta della vita utile di progetto, estensione e qualità delle indagini preliminari geotecniche e possibili influenze ambientali, accuratezza dei modelli di calcolo utilizzati, accuratezza dei dettagli costruttivi;
- f) *realizzazione delle strutture* efficace: in conformità agli standard indicati negli Eurocodici;
- g) ispezione e manutenzione adeguate, secondo le modalità previste nella documentazione di progetto.

Ecco, queste sono proprio le "istruzioni per l'uso" per poter raggiungere l'adeguato grado di affidabilità.

A: a) "Implementazione di barriere protettive..." Quindi ad esempio, se ho rischio

K_{FI} factor for actions	Reliability class		
	RC1	RC2	RC3
K_{FI}	0,9	1,0	1,1

Tabella 4 - Fattore K_{FI} di modifica dei γ_F

di inondazione, posso porre la mia struttura su un rilevato di opportuna altezza e con ciò ne aumento l'affidabilità?

M: Esatto.

A: b) "Misure relative ai calcoli di progetto: scelta dei valori caratteristici delle sollecitazioni esterne e dei coefficienti parziali di sicurezza". Ma che vuol dire in pratica?

M: La EN 1990 propone, tra le altre misure, la possibilità di "dosare" i coefficienti parziali di sicurezza γ_F che amplificano, nella combinazione di carico fondamentale, i valori caratteristici delle azioni, moltiplicandoli per un fattore K_{FI} che ti illustro in tabella 4 (tratta dalla tabella B3 della UNI EN 1990). Come vedi, questo coefficiente ha effetto solo sulle classi RC1 e RC3, mentre per la classe RC2, la standard, non viene applicato (vale 1).

A: Ma il fattore K_{FI} viene impiegato?

M: No, non lo trovi infatti in nessuna formula di nessun Eurocodice.

A: Ma si potrebbe anche agire sui valori caratteristici delle azioni? Lo si fa?

M: Si lo si fa in alcuni casi, anche se senza un riferimento esplicito alle classi di affidabilità. Considera, ad esempio, come si fa a definire lo spettro sismico di progetto con le nostre norme.

Se vogliamo calcolare lo spettro da usare per

le verifiche di resistenza con l'SLV, dobbiamo calcolarne il periodo di ritorno con la formula:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-0,10)} \quad (3)$$

V_R è il cosiddetto *periodo di riferimento*, che si calcola come:

$$V_R = C_U V_N \quad (4)$$

V_N , la *vita nominale*, vale 50 anni. C_U è un coefficiente che varia da 0,7 a 2,0 a seconda della classe d'uso della struttura. Questa la si ricava dal paragrafo 2.4.2 delle NTC2008, mediante la tabella 5

Come puoi vedere, c'è una certa corrispondenza tra classi di affidabilità e classi d'uso: La Classe I corrisponde, grosso modo, alla RC1, La Classe II alla RC2, le Classi 3 e 4 alla RC3.

Quindi, se passo dalla Classe II alla Classe III, come dire dalla RC2 alla RC3, il mio C_U passa da 1,0 a 1,5. Di conseguenza il periodo di riferimento passa da 50 a 75 anni, ed il periodo di ritorno del sisma da impiegare passa da 475 a 712 anni. Quindi la sollecitazione sismica aumenta.

A: d) Misure dirette a ridurre gli errori di progettazione ed esecuzione della struttura": cosa si intende per supervisione della progettazione?

M: È l'attività di controllo sulla progettazione. La EN 1990 definisce 3 classi di Supervisione della Progettazione: DSL1, DSL2 e DSL3, da associare rispettivamente alle classi di affidabilità RC1, RC2 e RC3, e consiglia questo (tabella 6):

- Per la RC1, il minimo livello di controllo della progettazione da eseguire (su calcoli, disegni e specifiche tecniche) è un controllo da parte della stessa persona che ha preparato i documenti;
- per la RC2 il controllo dovrebbe essere fatto in base alle procedure interne dell'organizzazione;
- per la RC3 infine il controllo andrebbe fatto da una organizzazione esterna diversa da quella che ha svolto la progettazione.

A: d) "Misure dirette a ridurre gli errori di progettazione ed esecuzione della struttura": cosa si fa per controllare l'esecuzione?

M: La norma suggerisce delle ispezioni, diversificate per le 3 classi di affidabilità.

Definisce 3 livelli di ispezione, IL1, IL2 e IL3, da associare rispettivamente alle classi di affidabilità RC1, RC2 e RC3, e consiglia questo (tabella 7):

- Per la RC1, il minimo livello di ispezione da eseguire è una ispezione da parte della stessa persona che ha eseguito la lavorazione;
- per la RC2 l'ispezione dovrebbe essere fatta in base alle procedure interne dell'organizzazione;
- per la RC3 infine l'ispezione andrebbe fatta

Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche o sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza.
Classe III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001 n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e del tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Tabella 5 - Classi d'uso delle strutture (NTC2008 §2.4.2).

da una organizzazione esterna diversa da quella che ha svolto la progettazione.

Cioè, in sostanza... per le costruzioni ordinarie, quelle ricadenti in RC2 / CC2 / DSL2 / IL2, la progettazione, la costruzione e il montaggio vanno svolte da organizzazioni che gestiscono al loro interno la qualità: sia i controlli sulla progettazione che quelli sull'esecuzione devono essere svolti in modo controllato e documentato, secondo procedure scritte.

Per le strutture in RC1 / CC1, cioè sostanzialmente quelle non presidiate e il cui eventuale dissenso non mette a repentaglio la vita umana, per esse non è richiesta la gestione della qualità, e i controlli possono essere più semplici.

Per le strutture infine in RC3 / CC3, cioè opere critiche perché metterebbero, con un loro eventuale dissesto, a repentaglio la vita di molte persone, la norma indica una strada ancor più severa della semplice gestione della qualità all'interno dell'organizzazione: indica cioè l'opportunità di controlli da parte di organizzazioni indipendenti. È quello che si è fatto in Italia, ad esempio, per la progettazione delle centrali nucleari, ormai decenni orsono.

A: "f) Livelli di affidabilità raggiunti, anche, mediante una realizzazione delle strutture efficace: in conformità agli standard indicati negli Eurocodici"... quali standard?

M: Gli standard sono le normative tecniche autorevoli, riconosciute tali dalla comunità nazionale e internazionale: norme UNI, ISO, etc.

Ma, dal luglio 2014, c'è una nuova norma molto importante che fa parte del corpus degli Eurocodici e che ha a che fare con la realizzazione delle strutture: la UNI EN 1090, "Esecuzione di strutture in acciaio ed alluminio", la norma che stai leggendo.

Questa norma era nata, nella sua versione ENV, come un *code of good practice*, una norma che raccoglieva le indicazioni per una esecuzione corretta delle strutture metalliche.

In Gran Bretagna esisteva ed esiste una norma del genere. Si chiama: "National Structural Steelwork Specification for Building Construction"(NSSS), ed è pubblicata da

Design Supervision Levels	Characteristics	Minimum recommended requirements for checking of calculations, drawings and specifications
DSL3 relating to RC3	Extended supervision	Third party checking : Checking performed by an organisation different from that which has prepared the design
DSL2 relating to RC2	Normal supervision	Checking by different persons than those originally responsible and in accordance with the procedure of the organisation.
DSL1 Relating to RC1	Normal supervision	Self-checking: Checking performed by the person who has prepared the design

Tabella 6 - Classi di supervisione della progettazione

Inspection Levels	Characteristics	Requirements
IL3 Relating to RC3	Extended inspection	Third party inspection
IL2 Relating to RC2	Normal inspection	Inspection in accordance with the procedures of the organisation
IL1 Relating to RC1	Normal inspection	Self inspection

Tabella 7 - Livelli di ispezione

Classi di conseguenze	CC1		CC2		CC3	
Categorie di servizio	SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Categorie di produzione	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC4

Tabella 8 - Determinazione delle classi di esecuzione

BCSA, The British Constructional Steelwork Association Ltd, cioè l'associazione dei costruttori inglesi, e da SCI, Steel Construction Institute, organizzazione privata che ha lo scopo di promuovere e sviluppare l'uso dell'acciaio nelle costruzioni. Pubblicato per la prima volta nel 1989, il documento è arrivato alla sua 5a edizione, datata 2007. L'NSSS viene impiegato estesamente in Gran Bretagna come documento di riferimento per la stesura di capitolati e specifiche tecniche relativi alla realizzazione di opere anche di notevole impegno.

Anche negli Stati Uniti esiste un documento del genere: si tratta del documento AISC 303-10 "Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges", pubblicato nel 2010 dall'AISC, American Institute of Steel Construction. Nella prefazione al documento, il suo scopo e la sua utilità sono chiaramente illustrati: "This Code provides a useful framework for a common understanding of the acceptable standards when contracting for structural

steel. As such, it is useful for owners, architects, engineers, general contractors, construction managers, fabricators, steel detailers, erectors and others that are associated with construction in structural steel. Unless specific provisions to the contrary are contained in the contract documents, the existing trade practices that are contained herein are considered to be the standard custom and usage of the industry and are thereby incorporated into the relationships between the parties to a contract".

La 1090 dunque, nella sua versione ENV, era molto simile alla inglese NSSS. Adesso, i contenuti sono stati riversati nella EN 1090-2, che si intitola: "Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio. Parte 2: Requisiti tecnici per strutture in acciaio", che è la norma di cui mi parlavi all'inizio.

A: Esatto. Ma esiste anche la parte 1 della norma?

M: Certamente, la UNI EN 1090-1, che si intitola: "Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio. Parte 1: Requisiti per la valutazio-

Categoria	Criterio
SC1	Strutture e componenti progettati per carichi quasi statici (ad es.: edifici); Strutture e componenti con connessioni progettate come non dissipative ($q = 1$) in zone sismiche a bassa sismicità; Strutture e componenti progettati per la fatica derivante dalle azioni di carroponi in classe S0.
SC2	Elementi strutturali saldati realizzati con acciai di qualità uguale o superiore all'S355; Elementi essenziali per l'integrità strutturale che sono assemblati con saldature in opera; Componenti formati a caldo o che ricevono trattamenti termici durante la lavorazione; Strutture tralicciate realizzate con profili tubolari circolari.
Note: Classi di duttilità CD"B" e CD"A" sono definite nelle NTC2008, §7.2.1; q = fattore di struttura (cfr. NTC2008, §7.3.1) Classi di fatica dei carroponi S0-S9 definite in EN 1991-3 e EN 13001-1 (vedi tabella 10)	

Tabella 9 - Determinazione delle categorie di servizio

ne di conformità dei componenti strutturali". Questa parte è una norma armonizzata e ha lo scopo di consentire la marcatura CE degli elementi strutturali in acciaio lavorati dalle carpenterie. Queste devono qualificarsi ai sensi della EN 1090-1 e devono adeguarsi alle prescrizioni tecniche della EN 1090-2.

A: Dunque i livelli di affidabilità dell'esecuzione sono definiti nella EN 1090-2?

M: Esattamente. Come ti ho detto prima, gli Eurocodici 3, 4 e parte dell'8 che riguardano la progettazione delle strutture in acciaio, non distinguono le loro prescrizioni in base alla classe di affidabilità. Per fare un esempio, la verifica agli stati limite ultimi per una trave inflessa e quella agli stati limite di esercizio si fanno sempre con le formule (1) e (2), sia che la nostra trave appartenga ad una tettoietta per il tagliaerba, ad una casa, ad uno stadio o a una centrale nucleare: le formule sono le stesse, i coefficienti γ_F e γ_M sono gli stessi. Invece, le *prescrizioni tecniche* per approvvisionare il materiale e lavorarlo per realizzare la nostra trave, *non saranno le stesse al cambiare del livello di affidabilità della struttura alla quale è destinata*.

La EN 1090-2 definisce dunque 4 classi di esecuzione, EXC1, 2, 3 e 4, a livello crescente di accuratezza.

A: Se le classi di esecuzione sono 4, allora non c'è una corrispondenza biunivoca con le classi di affidabilità RC e le classi di conseguenze CC, che sono 3?

M: No in effetti: la tabella con cui le EN 1090-2 attribuiscono la classe di esecuzione ad una struttura o a parte di essa, è quella che ti ri-

porto in Tabella 8.

Come vedi, oltre che attribuire alla struttura una classe di conseguenza CC, occorre attribuirle anche una categoria di produzione PC ed una categoria di servizio SC.

Le categorie di servizio sono legate ai tipi di sollecitazioni esterne subite. Guarda la tabella 9: la SC1 è quella delle strutture soggette a carichi quasi statici, calcolate come sismiche non dissipative (quindi con $q = 1$) in zone a bassa sismicità, e infine non soggette a fatica: se sono soggette a sollecitazioni derivanti da un carropono, questo deve avere classe di fatica S0 secondo la classificazione del prospetto B.1 della norma UNI CEN/TS 13001-3-1, appendice B, che ti riproduco in tabella 10. La categoria SC2 è invece quella delle strutture soggette a fatica (un ponte, ad esempio), oppure sollecitate da un carropono di classe da S1 a S9, oppure ancora calcolate come dissipative in zone sismiche ad elevata sismicità.

A: Quindi quello che fa passare dalla classe SC1 alla SC2 è sostanzialmente la fatica...

M: Dici bene. Infatti anche le strutture sismico-dissipative sono strutture soggette a fatica: fatica oligociclica, perché i cicli di sollecitazione sismica sono alcune decine, ma ad altissimo livello di sforzo, perché la struttura si plasticizza.

Le categorie di produzione sono invece legate alla tipologia costruttiva adottata. Dai un'occhiata alla tabella 11 e capirai cosa intendo dire.

A: Guardando la definizione della PC1 e della PC2 si capisce che la norma ritiene più critiche le strutture saldate rispetto a

quelle bullonate...

M: Sì, è così. Indubbiamente il procedimento di saldatura, specie su acciai ad elevato snervamento e su grossi spessori, è più critico della bullonatura. Quest'ultima richiede infatti solo il controllo dei fori e il controllo del serraggio dei bulloni. I bulloni stessi sono un prodotto di serie, industriale, quindi tenuto sotto controllo dal produttore. La saldatura invece, oltre al controllo del materiale di consumo, richiede la qualifica dei procedimenti di saldatura adottati, del personale che esegue le saldature, dell'officina secondo la UNI EN ISO 3834, dei coordinatori di saldatura, e poi controlli non distruttivi sulle saldature... Così, nel redigere la EN 1090-2 è prevalso il concetto di considerare più critiche le strutture saldate.

Ma ultimamente la poizione di chi sviluppa la EN 1090 è cambiata, ed è prevalso il concetto che, se una struttura viene realizzata nel pieno rispetto delle prescrizioni tecniche della EN 1090-2, allora l'affidabilità non cambia sia che essa sia bullonata sia che sia saldata. Perciò è stata predisposta una nuova tabella di assegnazione della classe di esecuzione che ti mostro (tabella 12). Come puoi notare, sono scomparse le categorie di produzione, proprio in virtù di quanto ti dicevo, le categorie di servizio rimangono, ma sono state esplicitate (solo per lo scopo di semplificare), e la correlazione classi di conseguenze / classi di affidabilità è stata esplicitata, per mostrare il legame tra la EN 1090-2 e la EN 1990.

A: E quindi questa nuova tabella verrà

N.	Tipologia della gru	Modo operativo	Classe S
1	Gru azionate a mano		S0 – S2
2	Gru di montaggio		S0 – S2
3	Gru in centrali elettriche		S1 – S3
4	Gru in depositi operazione intermittente		S4 – S5
5	Gru in depositi, gru con trave di sollevamento, gru in depositi di rottame	operazione continua	S6 – S8
6	Gru in officine		S3 – S5
7	Gru a carroponte, gru da demolizione	servizio con polipo o magnete	S6 – S8
8	Gru a ponte da colata		S6 – S8
9	Gru in miniere		S7 – S9
10	Gru a ponte strippaggio, gru da carico		S8 – S9
11	Gru a ponte da forgia		S6 – S8
12	Scaricatori, gru da immagazzinamento e recupero, gru a semi-portale, gru a portale con carrello o gru girevole	servizio con gancio	S4 – S6
13	Scaricatori, gru da immagazzinamento e recupero, gru a semi-portale, gru a portale con carrello o gru girevole	servizio con polipo o magnete	S6 – S8
14	Gru a cavalletto mobile con trasportatore fisso o mobile		S3 – S5
15	Gru in cantiere navale, gru con scivolo, gru d'armamento	servizio con gancio	S3 – S5
16	Gru da banchina, gru girevoli, gru galleggianti, gru girevole a spostamento orizzontale del carico	servizio con gancio	S4 – S6
17		servizio con polipo o magnete	S6 – S8
18	Gru galleggianti di grande capacità, gru a cavalletto di grande capacità		S1 – S3
19	Gru per il carico di una nave	servizio con gancio	
20		servizio con polipo o magnete	S4 – S6
21	Gru a torre girevole per servizio di costruzione		S1 – S3
22	Gru di montaggio, derricks	servizio con gancio	S1 – S3
23	Gru girevoli montate su rotaia	servizio con gancio	S3 – S5
24		servizio con polipo o magnete	S4 – S6
25	Gru ferroviaria, da utilizzarsi per il recupero di rotaia		S4 – S5
26	Gru caricatrici, gru mobili	servizio con gancio	S2 – S5
27		servizio con polipo o magnete	S4 – S6
28	Gru caricatrici e gru mobili di grande capacità		S1 – S3

Tabella 10 - Guida per la selezione delle classi S per le gru (da EN 13001-1)

incorporata nella EN 1090-2?

M: No, non nella 1090-2 ma nell'Eurocodice 3, UNI EN 1993-1-1,

A: Perché?

M: Per sottolineare che la scelta della classe di esecuzione non compete al costruttore ma al progettista.

A: Maestro, possiamo fare qualche esem-

pio di attribuzione della classe di esecuzione?

M: Certamente. Immagina di avere una *sala macchine di centrale elettrica, realizzata con colonne composte saldate in acciaio S275 ed in sito non sismico, gru n. 3 dalla tabella 10, in classe S1-S3*. Prova a classificarla.

A: Dunque...

La classe di conseguenza è la CC2: infatti la sottoclasse 2a della tabella 3b parla esplicitamente di "edifici industriali sino a 3 piani".

La categoria di servizio è la SC1 ("Strutture e componenti con connessioni progettate per bassa duttilità (DCL) in zone sismiche a bassa sismicità").

Categoria	Criterio
PC1	Elementi strutturali non saldati realizzati con qualsiasi tipo di acciaio; Elementi strutturali saldati realizzati con acciai di qualità inferiore all'S355.
PC2	Elementi strutturali saldati realizzati con acciai di qualità uguale o superiore all'S355; Elementi essenziali per l'integrità strutturale che sono assemblati con saldature in opera; Componenti formati a caldo o che ricevono trattamenti termici durante la lavorazione; Strutture tralicciate realizzate con profili tubolari circolari.

Tabella 11 - Determinazione delle categorie di produzione

Classi di Affidabilità (RC) o Classi di Conseguenze (CC)	Tipo di carico	
	Quasi-statico e/o classe di duttilità sismica DCL (1)	Soggette a fatica (2) e/o classe di duttilità sismica DCM o DCH (1)
RC3 o CC3	EXC3 ⁽³⁾	EXC3 ⁽³⁾
RC2 o CC2	EXC2	EXC3
RC1 o CC1	EXC1	EXC2

(1) Classi di duttilità definite in EN 1998-1; DCL=bassa, DCM=media, DCH=alta.
(2) Vedi EN 1993-1-9.
(3) Per strutture nelle quali il superamento degli stati limite di servizio ed ultimi porti a conseguenze giudicate particolarmente onerose, può essere specificata la classe EXC4.

Tabella 12 - Determinazione delle classi di esecuzione secondo EN 1993-1-1 (tab. C.1 Appendice C, in corso di emissione)

La categoria di produzione è la PC1 ("Elementi strutturali saldati realizzati con acciai di qualità inferiore all'S355").

Con CC2, SC1 e PC1 dalla tabella 8 deriva la classe di esecuzione EXC2.

M: Bravo. Ho visto che non hai considerato la fatica dovuta al carroponte. Mi pare corretto, perché sulle strutture della sala macchine tipo colonne e copertura l'incidenza del carico dovuto al carroponte può essere considerata modesta (certamente questa affermazione andrebbe verificata caso per caso). Adesso considera *le vie di corsa della stessa sala macchine*. cambia qualcosa?

A: La classe di conseguenza è la CC2, come prima.

La categoria di servizio questa volta è, secondo me, la SC2 ("Strutture e componenti progettati per la fatica secondo EN 1993, ad es.: ponti ferroviari, carroponti dalla classe S1 alla S9, ecc.): per le vie di corsa non posso dire che la sollecitazione indotta dal carroponte sia modesta. La categoria di produzione è la PC1, come prima.

CC2, SC2 e PC1 dalla tabella 8 deriva questa volta una classe di esecuzione EXC3.

M: Molto bene. Ultimo esercizio: *edificio per uffici di 5 piani in zona notevolmente sismica, bullonato e in acciaio S355.*

A: La classe di conseguenza è la CC2: infatti la sottoclasse 2b della tabella 3b parla esplicitamente di "edifici residenziali, uffici e hotel da 5 a 15 piani".

La categoria di servizio è la SC2 ("Strutture e componenti con connessioni progettate per media o alta duttilità (DCM e DCH) in zone sismiche a media o alta sismicità").

La categoria di produzione è la PC1 ("Elementi strutturali non saldati realizzati con qualsiasi tipo di acciaio").

Con CC2, SC2 e PC1 dalla tabella C7.2 deriva una classe di esecuzione EXC3.

M: Bene, vedo che hai capito. Se hai notato, sembra in sostanza che, per strutture usuali (edifici civili ed industriali non particolari), bullonate o saldate in S275, senza sisma e senza particolari fenomeni di fatica, la classe di esecuzione è generalmente la EXC2; per gli stessi edifici/strutture, se in zona sismica e/o soggetti a fatica, la classe è la EXC3. Ovviamente il Committente può richiedere una classe superiore alla minima individuata

dalla norma.

A: Mi pare quindi di capire che le classi di esecuzione più comuni sono la EXC2 e la EXC3. Cosa cambia nelle prescrizioni per la carpenteria passando da una classe all'altra?

M: Innanzi tutto, la carpenteria deve essere qualificata per la UNI EN 1090, e la qualifica cambia con la classe di esecuzione massima che la carpenteria può eseguire. Chi è qualificato per la EXC2 non può fare lavorazioni di strutture classificate EXC3. Ci sono poi tante prescrizioni che cambiano. Te ne cito alcune: In EXC3 si richiede la tracciabilità totale dei materiali, mentre in EXC2 no; l'entità dei controlli non distruttivi sulle saldature è maggiore in EXC3; la difettosità delle saldature secondo EN ISO 5817 deve rispettare il livello di qualità B per la EXC3, mentre basta il livello C per la EXC2; i controlli sul serraggio dei bulloni sono maggiori per la EXC3, e tante altre prescrizioni che tendo a rendere il costo dell'acciaio di classe EXC3 superiore a quello dell'acciaio di classe EXC2. E con questo credo di averti detto tutto ciò che ti serve sulle classi di esecuzione secondo UNI EN 1090.

A: Grazie Maestro!