

di Paolo Rugarli
 paolo.rugarli@casta-
 liaweb.com

Chi scrive ha lavorato alla creazione di procedure di calcolo automatico aventi per oggetto le prescrizioni di norma in merito al Metodo Semi Probabilistico agli Stati Limite (SPSL), ed ha fatto una constatazione, precisamente in merito alle combinazioni di calcolo, la quale è stata oggetto di un articolo recentemente pubblicato sulla rivista *Ingegneria Sismica* ([1]).

Le formule che nelle norme (DM 16/1/1996, Circ. Ministeriale 4-7-1996, Ordinanza 3274/03, Eurocodici) dicono come generare le combinazioni per gli stati limite ultimi e per quelli di servizio non sono in generale a favore di sicurezza, e contengono un errore sistematico. Chi usa quelle formule così come sono, rischia pertanto di trascurare situazioni di carico fondamentali per alcuni elementi costruttivi.

Precisamente le formule per gli s.l.u. così scritte:

$$\text{Azioni variabili} \quad \gamma_g G_k + \gamma_q Q_{1k} + \sum_{i=2}^{nq} \gamma_q (\psi_{0i} Q_{ik}) \quad (1)$$

$$\text{Azioni accidentali (sisma)} \quad G_k + \gamma_{fa} E_a + \sum_{i=1}^{nq} (\psi_{2i} Q_{ik}) \quad (2)$$

dovrebbero invece essere scritte come segue, con la precisazione che ψ_i (quello nella sommatoria) può valere 1 o 0 a seconda di quale situazione risulti individualmente peggiore per il singolo elemento costruttivo:

$$\sum_{i=1}^{nq} \gamma_{gi} G_{ki} + \gamma_{q1} Q_{1k} + \sum_{i=2}^{nq} \gamma_{qi} \psi_{0i} Q_{ik} \quad (1bis)$$

$$\sum_{i=1}^{nq} G_{ik} + \gamma_{fa} E_a + \sum_{i=1}^{nq} (\gamma_{qi} \psi_{2i} Q_{ik}) \quad (2bis)$$

Le formule per gli *stati limite di servizio* che sono scritte così

$$\text{Combinazioni rare} \quad G_k + Q_{1k} + \sum_{i=2}^{nq} \psi_{0i} Q_{ik}$$

$$\text{Combinazioni frequenti} \quad G_k + \psi_{11} Q_{1k} + \sum_{i=2}^{nq} \psi_{2i} Q_{ik} \quad (3)$$

$$\text{Combinazioni quasi permanenti} \quad G_k + \sum_{i=1}^{nq} \psi_{2i} Q_{ik}$$

Dovrebbero invece scriversi così (con analogia precisazione):

$$\text{Combinazioni rare} \quad \sum_{i=1}^{nq} G_{ki} + Q_{1k} + \sum_{i=2}^{nq} \gamma_{qi} \psi_{0i} Q_{ik}$$

$$\text{Combinazioni frequenti} \quad \sum_{i=1}^{nq} G_{ki} + \psi_{11} Q_{1k} + \sum_{i=2}^{nq} \gamma_{qi} \psi_{2i} Q_{ik} \quad (3bis)$$

$$\text{Combinazioni quasi permanenti} \quad \sum_{i=1}^{nq} G_{ki} + \sum_{i=1}^{nq} \gamma_{qi} \psi_{2i} Q_{ik}$$

In sostanza, le formule delle norme in vigore non prevedono la selettiva nullità delle azioni variabili: le azioni variabili sono sempre o tutte presenti o tutte assenti.

E' da notare che la scrittura di queste equazioni in modo corretto svela una circostanza, generalmente taciuta, o aggirata o sminuita nei testi, che volenterosamente ma ingannevolmente esemplificano il Metodo SPSL: su strutture reali, quelle non simmetriche e spaziali, con azioni di varia natura ed origine, il numero delle combinazioni “statistiche” generate da (1bis) (2bis) raggiunge facilmente le migliaia. Naturalmente, ciò è vero a voler essere coerenti: si possono in alternativa sempre scartare migliaia di combinazioni, postulando che le poche messe già con gli opportuni fattori ψ_i ψ_j involupino i massimi su tutte le membrature. Ma in questo caso, data proprio la struttura delle formule, il rischio di trascurare situazioni di calcolo rilevanti per qualche elemento è forte e, più che “semiprobabilistico” il metodo con queste scorciatoie diventerebbe sostanzialmente arbitrario.

Dunque, questo articolo parte da due constatazioni:

- le formule di combinazione del Decreto Ministeriale, dell’Ordinanza e degli Eurocodici sono scritte male e non sono a favore di sicurezza;
- le formule di combinazione “giuste” nei casi normali portano a centinaia o meglio a migliaia di combinazioni.

Le prevedibili obiezioni a queste affermazioni sono:

- le formule di combinazione sono scritte come traccia, ma poi ognuno fa quel che vuole.
- nei casi normali (travi continue, telai piani simmetrici) le formule di combinazione di norma non portano a risultati a sfavore di sicurezza né ad un numero di combinazioni così elevato;
- non bisogna essere troppo formali, le formule sono solo convenzionali.

Obietto:

- le formule sono scritte nelle norme, dove nulla deve essere scritto in modo impreciso. Nella Circolare Ministeriale del '96 si dice che si possono usare queste formule “in mancanza di studi specifici”, vale a dire nei casi normali e più frequenti. Nell’Ordinanza del Presidente del Consiglio 3274/2003 si dice che la verifica allo s.l.u. “*deve essere effettuata*” utilizzando la (2). Quindi, in base a quanto scritto nelle norme, non si può fare come si vuole. Queste formule portano al primo membro della ben nota disequazione-paradigma $S_d < R_{dr}$ alla base del metodo SPSL: se sono sbagliate o non cautelative tutto il resto ne è inficiato.
- i casi “normali” non sono quelli dei modelli di calcolo ormai correnti, e comunque è tutto da dimostrare che nei casi “normali” le conseguenze non ci siano. Chi scrive ha fatto o citato esempi dove le conseguenze ci sono [1]. Le norme si riferiscono agli edifici e sono applicate in ambito generale, esse non riportano la modesta dicitura “per le travi continue ed i telai piani simmetrici”, bensì la dicitura “per gli edifici” o “costruzioni”. Se si hanno in mente le sole travi continue, e si scrivono le norme avendo in mente quelle, che lo si am-

metta onestamente, che si normino modelli elementari, non modelli complessi. “Norma per i telai piani simmetrici”. “Norma per le travi continue”.

■ se non bisogna essere troppo formali allora non si deve esserlo da nessuna parte nelle norme. A che serve scrivere formule, allora?

Vale la pena sottolineare che queste formule dicono come generare le situazioni che dovranno poi essere oggetto delle verifiche. *Esse sono di importanza capitale per l'applicazione del Metodo semiprobabilistico agli Stati Limite in quanto definiscono le combinazioni di progetto.*

Sebbene ciò che manca in queste formule sia in effetti solo un “□”, le conseguenze di questa omissione sono notevoli.

“Vedessero, computassero, apprendessero, tesoreggiassero” Per ventidue anni, dal lontano 1982 queste formule che sommamente diremmo “errate” hanno fatto bella mostra di sé nel testo delle norme in vigore in Italia (ed anche degli Eurocodici). Oltre ad essere nelle norme (o forse proprio per questo), quelle formule sono state riprese e riproposte da numerosi manuali, testi universitari, guide alla progettazione, alcuni anche molto autorevoli, mentre altri sono freschissimi di pubblicazione e molto pubblicizzati. Qualcuno tra questi trattatisti si è dilungato a spiegarle con esempi, queste formule (1) (2) e (3), per far vedere quanto fossero semplici: “vedessero, computassero, apprendessero, tesoreggiassero”. (Impara l’arte e mettila da parte) ([11]). In nessuno dei classici testi da me consultati si dice che le (1) (2) (3) non sono a favore di sicurezza. Nessuno.

Ho invece trovato consonanza di vedute con l’Autore di un nuovo testo in corso di pubblicazione ([9]), un Professore che aveva ragionato con la sua testa e di conseguenza aveva spiegato ai suoi studenti.

Per il resto si vedono sempre *gamma qu* a fattor comune, un tripudio di “vedete come è semplice” che è imbarazzante commentare, anche perché chi scrive è ben consapevole che l’errore, come una presenza muta e maligna, è sempre a fianco a noi ingegneri, sempre pronto a vanificare i nostri sforzi. L’errore è il nostro secondo più grande nemico. Il primo nemico è l’orgoglio di crederci in possesso di verità assolute o incontestabili. L’errore più grande è la accecante presunzione di crederci nel giusto, immortalata da Gadda come memento perenne nel personaggio dello zio Antenore, ingegnere e docente, che porta i suoi studenti ad ammirare la “capriata-paradigma” in c.a. facendoli ammassare sul sottostante pontile di servizio in legno che “un volea sapere di quintali: e sfasciò”. Fatto peraltro realmente accaduto a Milano tra gli anni ’20 e ’30 dello scorso secolo.

PROBLEMI GIURIDICI E DEONTOLOGICI

Il codice etico del C.N.I., che tutti noi Ingegneri siamo tenuti a rispettare, recita al punto 1.1.:

“La professione dell’Ingegnere deve essere esercitata nel rispetto delle leggi dello Stato e costituisce attività di pubblico interesse”.

Del resto, deontologia a parte, ci sono precisi obblighi di leg-

ge. Il Regio Decreto 23-10-1925, n. 2537, che regola le professioni di Ingegnere ed Architetto è in vigore ancora oggi, dopo varie modifiche, e dice all’articolo 57:

“Il Ministro della Giustizia vigila alla esatta osservanza delle norme legislative e regolamentari ed all’uopo può fare, direttamente ovvero a mezzo dei suddetti magistrati, le opportune richieste ai singoli ordini ed ai rispettivi consigli. Il Ministro della Giustizia, sentito il parere del Consiglio di Stato, può sciogliere il consiglio dell’ordine, ove questo, chiamato alla osservanza degli obblighi ad esso imposti, persista a violarli o a non adempierli, ovvero per altri gravi motivi.”

D’altro canto il codice etico del C.N.I. recita al punto 5.1:

“Le prestazioni professionali dell’Ingegnere saranno svolte tenendo conto preminentemente della tutela della vita e della salvaguardia della salute fisica dell’uomo”.

Ora, qui si dà la seguente situazione: le “leggi dello Stato” contengono errori, e gli ingegneri sono tenuti però a rispettarle. Il codice etico degli ingegneri impone di rispettare le leggi, ma al tempo stesso impone, “preminentemente”, di rispettare la vita umana, messa sicuramente in pericolo da formule errate. Inoltre la responsabilità è comunque del progettista, il quale però non è libero di fare le scelte che crede, ma è costretto a seguire quanto le norme impongono. Anche se le norme suggeriscono o impongono formule scorrette. Chi risolve questo conflitto?

Chi scrive si attende che gli Ordini Professionali ed il CNI, che dovrebbero rappresentare gli Ingegneri, si attivino rapidamente al fine di ottenere un chiarimento ufficiale di questo problema, che va al di là del singolo pur grave episodio qui indicato (le formule di combinazione sono sbagliate) e coinvolge le basi stesse del quotidiano lavoro dei Professionisti. Chi scrive ha quindi informato tutti i Presidenti degli Ordini degli Ingegneri circa il rinvenimento dell’errore nelle formule di combinazione.

INAPPROPRIATEZZA DI STESURA DELLE NORME

La tendenza delle norme negli ultimi venti anni è stata quella di richiedere calcoli sempre più complessi, implicitamente fidando sempre più nel fatto che i software di calcolo avrebbero reso nulle le difficoltà di calcolo introdotte. Purtroppo, però, chi scrive le norme non ha in genere nessuna competenza nella formalizzazione dei modelli che consentono di fare i programmi, e non comprende le ricadute che le singole parole del testo possono avere per chi dovrà poi scrivere i software necessari ([13], [14]).

Così chi scrive i software aggiunge *necessariamente* molto del suo, e però questo non si deve sapere: sono tutti nominalmente “in accordo” a questa o quella norma. Fola grande quanto altre mai, così come è illusorio credere che il software, qualsiasi software, possa riempire i vuoti lasciati dai normatori o dai progettisti. “Tanto ci sono i programmi”, pare dicano questi nostri normatori. E’ per l’appunto programmando le (1) (2) e (3), che chi scrive ha compreso che erano errate. Ma gli ingegneri che programmano sono una ristretta minoranza, e cercano di dare senso ai testi che gli

[1] Rugarli P., "Combinazioni di verifica agli stati limite: il non detto delle normative", *Ingegneria Sismica*, 2, 2004. [2] Crespellani T., Le nuove norme tecniche per le zone sismiche: alcune osservazioni da una prospettiva geotecnica", *Ingegneria Sismica*, 3, 2003. [3] Giovannardi F., Intervento inviato alla rivista *Ingegneria Sismica*, 2/2004 e pubblicato presso il forum online della Regione Emilia Romagna (www.regione.emilia-romagna.it/geologia/forum/sismica/default.asp). [4] Rugarli P., "In margine alle Ordinanze 3274 e 3316", *Ingegneria Sismica*, 3, 2003. [5] Dott. Ing. Vincenzo Collina, Dott. Ing. Marco Guiduzzi, Consigliere e Presidente dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Forlì e Cesena, Lettera al Ministro Lunardi, al Dott. Bertolaso, al CNI, alla Federazione Regionale Ordini Ingegneri, alla Regione Emilia Romagna, 22-03-04. [6] SNILPI InArSind, lettera al On. Silvio Berlusconi, 11-3-2004. [7] Borri A. "Considerazioni sull'ordinanza pcm 3274 per gli edifici esistenti in muratura.", *L'Edilizia* n°132 febbraio-marzo 2004. [8] Mazzolani F.M., Pilluso V. "La nuova normativa sismica per le costruzioni in acciaio", *L'Edilizia* n°132 febbraio-marzo 2004. [9] Bernuzzi, C. "Proporzionamento di Costruzioni in Acciaio", *POLIPRESS*, 2004,

esperti scrivono, quasi sempre pieni di cose contraddittorie ed illogiche se viste in un contesto generale (ma logiche nell'ambito delle procedure molto *ad hoc* che i normatori hanno in mente), regole del tutto non generalizzabili né formalizzabili né riducibili ad algoritmo. E quindi i programmi talvolta pencolano nell'arbitrio.

L'esempio delle formule di combinazione è sintomatico, ma non è l'unico, ce ne sono decine, e non solo nelle norme italiane. Per esempio giacciono inevasi da più di dieci anni una serie di quesiti in merito alla classificazione secondo EC3 dei profili soggetti a sollecitazioni miste, ovvero a presso o tenso flessione deviata ([12]) che, se analizzati con rigore, ci porterebbero a concludere che l'EC3 non è univocamente applicabile se non in caso di sollecitazioni elementari su sezioni simmetriche. Ma chi si cura di queste cose? Oggi è normale scrivere che un profilo non a doppio T è "duatile" se appartiene alla classe 1 secondo EC3 ([8]) senza che i dubbi esposti più di dieci anni fa siano mai stati chiariti.

Su queste basi, ce lo si lasci dire, fare i programmi di calcolo in modo generale è impresa ardua per non dire impossibile. Certo, fare pubblicità ai programmi è invece molto facile.

La tendenza che hanno i normatori è dunque questa. Fanno studi ed esperimenti su strutture elementari, in casi molto particolari, e poi scrivono le norme "dimenticandosi" di specificare che i loro risultati sono applicabili a rigore solo per le travi continue, le sezioni semplicemente inflesse, ecc.. Nulla di male, se le norme fossero dedicate ai soli casi elementari o particolari, invece le norme si riferiscono alle "costruzioni" agli "edifici", insomma, a tutto. Lo sforzo di generalizzazione è così puramente nominale ed ostacola il lavoro fatto seriamente, in quanto le prescrizioni delle norme pensate per casi particolari non sono applicabili a casi complessi e generali.

Tirando le somme, le norme sono in vario grado dense di contraddizioni: da una parte semplificazioni brutali (vedi combinazioni), dall'altra temerari voli pindarici fatti nel tentativo di ricondurre "tutto" a quello che è stato effettivamente studiato (vedi classificazione profili). Sembra che più di ogni altra cosa il normatore non voglia confessare la propria impotenza di fronte alla formidabile complessità e variabilità dei problemi da affrontare, lasciando liberi i progettisti di decidere, caso per caso, sulla base di ragionevoli ipotesi anche molto semplificate ed a favore di sicurezza, ciò che devono fare.

ULTERIORI CONSIDERAZIONI SULLE ORDINANZE
Chi scrive ha già detto dettagliatamente la sua opinione sulle Ordinanze 3274 e 3316 ([4], [15]). Le formule di combinazione errate portano ad ulteriori considerazioni, infatti le (2) so-

no state incluse nella Ordinanza 3274, che dovrebbe – stando a quanto è stato orgogliosamente scritto – porre riparo ai rischi derivanti da una normativa arretrata ed inappropriata. Il diavolo, si sa, a volte ci mette lo zampino, e così le Ordinanze non solo hanno ripetuto pedissequamente l'errore delle altre norme, ma per eccesso di zelo e di fiducia nelle *magnifiche sorti e progressive*, hanno fatto reso obbligatorie quelle formule errate ed a sfavore di sicurezza, che prima erano opzionali, in quanto obbligano ad usare unicamente il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

Un fatto che, al di là delle intenzioni degli estensori (qualsiasi esse fossero), dà da pensare.

Il metodo SPSL sarebbe migliore del metodo delle TA, ma a patto che la probabilistica sia portata alle sue logiche conseguenze: migliaia di combinazioni. Sarebbe migliore ma a patto che si facciano calcoli davvero non lineari abbandonando i calcoli elastici globali, un "dettaglio" sul quale si conviene di tacere, fidando nella confusione tra plasticità globale e locale. Se si mantengono i calcoli elastici globali con un numero ristretto di combina-

zioni (scartando le migliaia della probabilistica coerente) allora il metodo SPSL non ha ragioni convincenti per essere drasticamente sostituito a quello alle TA, è solo un metodo convenzionale elastico (molto poco probabilistico) corretto a livello sezionale, niente di più. Tant'è che abbiamo lo "stato limite convenzionale elastico" delle CNR10011.

E allora tutto questo furore innovativo si perde nel vuoto. Si scontra contro le difficoltà reali tuttora esistenti, e diviene velleitario, formalistico, potenzialmente più dannoso che utile. Giustamente, quindi, da varie parti si sono sollevate obiezioni circa la pertinenza dell'abolizione del metodo delle tensioni ammissibili, che pur avendo i limiti ben noti (li conosciamo bene) ha anche molti pregi, e non ha impedito di realizzare costruzioni ardite e resistenti, anche a sismi molto intensi.

La discussione sulle Ordinanze verte sul modo in cui le idee di base sono state trasformate in norma, e sulle altre cose che sono state aggiunte. Il metodo delle Ordinanze, la mancanza di un'indagine pubblica preventiva, le disposizioni collegate che fanno diventare tre Università "più eguali" delle altre, il discorso degli edifici strategici, il caos causato dalle Ordinanze, per quanto riguarda il metodo. L'incomprensibilità ed inappropriata del testo, il voler "calcolare" il coefficiente di struttura, "calcolare" la regolarità strutturale coi coefficienti di sfruttamento, l'assurdità delle spiegazioni in merito alla eccentricità delle masse, ecc. ecc., per quanto riguarda lo specifico. Inoltre, una classificazione non appropriata [16], l'abolizione secca delle tensioni ammissibili [6], la parte geotecnica [2], le murature [7], ecc. ecc. per quanto ri-



guarda le altre novità aggiunte. Un modo sbagliato ed ingiustificatamente emergenziale, un testo acerbo, talvolta inappropriato, spesso incomprensibile. Non è quindi solo sull'ingegneria sismica che si discute ma proprio sul modo in cui gli estensori hanno svolto il loro compito di *normatori*, cioè, a parere ormai di un bel po' di persone, *male*.

Arrivano ora i primi accenni di reazione. In [3] si dà notizia della lettera inviata da ben 40 Colleghi a conclusione del corso diligentemente seguito, in [5] si dice che "in questa gara [tra istituzioni] manca chi rappresenta i progettisti, categoria sulla cui testa sono sempre piovute leggi spesso vessatorie senza che si levasse una voce di protesta", e ancora in [6] si esprimono "gravi perplessità" "grave preoccupazione" e molti dubbi di merito. Che si ripieghino dunque i gonfaloni, che si eviti di dire, come ha fatto il Dott. Bertoloso sul "Corriere della Sera", che queste Ordinanze sono il vero monumento ai piccoli morti di San Giuliano.

MODESTE IDEE SU COME SI DOVREBBERO SCRIVERE LE NORME

Le norme nazionali non dovrebbero essere il luogo dove i Ricercatori e i Professori possano pubblicare i loro ultimi specifici ritrovati, spesso, di necessità, tortuosamente monchi. Le norme nazionali non dovrebbero essere fatte dai soli Professori Universitari, i quali hanno dato ampia prova – duole dirlo ■ di non essere sufficienti *in quanto tali* a garantire che le norme siano ben fatte. Né, peraltro, la legge prevede che siano solo loro a doverne occupare. Le norme devono essere applicate da tutti e sono troppo importanti per essere lasciate in mano solo ad un drappello di super esperti, sia pur incaricati dal Presidente del Consiglio dei Ministri.

Le Norme Nazionali devono fornire metodologie di riferimento a favore di sicurezza, chiare e facilmente applicabili, il

che richiede *uno specifico sforzo di semplificazione e di studio di formule convenzionali semplificate ma appropriatamente a favore di sicurezza*.

L'errore è sempre dietro l'angolo e noi ci dobbiamo cautelare contro di esso, quindi si deve andare avanti coi piedi di piombo non con le ali leggere ed inconsistenti della fretta. Le norme devono essere controllate da molte persone prima di essere emanate, e queste persone devono essere tutti i potenzialmente interessati, non solo i membri di certe categorie, istituzioni, conventicole o associazioni, nelle quali, per varie ragioni, è spesso difficile trovare punti di vista eterodossi. L'ANIDIS è stata promossa dal Prof. Calvi su queste colonne al ruolo di "quasi totalità della comunità scientifica", quasi che "la scienza" – una parola molto molto impegnativa – fosse ontologicamente in corrispondenza biunivoca con l'ANIDIS stessa. Allora, dato che chi scrive non è associato a niente, ed in particolare non all'ANIDIS, sarà senz'altro privo di fondamento quanto scritto a proposito degli errori delle formule di combinazione: il lettore non dia troppo retta e cesti questo articolo.

Tutti devono avere modo di leggere, studiare e commentare la bozza del testo *prima che la norma sia emanata*. Poi qualcuno si dovrà occupare di stabilire se le osservazioni sono pertinenti, e quel qualcuno dovrà essere un insieme di persone prese tra i professionisti e tra gli esperti dei vari settori (che siano Professori o meno, e ci scusino i Colleghi Docenti se proprio non ci bendiamo gli occhi pur mantenendo la più grande fiducia).

Mai le norme dovrebbero essere pubblicate con errori, mai. E se errori ci sono, vanno tolti in una settimana, non in cinque mesi. Se ci vogliono cinque mesi e ancora non si è finito dopo un anno e passa ([7], [8], [2], [3], [4], ecc. ecc.) vuol dire che si è fatto un gran pasticcio. Cosa della quale, una volta di più purtroppo, come italiani, c'è ben poco da andare fieri.

di prossima pubblicazione.

[11] Gadda C. E., *L'Adalgisa-Disegni Milanesi*, cap. III, nota a chiusura del capitolo. [12]

Rugarli P., "La classificazione via EC3 di profili ad I sottoposti a sollecitazioni miste", *Giornate Italiane delle Costruzioni in Acciaio*, CTA, Viareggio 1993.

[13] Rugarli P. "Software di calcolo" in *Manuale dell'Ingegnere "Colombo"*, S.4, 84ª edizione, Hoepli, 2003. [14]

Rugarli P., "Calcolo strutturale con gli Elementi Finiti: una spiegazione di base del metodo degli elementi finiti applicato alla ingegneria strutturale", EPC Libri, Roma, 2003. [15]

Rugarli P., "Una modesta proposta", *L'Edilizia* n° 130 ottobre novembre 2003.

