

# La progettazione degli apparecchi di sollevamento: aspetti normativi

di A.C. Bertocchi e R. Cianotti

In passato, il calcolo strutturale degli apparecchi di sollevamento e dei loro componenti era regolamentato da norme tecniche nazionali: in Italia, ad esempio, vi era la CNR 10021, in Germania la DIN 15018, nel Regno Unito la BS 2573.

Con l'entrata in vigore della Direttiva Macchine nei Paesi dell'Unione Europea si ha assistito allo sviluppo delle norme armonizzate: esse sono norme che forniscono soluzioni tecniche dettagliate per soddisfare i requisiti essenziali di sicurezza e di tutela della salute richiesti dalla Direttiva e il cui rispetto conferisce presunzione di conformità a tali requisiti.



Il CEN (*European Committee for Standardization*), attraverso il comitato tecnico TC147 che si occupa della sicurezza delle gru, ha sviluppato una serie di norme armonizzate che coprono sia aspetti generali riguardanti il calcolo strutturale degli apparecchi di sollevamento sia aspetti specifici dei vari elementi costitutivi, quali, ad esempio, il calcolo delle funi, dei cilindri idraulici, il contatto ruota-rotaia, ecc.

Le norme tecniche armonizzate sul calcolo strutturale degli apparecchi di sollevamento e dei loro componenti sono raggruppate nel gruppo di norme UNI EN 13001.

Le norme UNI EN 13001 sono suddivise in più parti:

- UNI EN 13001-1 - Principi e requisiti generali (pubblicata);
- UNI EN 13001-2 - Azioni dei carichi (pubblicata);
- UNI EN 13001-3-1 - Stati limite e verifica della sicurezza delle strutture di acciaio (pubblicata);
- UNI EN 13001-3-2 - Stati limite e verifica di idoneità delle funi nei sistemi di avvolgimento e deviazione (pubblicata);
- UNI EN 13001-3-3 - Stati limite e verifica di idoneità dei contatti ruota/rotaia (pubblicata);
- prEN 13001-3-4 - *Limit states and proof competence of machinery - Bearings* (non pubblicata);
- prEN 13001-3-5 - *Limit states and proof of competence of forged hooks* (non pubblicata);
- prEN 13001-3-6 - *Limit states and proof of competence of hydraulic cylinders* (non pubblicata).

Le tre norme UNI EN 13001-1, UNI EN 13001-2 e UNI EN 13001-3-1 costituiscono la base per il calcolo degli apparecchi di sollevamento e sono il fondamento delle parti successive.

Come riportato nello scopo di queste norme, esse coprono i rischi associati ai pericoli derivanti dal superamento dei limiti di resistenza e di deformazione, dall'instabilità della gru e delle sue parti (ribaltamento), dall'instabilità elastica della gru e delle sue parti (buckling) e dal superamento dei limiti di temperatura del materiale e dei componenti.

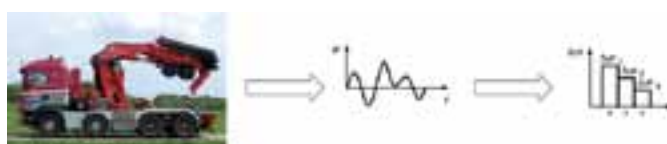
La prima parte delle UNI EN 13001 (UNI EN 13001-1) descrive in modo generale

i metodi di verifica (stati limite e tensioni ammissibili) e i modelli di calcolo per la valutazione degli stati limite ultimi e di esercizio degli apparecchi di sollevamento e dei loro componenti; gli stati limite costituiscono le condizioni della gru che, se superate, possono portare ad una perdita delle caratteristiche operative della gru (rottura, ribaltamento, instabilità elastica, deformazioni eccessive, ecc.).

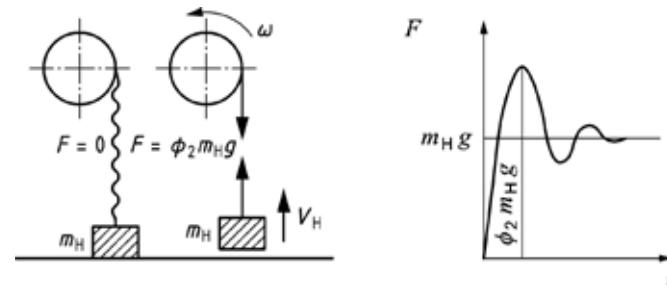


In aggiunta, la norma tratta la classificazione delle gru in base all'utilizzo, indipendentemente dal tipo di gru; a questo scopo vengono introdotte quattro tipologie di classi: la classe U, basata sul numero di cicli di lavoro, la classe D, basata sugli spostamenti (lineari e angolari), la classe Q, basata sullo spettro di carico, e la classe P, legata al numero di accelerazioni.

Inoltre, la norma fornisce una metodologia per ricavare lo spettro delle sollecitazioni partendo da una generica storia di sollecitazione e per ricavare la classe S. La classe S è legata alla storia delle sollecitazioni ed è il parametro chiave per il calcolo a fatica della gru in quanto è strettamente collegata alla "sollecitazione caratteristica limite a fatica"; talvolta, la classe S viene anche utilizzata per classificare particolari tipologie di gru (es. gru caricatorie).



La parte seconda delle UNI EN 13001 (UNI EN 13001-2) analizza i carichi che devono essere applicati al modello della gru; i carichi vengono suddivisi in carichi regolari, occasionali ed eccezionali. Questi carichi riassumono le azioni alle quali la gru può essere soggetta durante la vita utile: tra questi vi sono, ad esempio, gli effetti sulla gru e sul carico provocati dal sollevamento e dal rilascio di un carico, dal vento, dallo spostamento della gru su superfici irregolari, dall'intervento del limitatore di carico, ecc.



La norma, inoltre, fornisce le tre combinazioni di carico da impiegare nella verifica della resistenza della gru e nella verifica al ribaltamento: le combinazioni di carico A (carichi regolari in normali condizioni operative), le combinazioni di carico B (carichi regolari combinati con carichi occasionali) e le combinazioni di carico C (carichi regolari combinati con carichi occasionali ed eccezionali). Le combinazioni di carico C comprendono tutte le situazioni "eccezionali" che possono verificarsi durante la vita della gru: ad esempio, il caso della gru sottoposta a test (statico o dinamico), il caso della perdita non intenzionale del carico e la condizione di montaggio, smaltimento e trasporto.

La scelta delle opportune combinazioni di carico dipende dall'uso previsto della gru, dal suo sistema di comando e da ogni altra condizione che può influenzare la verifica della gru.

Per ciascuna combinazione di carico vengono indicati i coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_p$  e di resistenza  $\gamma_m$  del materiale da utilizzare con il metodo agli stati limite e il coefficiente globale di sicurezza  $\gamma_f$  per il metodo delle tensioni ammissibili.

La parte 3-1 delle UNI EN 13001 (UNI EN 13001-3-1) tratta le verifiche di resistenza e di instabilità elastica da utilizzare nella verifica delle gru e dei suoi componenti applicando il metodo agli stati limite.

Nel calcolo di una gru non è sufficiente conoscere l'entità delle sollecitazioni agenti ma è necessario conoscere anche il servizio a cui la gru sarà soggetta. Questo vuol dire che non è possibile calcolare un apparecchio di sollevamento solo verificando che lo sforzo di snervamento non venga superato in presenza del carico massimo, ma bisogna tener conto anche dei differenti valori degli

sforzi che si possono riscontrare nella vita della macchina, unitamente alla loro frequenza.

La norma prevede:

- la verifica statica,
- la verifica a fatica,
- la verifica a stabilità elastica.

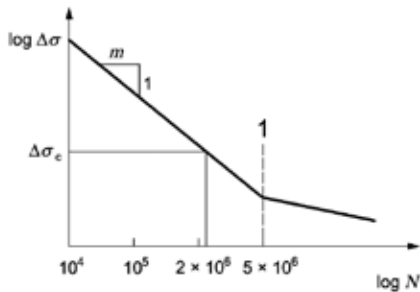
Le verifiche riguardano sia il materiale base che le saldature: gli apparecchi di sollevamento sono strutture saldate e particolare attenzione viene, per questo, rivolta al calcolo dei giunti di saldatura.

La verifica a fatica si basa sulla regola di Miner del danneggiamento cumulativo lineare, espresso dalla formula:

$$\sum \frac{n_i}{N_i} \leq 1$$

Per i particolari strutturali di impiego più comune la norma fornisce il range di "sollecitazione caratteristica"  $\Delta\sigma_c$ , corrispondente al valore limite di fatica per sollecitazioni ad ampiezza costante pulsanti dallo zero e per un numero di cicli  $N_D$  pari a  $2 \cdot 10^6$ . Il valore di  $\Delta\sigma_c$  rappresenta la sollecitazione nominale e tiene già conto della riduzione di resistenza dovuta alle sovratensioni locali.

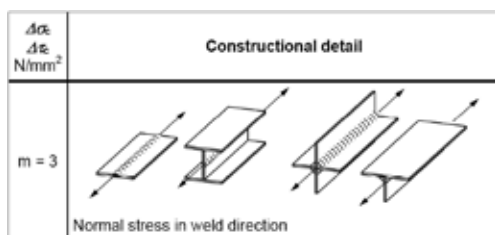
Per ogni particolare strutturale è associata una curva  $\log \Delta\sigma - \log N$  che indica il numero di cicli massimi ammissibili al variare di  $\Delta\sigma$ .



Le curve  $\log \Delta\sigma - \log N$  corrispondono alle curve di Wohler di equazione  $\Delta\sigma^m \cdot N = \text{cost}$ , dove l'esponente  $m$  assume il valore:

- $m=3$  per giunti saldati;
- $m=5$  per il materiale di base.

La "sollecitazione caratteristica"  $\Delta\sigma_c$  dei giunti di saldatura dipende dalla qualità di esecuzione della saldatura: in base al livello di imperfezione della saldatura, secondo la norma UNI EN ISO 5817, viene fornita una corrispondente sollecitazione caratteristica.



La norma UNI EN 13001-3-3 si occupa delle problematiche legate al contatto ruota-rotaia ed è di particolare interesse per tutte quelle tipologie di gru che si muovono su rotaie come, ad esempio, gru a ponte, gru a cavalletto, gru a torre, ecc. Essa va utilizzata insieme alle UNI EN 13001-1 e 2 e fornisce i metodi di progettazione per la prevenzione dei rischi meccanici dovuti alla traslazione della gru e allo scorrimento dei suoi elementi mediante ruote o rulli di guida o di supporto in ghisa o acciaio. Ai fini normativi la "ruota" è, infatti, definita come componente rotante in un contatto di rotolamento che consente un moto relativo tra due parti della gru.



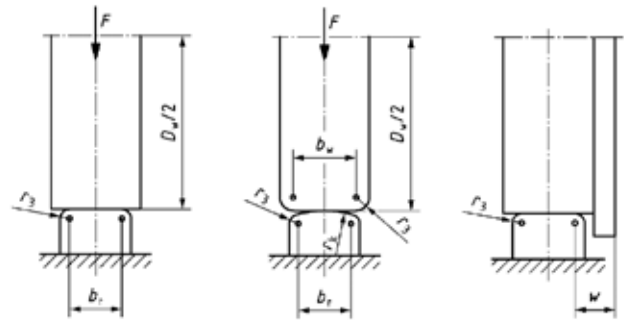
Anche per questa norma l'approccio di verifica è analogo a tutte le norme EN 13001; sono, infatti, previste:

- verifica statica;
- verifica a fatica.

Entrambe le verifiche confrontano una forza di contatto di progetto, risultante dall'analisi agli stati limite della gru, con una forza di contatto limite.

La forza di contatto di progetto viene calcolata partendo dal modello agli stati limite descritto nella norma UNI EN 13001-1 e applicando i coefficienti dinamici e i coefficienti parziali di sicurezza indicati nella UNI EN 13001-2.

Ai fini normativi la "ruota" è definita come componente rotante in un contatto di rotolamento che consente un movimento relativo tra due parti della gru. La forza di contatto limite viene calcolata considerando tutti i parametri fisici legati al contatto ruota-rotaia, quali, ad esempio, linea o punti di contatto, il diametro della ruota, la durezza dei materiali, la storia delle sollecitazioni, ecc.



La parte 1, la parte 2 e la parte 3-1 delle UNI EN 13001 vanno a sostituire le corrispondenti norme nazionali e costituiscono il fondamento normativo per il calcolo e la verifica degli apparecchi di sollevamento e dei loro componenti. Nel loro insieme queste norme rappresentano un riferimento normativo "orizzontale" cogente per tutte le tipologie di gru fabbricate dopo l'entrata in vigore delle norme stesse e saranno richiamate all'interno delle norme di prodotto specifiche per ciascuna tipologia di gru. Le norme UNI EN 13001 sono comunque in continua evoluzione e il comitato tecnico TC147, oltre a recepire le osservazioni degli Stati membri in merito alle norme pubblicate, sta elaborando ulteriori norme che tratteranno argomenti specifici: la norma sugli alberi rotanti ("shaft"), la norma sugli ingranaggi ("gear") e la norma sulle saldature ("weld"). L'insieme di queste norme andrà dunque a formare un "corpus normativo" che, richiamato nelle norme di prodotto di ciascuna tipologia di gru, sarà alla base dei progetti degli apparecchi di sollevamento negli anni a venire.

### Angelo Cristian Bertocchi

Esperto UNI - CEN/TC147 Working Group 2 Crane design e Working Group 18 Loader cranes  
Safety Engineer presso FASSI GRU S.p.A.

### Roberto Cianotti

Presidente UNI CT5 Apparecchi di sollevamento e relativi accessori

### GENERAL DESIGN OF CRANES

The standard UNI EN 13001 specifies general principles and requirements on design to prevent mechanical hazards of cranes, and a method of verification of those requirements. The standard is composed by the following parts:

- UNI EN 13001-1:2015 Cranes - General design - Part 1: General principles and requirements;
- UNI EN 13001-2:2015 Crane safety - General design - Part 2: Load actions;
- UNI EN 13001-3-2:2015 Cranes - General design - Part 3-2: Limit states and proof of competence of wire ropes in reeving systems;
- UNI EN 13001-3-3:2015 Cranes - General design - Part 3-3: Limit states and proof of competence of wheel/rail contacts;
- UNI EN 13001-3-1:2013 Cranes - General design - Part 3-1: Limit States and proof competence of steel structure;
- UNI CEN/TS 13001-3-5:2010 Cranes - General design - Part 3-5: Limit states and proof of competence of forged hooks.

More details in this article.