

Capitolo 3

INTRODUZIONE

ALLE VERIFICHE DI SICUREZZA

3.1 Oggetto delle norme

Le norme presenti in questo testo disciplinano la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni.

Lo scopo delle norme è di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi di protezione civile.

Le considerazioni di carattere generale, nonché le indicazioni relative all'azione sismica, di cui al capitolo 4 (§ 3.2 delle NTC08), possono essere utilizzate come riferimento in quanto applicabili, per la progettazione di strutture diverse dagli edifici, qualora non sia disponibile una norma specifica.

In aggiunta alle prescrizioni di carattere sismico, le strutture devono soddisfare le prescrizioni relative alle combinazioni di carico non sismiche.

■ *Le nuove norme sismiche sono finalmente inquadrare in un corpo unico di legge. È finita la 'fase di emergenza' normativa legata alle Ordinanze. Si rientra nel sistema 'ordinario' con indicazioni a breve e a lungo termine.*

Il riferimento agli Eurocodici e alle relative appendici nazionali rende le NTC08 finalmente 'europee' e sottolinea l'inizio della nuova era delle strutture italiane in Europa.

3.2 Sicurezza e prestazioni attese

cap.2 NTC08

3.2.1 Principi fondamentali

§ 2.1 NTC08

Le opere e le componenti strutturali devono essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzione in modo tale da consentirne la prevista utilizzazione, in forma economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza previsto dalle presenti norme.

La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale.

Stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.

In particolare, secondo quanto stabilito nei capitoli specifici, le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- *sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU):* capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità

- tà delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;
- *sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE)*: capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
 - *robustezza nei confronti di azioni eccezionali*: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

■ *Requisiti di una struttura:*

- *RESISTENTE e DUTILE allo SLU*
- *ACCETTABILE allo SLE*
- *ROBUSTA*
- *DUREVOLE*

La "robustezza" è una caratteristica particolare che esprime la capacità della struttura di trovare un suo nuovo equilibrio in casi di eventi eccezionali.

Occorre evitare il crollo della struttura al mancare accidentale di qualche elemento strutturale. Si deve evitare il crollo 'a castello di carte', come quello avvenuto nel 1968 nel Ronan Point apartment tower a Londra; in tale evento, successivamente allo scoppio in un locale di un edificio a pannelli portanti, si verificò il crollo a catena di tutta l'ala interessata per l'intera altezza dell'edificio.

Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile e si definisce collasso.

Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile.

Per le opere esistenti è possibile fare riferimento a livelli di sicurezza diversi da quelli delle nuove opere ed è anche possibile considerare solo gli stati limite ultimi. Maggiori dettagli sono dati al Cap. 8.¹

La durabilità, definita come conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture, proprietà essenziale affinché i livelli di sicurezza vengano mantenuti durante tutta la vita dell'opera, deve essere garantita attraverso una opportuna scelta dei materiali e un opportuno dimensionamento delle strutture, comprese le eventuali misure di protezione e manutenzione.

I prodotti e i componenti utilizzati per le opere strutturali devono essere chiaramente identificati in termini di caratteristiche meccanico-fisico-chimiche indispensabili alla valutazione della sicurezza e dotati di idonea qualificazione, così come specificato al Cap. 11.

I materiali e i prodotti, per poter essere utilizzati nelle opere previste dalle presenti norme, devono essere sottoposti a procedure e prove sperimentali di accettazione. Le prove e le procedure di accettazione sono definite nelle parti specifiche delle presenti norme riguardanti i materiali.

La fornitura di componenti, sistemi o prodotti, impiegati per fini strutturali, deve essere accompagnata da un manuale di installazione e di manutenzione da allegare alla documentazione dell'opera. I componenti, sistemi e prodotti, edili o impiantistici, non facenti parte del complesso strutturale, ma che svolgono funzione statica autonoma, devono essere progettati e installati nel rispetto dei livelli di sicurezza e delle prestazioni di seguito prescritti.

¹ *N.d.R.*: salvo dove diversamente specificato, i riferimenti contenuti nelle parti tratte dalle NTC 2008 (striscia laterale colorata) e dalla relativa Circolare esplicativa (striscia laterale grigia) rimandano a sezioni della stessa normativa nella loro numerazione originaria. Il cap. 8 delle NTC08 corrisponde al cap. 14 del presente testo.

Le azioni da prendere in conto devono essere assunte in accordo con quanto stabilito nei relativi capitoli delle presenti norme. In mancanza di specifiche indicazioni, si dovrà fare ricorso ad opportune indagini, eventualmente anche sperimentali, o a normative di comprovata validità.

3.2.2 Stati limite

§ 2.2 NTC08

3.2.2.1 Stati limite ultimi (SLU)

I principali Stati Limite Ultimi, di cui al § 2.1,² sono elencati nel seguito:

- a) perdita di equilibrio della struttura o di una sua parte;
- b) spostamenti o deformazioni eccessive;
- c) raggiungimento della massima capacità di resistenza di parti di strutture, collegamenti, fondazioni;
- d) raggiungimento della massima capacità di resistenza della struttura nel suo insieme;
- e) raggiungimento di meccanismi di collasso nei terreni;
- f) rottura di membrature e collegamenti per fatica;
- g) rottura di membrature e collegamenti per altri effetti dipendenti dal tempo;
- h) instabilità di parti della struttura o del suo insieme.

Altri stati limite ultimi sono considerati in relazione alle specificità delle singole opere; in presenza di azioni sismiche, gli Stati Limite Ultimi sono quelli precisati nel § 3.2.1.

■ *SLU: Il requisito fondamentale richiesto alla struttura è di non collassare sotto un sisma eccezionale, caratterizzato da un periodo di ritorno molto lungo (circa 500 anni).*

Il requisito è soddisfatto se l'azione resistente della costruzione è maggiore dell'azione sollecitante del sisma di riferimento, ovvero se la costruzione riesce a resistere alla sollecitazione di calcolo che la sollecita.

L'azione sismica sollecitante viene valutata tenendo conto dello smorzamento interno della struttura, che di fatto produce una riduzione dell'azione equivalente al sisma in termini di forza.

L'azione resistente, o ultima, è quella che produce la 'labilizzazione' della struttura stessa, ovvero il suo collasso.

3.2.2.2 Stati limite di esercizio (SLE)

I principali Stati Limite di Esercizio, di cui al § 2.1, sono elencati nel seguito:

- a) danneggiamenti locali (ad es. eccessiva fessurazione del calcestruzzo) che possano ridurre la durabilità della struttura, la sua efficienza o il suo aspetto;
- b) spostamenti e deformazioni che possano limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto;
- c) spostamenti e deformazioni che possano compromettere l'efficienza e l'aspetto di elementi non strutturali, impianti, macchinari;
- d) vibrazioni che possano compromettere l'uso della costruzione;
- e) danni per fatica che possano compromettere la durabilità;
- f) corrosione e/o eccessivo degrado dei materiali in funzione dell'ambiente di esposizione.

² *N.d.R.*: vale a dire: di cui al paragrafo precedente. Per individuare nel presente testo i paragrafi corrispondenti a quelli del cap. 2 delle NTC08 occorre sostituire 3.2 a 2 nella numerazione delle Norme Tecniche. Per i successivi rimandi presenti nel testo si veda anche la tabella delle corrispondenze riportata nelle istruzioni d'uso all'inizio del volume.

Altri stati limite sono considerati in relazione alle specificità delle singole opere; in presenza di azioni sismiche, gli Stati Limite di Esercizio sono quelli precisati nel § 3.2.1.

■ *La verifica allo SLD (stato limite di danno) accerta che la struttura, ancora in campo elastico, si deformi sotto l'azione di un sisma di media potenza in modo compatibile con le parti non strutturali.*

In pratica si determina la deformazione imposta da un sisma 'medio' valutato con lo spettro elastico e la si confronta con quella compatibile con la costruzione stessa.

Quindi lo SLD è una verifica in esercizio. Non si controlla lo stato di sollecitazione.

3.2.2.3 Verifiche

Le opere strutturali devono essere verificate:

- a) per gli stati limite ultimi che possono presentarsi, in conseguenza alle diverse combinazioni delle azioni;
- b) per gli stati limite di esercizio definiti in relazione alle prestazioni attese.

Le verifiche di sicurezza delle opere devono essere contenute nei documenti di progetto, con riferimento alle prescritte caratteristiche meccaniche dei materiali e alla caratterizzazione geotecnica del terreno, dedotta in base a specifiche indagini.

La struttura deve essere verificata nelle fasi intermedie, tenuto conto del processo costruttivo; le verifiche per queste situazioni transitorie sono generalmente condotte nei confronti dei soli stati limite ultimi.

Per le opere per le quali nel corso dei lavori si manifestino situazioni significativamente difformi da quelle di progetto occorre effettuare le relative necessarie verifiche.

3.2.3 Valutazione della sicurezza

§ 2.3 NTC08

Per la valutazione della sicurezza delle costruzioni si devono adottare criteri probabilistici scientificamente comprovati. Nel seguito sono normati i criteri del metodo semiprobabilistico agli stati limite basati sull'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza, applicabili nella generalità dei casi; tale metodo è detto di primo livello.

Per opere di particolare importanza si possono adottare metodi di livello superiore, tratti da documentazione tecnica di comprovata validità.

Nel metodo semiprobabilistico agli stati limite, la sicurezza strutturale deve essere verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni.

Per la sicurezza strutturale, la resistenza dei materiali e le azioni sono rappresentate dai valori caratteristici, R_{ki} e F_{kj} definiti, rispettivamente, come il frattile inferiore delle resistenze e il frattile (superiore o inferiore) delle azioni che minimizzano la sicurezza.

In genere, i frattili sono assunti pari al 5%. Per le grandezze con piccoli coefficienti di variazione, ovvero per grandezze che non riguardino univocamente resistenze o azioni, si possono considerare frattili al 50% (valori mediani).

Per la sicurezza di opere e sistemi geotecnici, i valori caratteristici dei parametri fisico-meccanici dei terreni sono definiti nel § 6.2.2.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza si effettua con il "metodo dei coefficienti parziali" di sicurezza espresso dalla equazione formale:

$$R_d \geq E_d \quad (2.2.1)$$

dove:

R_d è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate;

E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto $F_{dj} = F_{kj}\gamma_{Fj}$ delle azioni, come indicato nel § 2.5.3, o direttamente $E_{dj} = E_{kj}\gamma_{Ej}$.

I coefficienti parziali di sicurezza, γ_{Mi} e γ_{Fj} , associati rispettivamente al materiale i -esimo e all'azione j -esima, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e alla affidabilità del modello di calcolo.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio si esprime controllando aspetti di funzionalità e stato tensionale.

3.2.4 Vita nominale, classi d'uso e periodo di riferimento

§ 2.4 NTC08

3.2.4.1 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I e deve essere precisata nei documenti di progetto.

Tabella 2.4.I Vita nominale V_N per diversi tipi di opere.

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

¹ Le verifiche sismiche di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni.

3.2.4.2 Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

- 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 e 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. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- 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 di 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.

L'Eurocodice fa riferimento come l'Ordinanza a un fattore di importanza pari a 0,8; 1; 1,2; 1,4 per le 4 classi di importanza:

Importance classes for buildings		EN 1998-1:2004 (E)
Table 4.3 Importance classes for buildings		
Importance class	Buildings	
I	Buildings of minor importance for public safety, e.g. agricultural buildings, etc.	
II	Ordinary buildings, not belonging in the other categories.	
III	Buildings whose seismic resistance is of importance in view of the consequences associated with a collapse, e.g. schools, assembly halls, cultural institutions etc.	
IV	Buildings whose integrity during earthquakes is of vital importance for civil protection, e.g. hospitals, fire stations, power plants, etc.	
NOTE Importance classes I, II and III or IV correspond roughly to consequences classes CC1, CC2 and CC3, respectively, defined in EN 1990:2002, Annex B.		
Importance factors for buildings (recommended values):		
$\gamma_I = 0,8; 1,0; 1,2 \text{ and } 1,4$		

3.2.4.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

§ 2.4.3 NTC08

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (2.4.1)$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.

■ I coefficienti di 'alterazione' della vita utile sostituiscono l'applicazione dei coefficienti di importanza dell'Ordinanza, che incrementava l'effetto sismico a seconda della classe d'uso.

Tabella 2.4.II Valori del coefficiente d'uso C_u .

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente C_u	0,7	1,0	1,5	2,0
Tipologia	Uso occasionale	normali	affollati	strategici

Se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni.

3.2.5 Azioni sulle costruzioni

§ 2.5 NTC08

3.2.5.1 Classificazione delle azioni

Si definisce azione ogni causa o insieme di cause capace di indurre stati limite in una struttura.

Classificazione delle azioni in base al modo di esplicarsi

- a) *dirette*: forze concentrate, carichi distribuiti, fissi o mobili;
- b) *indirette*: spostamenti impressi, variazioni di temperatura e di umidità, ritiro, precompressione, cedimenti di vincolo, ecc.
- c) *degrado*:
 - endogeno: alterazione naturale del materiale di cui è composta l'opera strutturale;
 - esogeno: alterazione delle caratteristiche dei materiali costituenti l'opera strutturale, a seguito di agenti esterni.

Classificazione delle azioni secondo la risposta strutturale

- a) *statiche*: azioni applicate alla struttura che non provocano accelerazioni significative della stessa o di alcune sue parti;
- b) *pseudo statiche*: azioni dinamiche rappresentabili mediante un'azione statica equivalente;
- c) *dinamiche*: azioni che causano significative accelerazioni della struttura o dei suoi componenti.

Classificazione delle azioni secondo la variazione della loro intensità nel tempo

- a) *permanenti* (G): azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo:
 - peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo) (G_1);
 - peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G_2);
 - spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione;
 - pretensione e precompressione (P);
 - ritiro e viscosità;
 - spostamenti differenziali;
- b) *variabili* (Q): azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:
 - di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;

- di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;
- c) *eccezionali* (A): azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura:
 - incendi;
 - esplosioni;
 - urti ed impatti;
- d) *sismiche* (E): azioni derivanti dai terremoti.

3.2.5.2 Caratterizzazione delle azioni elementari

Si definisce valore caratteristico Q_k di un'azione variabile il valore corrispondente ad un frattile pari al 95% della popolazione dei massimi, in relazione al periodo di riferimento dell'azione variabile stessa.

Nella definizione delle combinazioni delle azioni che possono agire contemporaneamente, i termini Q_{kj} rappresentano le azioni variabili della combinazione, con Q_{k1} azione variabile dominante e Q_{k2}, Q_{k3}, \dots azioni variabili che possono agire contemporaneamente a quella dominante. Le azioni variabili Q_{kj} vengono combinate con i coefficienti di combinazione ψ_{0j}, ψ_{1j} e ψ_{2j} , i cui valori sono forniti nel § 2.5.3, Tab. 2.5.I, per edifici civili e industriali correnti.

Con riferimento alla durata percentuale relativa ai livelli di intensità dell'azione variabile, si definiscono:

- valore quasi permanente $\psi_{2j} \cdot Q_{kj}$: la media della distribuzione temporale dell'intensità;
- valore frequente $\psi_{1j} \cdot Q_{kj}$: il valore corrispondente al frattile 95% della distribuzione temporale dell'intensità e cioè che è superato per una limitata frazione del periodo di riferimento;
- valore raro (o di combinazione) $\psi_{0j} \cdot Q_{kj}$: il valore di durata breve ma ancora significativa nei riguardi della possibile concomitanza con altre azioni variabili.

Nel caso in cui la caratterizzazione stocastica dell'azione considerata non sia disponibile, si può assumere il valore nominale. Nel seguito sono indicati con pedice k i valori caratteristici; senza pedice k i valori nominali.

3.2.5.3 Combinazioni delle azioni

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} G_1(+) \gamma_{G2} G_2(+) \gamma_P \cdot P(+) \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1}(+) \gamma_{Q2} \psi_{02} \cdot Q_{k2}(+) \dots (+) \gamma_{Qn} \cdot \psi_{0n} \cdot Q_{kn} \quad (2.5.1)$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1(+) G_2(+) P(+) Q_{k1}(+) \psi_{02} \cdot Q_{k2}(+) \dots (+) \cdot \psi_{0n} \cdot Q_{kn} \quad (2.5.2)$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1(+) G_2(+) P(+) \psi_{11} \cdot Q_{k1}(+) \psi_{22} \cdot Q_{k2}(+) \dots (+) \psi_{2n} \cdot Q_{kn} \quad (2.5.3)$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1(+) G_2(+) P(+) \psi_{21} \cdot Q_{k1}(+) \psi_{22} \cdot Q_{k2}(+) \dots (+) \psi_{2n} \cdot Q_{kn} \quad (2.5.4)$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E(+)\text{G}_1(+)\text{G}_2(+)\text{P}(+)\psi_{21} \cdot \text{Q}_{k1}(+)\psi_{22} \cdot \text{Q}_{k2}(+)\dots(+)\psi_{2n} \cdot \text{Q}_{kn} \quad (2.5.5)$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto A_d (v. § 3.6):

$$\text{G}_1(+)\text{G}_2(+)\text{P}(+)\text{A}_d(+)\psi_{21} \cdot \text{Q}_{k1}(+)\psi_{22} \cdot \text{Q}_{k2}(+)\dots(+)\psi_{2n} \cdot \text{Q}_{kn} \quad (2.5.6)$$

Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omissi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2 .

Altre combinazioni sono da considerare in funzione di specifici aspetti (per esempio fatica ecc.).

Nelle formule sopra riportate il simbolo (+) vuol dire “combinato con”.

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_{Gi} e γ_{Qi} sono dati in § 2.6.1, Tab. 2.6.1.

Tabella 2.5.1 Valori dei coefficienti di combinazione.

Categoria/Azione variabile		ϕ_{0j}	ϕ_{1j}	ϕ_{2j}
Categoria A	Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B	Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C	Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D	Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E	Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F	Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G	Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H	Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento		0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)		0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)		0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche		0,6	0,5	0,0

3.2.5.4 Degrado

La struttura deve essere progettata così che il degrado nel corso della sua vita nominale, purché si adotti la normale manutenzione ordinaria, non pregiudichi le sue prestazioni in termini di resistenza, stabilità e funzionalità, portandole al di sotto del livello richiesto dalle presenti norme.

Le misure di protezione contro l'eccessivo degrado devono essere stabilite con riferimento alle previste condizioni ambientali.

La protezione contro l'eccessivo degrado deve essere ottenuta attraverso un'opportuna scelta dei dettagli, dei materiali e delle dimensioni strutturali, con l'eventuale applicazione di sostanze o ricoprimenti protettivi, nonché con l'adozione di altre misure di protezione attiva o passiva.

3.2.6 Azioni nelle verifiche agli stati limite

§ 2.6 NTC08

Le verifiche agli stati limite devono essere eseguite per tutte le più gravose condizioni di carico che possono agire sulla struttura, valutando gli effetti delle combinazioni definite nel § 2.5.3.

3.2.6.1 Stati limite ultimi

Nelle verifiche agli stati limite ultimi si distinguono:

- lo stato limite di equilibrio come corpo rigido: EQU
- lo stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione: STR
- lo stato limite di resistenza del terreno: GEO

La Tabella 2.6.I, e le successive Tabelle 5.1.V e 5.2.V, forniscono i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi, salvo quanto diversamente previsto nei capitoli successivi delle presenti norme.

Per le verifiche nei confronti dello stato limite ultimo di equilibrio come corpo rigido (EQU) si utilizzano i coefficienti parziali γ_F relativi alle azioni riportati nella colonna EQU delle Tabelle sopra citate.

Nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali (STR) e geotecnici (GEO) si possono adottare, in alternativa, due diversi approcci progettuali.

Nell'**Approccio 1** si impiegano due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A), per la resistenza dei materiali (M) e, eventualmente, per la resistenza globale del sistema (R). Nella *Combinazione 1* dell'Approccio 1, per le azioni si impiegano i coefficienti γ_F riportati nella colonna A1 delle Tabelle sopra citate. Nella *Combinazione 2* dell'Approccio 1, si impiegano invece i coefficienti γ_F riportati nella colonna A2.

Nell'**Approccio 2** si impiega un'unica combinazione dei gruppi di coefficienti parziali definiti per le Azioni (A), per la resistenza dei materiali (M) e, eventualmente, per la resistenza globale (R). In tale approccio, per le azioni si impiegano i coefficienti γ_F riportati nella colonna A1.

I coefficienti parziali γ_M per i parametri geotecnici e i coefficienti γ_R che operano direttamente sulla resistenza globale di opere e sistemi geotecnici sono definiti nel successivo Capitolo 6.

Tabella 2.6.I Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU.

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Nella Tab. 2.6.I il significato dei simboli è il seguente:

- γ_{G1} coefficiente parziale del peso proprio della struttura, nonché del peso proprio del terreno e dell'acqua, quando pertinenti;
- γ_{G2} coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili.

Nel caso in cui l'azione sia costituita dalla spinta del terreno, per la scelta dei coefficienti parziali di sicurezza valgono le indicazioni riportate nel Cap. 6.

Il coefficiente parziale della precompressione si assume pari a $\gamma_p = 1,0$.

Altri valori di coefficienti parziali sono riportati nei capitoli successivi con riferimento a particolari azioni specifiche.

3.2.6.2 Stati limite di esercizio

Le verifiche agli stati limite di esercizio riguardano le voci riportate al § 2.2.2.

Nel Cap. 4, per le condizioni non sismiche, e nel Cap. 7, per le condizioni sismiche, sono date specifiche indicazioni sulle verifiche in questione, con riferimento ai diversi materiali strutturali.

3.2.7 Verifiche alle tensioni ammissibili

§ 2.7 NTC08

Relativamente ai metodi di calcolo, è d'obbligo il Metodo agli stati limite di cui al § 2.6.

Per le costruzioni di tipo 1 e 2 e Classe d'uso I e II, limitatamente a siti ricadenti in Zona 4, è ammesso il Metodo di verifica alle tensioni ammissibili. Per tali verifiche si deve fare riferimento alle norme tecniche di cui al D.M. LL. PP. 14.02.92 per le strutture in calcestruzzo e in acciaio, al D.M. LL. PP. 20.11.87 per le strutture in muratura e al D.M. LL. PP. 11.03.88 per le opere e i sistemi geotecnici.

Le norme dette si debbono in tal caso applicare integralmente, salvo per i materiali e i prodotti, le azioni e il collaudo statico, per i quali valgono le prescrizioni riportate nelle presenti norme tecniche.

Le azioni sismiche debbono essere valutate assumendo pari a 5 il grado di sismicità S , quale definito al § B.4 del D.M. LL. PP. 16.01.1996, e assumendo le modalità costruttive e di calcolo di cui al D.M. LL. PP. citato, nonché alla Circ. LL. PP. 10.04.97, n. 65/AA.GG. e relativi allegati.

● **Modelli** (da NTC 2005)

La valutazione degli effetti delle azioni sulle strutture, così come la valutazione delle resistenze dei componenti strutturali e la sicurezza strutturale, possono essere valutate secondo numerose teorie e metodi di calcolo numerico, la cui validità (e la conseguente affidabilità del risultato) è conseguente alla attendibilità delle ipotesi di base della teoria.

Le norme definiscono i livelli di sicurezza e di prestazione con riferimento in genere ad un modello di calcolo. È definito modello di calcolo quel modello matematico che correla azione con effetto dell'azione (es. azione e sollecitazione; azione e tensione; azione e spostamento; azione e schema di collasso; azione e risposta dinamica ecc).

Il Progettista e/o il Committente possono utilizzare modelli di calcolo diversi da quelli indicati nelle presenti norme, purché vengano rispettati i livelli di sicurezza e di prestazioni attese.

Ogni struttura o elemento strutturale richiede la definizione delle variabili di progetto x che caratterizzano le azioni, le proprietà di materiali e terreni, i parametri geometrici.

Queste variabili possono dipendere direttamente o indirettamente dal tempo.

Per ogni stato limite si introduce un modello meccanico che descrive il comportamento della struttura e modelli di natura fisica e/o chimica che descrivono gli effetti dell'ambiente sulle proprietà del materiale. Anche i parametri di questa seconda classe di modelli rientrano nelle variabili di progetto complessive e con essi le costrizioni che caratterizzano gli stati limite di servizio.

Ogni stato limite è descritto da una funzione scalare $g(\mathbf{x})$ delle variabili di progetto, ed è raggiunto quando:

$$g(\mathbf{x}) = 0 \quad [1]$$

La [1] è detta "equazione dello stato limite" considerato.

Gli stati limiti sfavorevoli sono identificati dalla condizione:

$$g(\mathbf{x}) < 0 \quad [2]$$

Quando si studia un elemento strutturale avente uno stato limite dominante sugli altri, può risultare sufficiente considerare una sola equazione del tipo [1]; per un sistema strutturale composto da più elementi bisogna trattare molteplici equazioni di questo tipo.

Azioni ambientali, antropiche e proprietà strutturali possono variare nel tempo, pertanto la funzione $g(\mathbf{x})$ dipende dal tempo. Queste variazioni devono essere considerate selezionando opportune situazioni di progetto, ciascuna rappresentativa di un certo intervallo di tempo cui si associano pericolosità, condizioni e relativi stati limite strutturali. Le situazioni di progetto possono essere persistenti (legate al normale utilizzo ed alla vita utile di progetto), transitorie (legate a condizioni temporanee in termini di uso e esposizione), accidentali (legate a fenomeni ed eventi eccezionali in termini di uso ed esposizione).

Le incertezze indotte da tutte le possibili sorgenti devono essere valutate ed integrate in una descrizione probabilistica delle variabili di progetto. Le incertezze da prendere in conto sono quelle intrinseche (di natura meccanica o fisica), quelle associate al modello adottato, quelle di origine statistica (quando le decisioni di progetto sono basate su un piccolo campione di osservazioni).

I modelli sono semplificazioni, operate dal progettista, che tengono conto dei fattori decisivi e trascurano quelli meno importanti. Il progetto richiede che vengano preliminarmente fissati modelli per le azioni, per la geometria, per i materiali, per la trasformazione delle azioni e della geometria in effetti delle azioni (effetti, \mathbf{E}) e per la trasformazione delle proprietà dei materiali e della geometria in capacità portanti (resistenze, \mathbf{R}).

Il modello di un'azione porta in generale ad una distribuzione spazio-temporale del vettore che la esprime. Sovente si descrive il singolo vettore come funzione di termini indipendenti dalla geometria della struttura e di termini dipendenti dalle proprietà strutturali.

La geometria è spesso considerata mediante valori nominali. Le misure geometriche di una struttura differiscono dai loro valori nominali, mettendo in evidenza la presenza di imperfezioni geometriche. Il Progettista deve individuare i valori ammissibili delle imperfezioni (tolleranze). Quando il comportamento strutturale è sensibile a queste imperfezioni, ovvero quando, in fase costruttiva, le tolleranze ammesse non vengono rispettate, queste imperfezioni devono essere incorporate nella formulazione del modello generale, con conseguente nuova verifica della sicurezza strutturale.

Parimenti, quando la deformazione di una struttura causa importanti deviazioni dai valori nominali delle quantità geometriche e queste deformazioni hanno influenza sul comportamento strutturale, i loro effetti devono essere considerati (effetti del secondo ordine).

I modelli delle proprietà dei materiali (legami costitutivi) possono essere ricavati per via sperimentale, sia con prove triassiali e/o biassiali che, più correntemente, con prove monoassiali; si possono ricavare sperimentalmente anche le leggi temporali che caratterizzano i legami costitutivi dei materiali reologici (viscosità, trasmissione del calore, ecc.).

I procedimenti dell'ingegneria strutturale introducono ipotesi sulla relazione tra tensioni e deformazioni, ovvero tra forze (e momenti) e deformazioni (o velocità di deformazione). Queste ipotesi possono variare e dipendere dallo scopo e dalle modalità di calcolo.

Un modello di calcolo esprime una variabile dipendente y come funzione delle variabili di progetto x : $y = f(\mathbf{x})$. I modelli più convenzionali (elastico, elastico-lineare, elasto-plastico) possono essere ancora utilizzati, avendo chiare le ipotesi che ne garantiscono l'affidabilità. In mancanza di conoscenza o in presenza di deliberate semplificazioni di modello, la differenza tra la predizione del modello e il risultato di una prova sperimentale può essere recuperata ricorrendo alla forma:

$$y = f(\mathbf{x}, \theta) \quad [3]$$

dove θ sono i parametri che contengono le incertezze di modello e sono trattati come variabili aleatorie. Questi parametri vanno a completare il quadro delle variabili di progetto.

Le variabili di progetto possono essere variabili aleatorie (che includono come caso particolare le variabili deterministiche) o processi stocastici o campi aleatori.

● **Valutazione della sicurezza** (da NTC 2005)

Le quantità fisiche riguardanti la resistenza e le azioni sono analizzate in chiave statistica. Ciò significa che la verifica della sicurezza deve essere intesa in senso probabilistico.

Per un qualsiasi stato limite $g_i(\mathbf{x})$, la sicurezza strutturale P_{si} è espressa dalla probabilità che $g_i(\mathbf{x})$ sia maggiore di zero:

$$P_{si} = \text{Prob}[g_i(\mathbf{x}) > 0] \quad [4]$$

La probabilità dell'evento $g_i(\mathbf{x}) > 0$ deve essere sufficientemente alta, ovvero molto prossima a 1. Risulta allora conveniente far riferimento al complemento a 1 della sicurezza P_{si} , che coincide con la probabilità P_{ci} dell'evento sfavorevole $g_i(\mathbf{x}) < 0$ (collasso), che deve essere sufficientemente piccola.

Quando gli aspetti spazio temporali siano adeguatamente discretizzabili così da poter eliminare, nel singolo termine della discretizzazione, la dipendenza dal tempo, l'equazione [4] può essere scritta:

$$P_{si} = \int_{g_i(\mathbf{x}) > 0} p(\mathbf{x}) d\mathbf{x} \quad [5]$$

dove $p(\mathbf{x})$ indica la funzione densità di probabilità congiunta delle variabili di progetto.

Quando sia possibile ricondursi a due sole variabili scalari non negative, la resistenza R e il valore dell'effetto delle azioni E , l'equazione [2], che descrive le situazioni avverse, assume la forma semplificata:

$$R - E < 0 \quad [6]$$

e le equazioni [4] e [5] si scrivono rispettivamente:

$$P_s = \text{Prob}[R - E > 0] \quad [7]$$

$$P_s = \int_{R > E} p(R, E) dR dE \quad [8]$$

Se inoltre la resistenza R e l'effetto delle azioni E sono tra loro indipendenti, si ha $p(R, E) = p_r(R)p_e(E)$ e l'equazione [8] assume la forma:

$$P_s = 1 - P_c = 1 - \int_0^{\infty} p_E(E) \left(\int_0^E p_R(R) dR \right) dE \quad [9]$$

dove p_E e p_R sono le funzioni densità di probabilità rispettivamente dell'effetto dell'azione e della resistenza. Nel caso più generale, solo per un singolo componente della struttura si ha

uno stato limite predominante, mentre la struttura nel suo insieme va riguardata come un sistema composto da molteplici componenti e dunque con molteplici stati limite, di importanza paragonabile.

In generale, la verifica di sicurezza (l'obiettivo) può essere rappresentata dalla relazione:

$$P_c < \underline{P}_c = 10^{-\alpha} \quad [10]$$

dove \underline{P}_c rappresenta il valore accettabile per la probabilità di collasso, e α è la misura della sicurezza. I valori ammissibili di α sono funzione della conseguenza dell'evento sfavorevole; specifiche norme possono precisare anche valori mirati.

La sicurezza strutturale può, in via semplificativa, essere introdotta implicitamente, rappresentando la resistenza e le azioni non attraverso la loro densità di probabilità congiunta, ma mediante i valori caratteristici delle resistenze e delle azioni, definiti rispettivamente come i frattili inferiori delle resistenze e quelli tra i frattili (superiori o inferiori) delle azioni che minimizzano la sicurezza. Normalmente i frattili superiori hanno probabilità del 5% di essere superati, i frattili inferiori probabilità del 5% di non essere superati. In casi di particolare rilievo o pericolosità possono considerarsi frattili al 5‰. Per le grandezze con piccoli coefficienti di variazione, ovvero per grandezze che non riguardino univocamente resistenze o azioni, si possono considerare frattili al 50% (valori mediani).

La misura della sicurezza si ottiene allora, con il "metodo dei coefficienti parziali" di sicurezza espresso dalla equazione formale associate al problema in [9]:

$$R_d \geq E_d$$

con:

$$R_d = f_1[R_{k,i}/(\gamma_{m,i} \cdot \gamma_{R,d}); a_d]$$

$$E_d = f_2[F_{k,i} \gamma_{F,i} \gamma_{E,d}; a_d; \psi_i]$$

dove:

- R_d = resistenza di progetto della struttura, è una funzione dei valori caratteristici $R_{k,i}$ di ciascun materiale (o prodotto), diviso per un coefficiente parziale $\gamma_{m,i}$ (≥ 1) di sicurezza sulla resistenza del materiale (o prodotto), e per un ulteriore coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_{R,d}$ che tiene conto delle incertezze nel modellare la resistenza ($\gamma_{R,d} \geq 1$);
- E_d = effetto delle azioni di progetto, è una funzione del valore caratteristico di ciascuna azione $F_{k,i}$, moltiplicato per un coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_{F,i}$ e per un ulteriore coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_{E,d}$ che tiene conto delle incertezze nel modellare le azioni e i loro effetti ($\gamma_{E,d} \geq 1$). E_d è anche funzione del coefficiente di combinazione per l'azione i -esima ψ_i .

I valori di progetto a_d dei dati geometrici (dimensioni degli elementi) usati per valutare gli effetti delle azioni o le resistenze, sono assunti uguali ai valori nominali a_{nom} incrementati o ridotti (a seconda della condizione più gravosa) di possibili deviazioni Δa .

Per situazioni di calcolo più generali, il modello in equazione [2] sarà costruito su valori di calcolo di resistenza e di azione definiti come l'opportuno frattile, rispettivamente diviso o moltiplicato per il relativo coefficiente parziale di sicurezza.

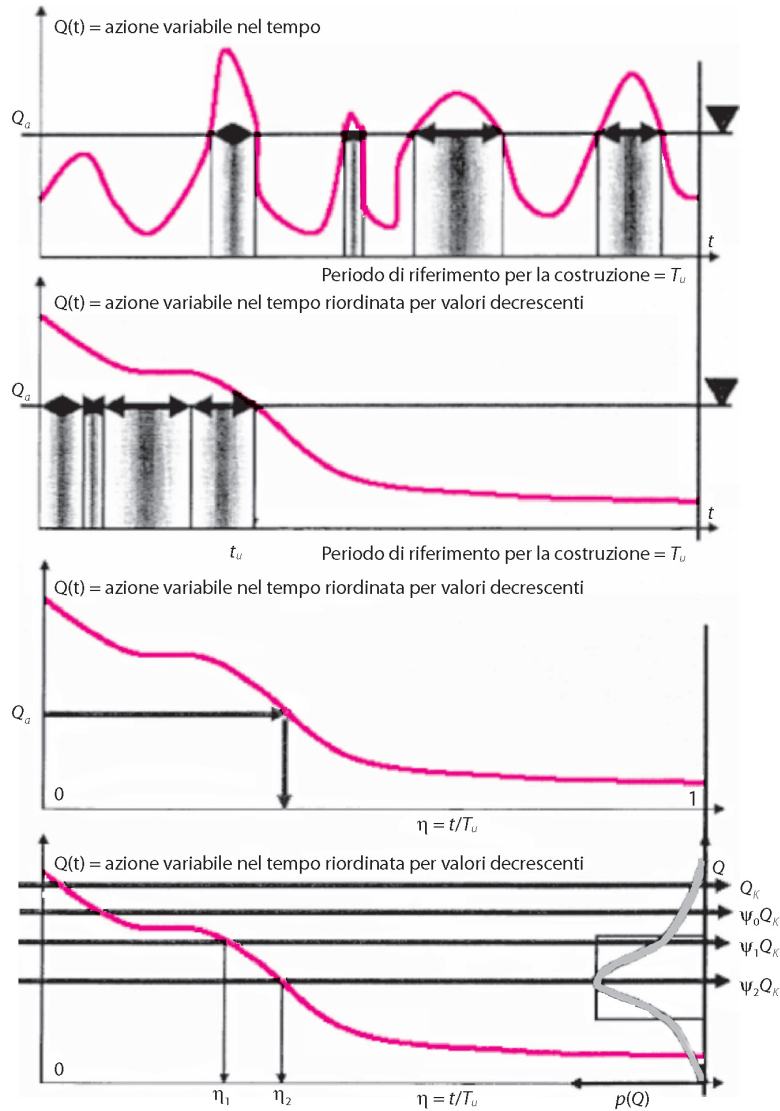
Il significato di resistenza e di azione ed i valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ e dei coefficienti di combinazione ψ , sono definiti dalle norme specifiche sui "materiali e componenti strutturali" e azioni. I valori dei γ definiscono il limite inferiore ammesso per le resistenze e per le azioni che risultano a vantaggio di sicurezza e il limite superiore ammesso per le altre azioni.

Il Committente e il Progettista, di concerto, nel rispetto dei livelli di sicurezza fissati nella presente norma, potranno variare i valori di γ per motivate opportunità o necessità con riferimento ai codici internazionali ovvero letteratura tecnica consolidata.

● **Variabilità dell'azione nel tempo** (da NTC 2005)

Le azioni elementari prodotte dall'ambiente di progetto, antropiche e/o naturali, sono definibili in termini generali come processi stocastici nel tempo e nello spazio.

Individuati una azione variabile nel tempo $Q(t)$ e un periodo di riferimento T_u legato alla vita utile di progetto dell'opera in esame, la Figura 3.1 fornisce una interpretazione grafica.



Il grafico in alto diagramma la storia temporale dell'azione $Q(t)$ su un periodo di riferimento. In esso si seleziona un valore Q_a e si mostrano le situazioni in cui tale valore viene superato. Nel secondo grafico i valori vengono riordinati in ordine decrescente: ne risulta evidenziato l'intervallo di tempo totale t_u in cui il valore Q_a risulta superato. Il terzo grafico è identico al secondo a eccezione del fatto che l'ascissa η riporta il tempo adimensionalizzato sul periodo di riferimento: t_u/T_u rappresenta quindi la frazione di tempo in cui il valore Q_a viene superato. Il grafico in basso riporta sulla destra la funzione densità di probabilità di Q come campionata in T_u . Fissati due valori η_1 e η_2 a essi sono associati due valori dell'ordinata che sono espressi come frazione del valore caratteristico Q_k .

Figura 3.1 Modalità di descrizione di una azione variabile nel tempo.

Per valori del periodo di ritorno $T \gg T_u$, la relazione $T(Q) = T_u(Q)$ (con $1-p(Q)$ a denotare la probabilità che il valore Q non sia superato nell'intervallo $0 < t < T_u$) associa ad ogni valore di Q un valore del periodo di ritorno. Il frattile caratterizzato $p(Q)$ in T_u è allora interpretabile come il valore di periodo di ritorno $T(Q)$.

Essendo ψ_1 e $\psi_2 \leq 1$, i valori frequente e quasi-permanente dell'azione corrispondono a tempi di ritorno inferiori a quello associato al valore caratteristico dell'azione stessa.

● **Combinazioni delle Azioni e Scenari di Contingenza** (da NTC 2005)

Il Progettista, a seguito della classificazione e della caratterizzazione delle azioni, deve individuare le possibili situazioni contingenti in cui le azioni possono cimentare l'opera stessa.

A tal fine, si definiscono:

- *lo scenario*: un insieme organizzato e realistico di situazioni in cui l'opera potrà trovarsi durante la vita utile di progetto;
- *lo scenario di carico*: un insieme organizzato e realistico di azioni che cimentano la struttura;
- *lo scenario di contingenza*: l'identificazione di uno stato plausibile e coerente per l'opera, in cui un insieme di azioni (scenario di carico) è applicato su una configurazione strutturale.

Per ciascuno stato limite considerato devono essere individuati scenari di carico (ovvero insiemi organizzati e coerenti nello spazio e nel tempo di azioni) che rappresentino le combinazioni delle azioni realisticamente possibili e verosimilmente più restrittive.

I modelli usualmente disponibili per le azioni possono essere molto accurati nella caratterizzazione delle azioni elementari, ma raramente esplicitano le correlazioni esistenti tra azioni di natura diversa.

Nella traduzione degli scenari di carico in combinazioni di azioni, si dovrà ricorrere alle situazioni tipiche qui di seguito esposte,³ in cui il simbolo (+) indica che le azioni vanno imposte contemporaneamente sulla struttura a generare l'azione di progetto F_d in base alla quale calcolare gli effetti delle azioni E_d previa l'introduzione del fattore di modello γ_{Ed} .

Le azioni variabili partecipano a turno come dominante, ovvero non affette dal coefficiente di combinazione ψ_0 .

- Stati limite ultimi:

$$E_d = \gamma_{Ed} \cdot f[\gamma_{G1}G_{1k}(+) \gamma_{G2}G_{2k}(+) \dots (+) (\gamma_{Q1}Q_{1k}(+) \gamma_{Q2}\psi_{0,2}Q_{2k}(+) \dots (+) \gamma_{Qn}\psi_{0,n} \cdot Q_{nk}]$$

- Stati limite di esercizio:

– *Combinazione rara*:

$$E_d = \gamma_{Ed} \cdot f[G_{1k}(+) \cdot G_{2k}(+) \dots (+) Q_{1k}(+) \psi_{0,2} \cdot Q_{2k}(+) \dots (+) \psi_{0,n} \cdot Q_{nk}]$$

– *Combinazione frequente*:

$$E_d = \gamma_{Ed} \cdot f[G_{1k}(+) \cdot G_{2k}(+) \dots (+) \psi_{1,1} \cdot Q_{1k}(+) \psi_{2,2} \cdot Q_{2k}(+) \dots (+) \psi_{2,n} \cdot Q_{nk}]$$

– *Combinazione quasi-permanente*:

$$E_d = \gamma_{Ed} \cdot f[G_{1k}(+) \cdot G_{2k}(+) \dots (+) \psi_{2,1} \cdot Q_{1k}(+) \cdot \psi_{2,2} \cdot Q_{2k}(+) \dots (+) \psi_{2,n} \cdot Q_{nk}]$$

³ *Nota dell'autore*: le differenze con le combinazioni riportate (dalle NTC08) nel paragrafo 3.2.3.5 sono solamente formali; naturalmente, ai fini progettuali occorre riferirsi a quelle ufficiali tratte dalle NTC 2008.

In generale, altre formulazioni semplificate riportano coefficienti maggiori per le azioni 'fondamentali' e coefficienti ridotti per le azioni 'concomitanti'.

■ Le formule indicano che l'effetto delle azioni è funzione delle grandezze riportate all'interno delle parentesi quadre [...].

Nelle combinazioni il peso permanente G compare per intero; il sovraccarico Q incide per intero raramente, frequentemente raggiunge una percentuale intorno al 30-40%, mentre quasi permanentemente si raggiunge al massimo il 20%.

La situazione è riassunta nel seguente schema, che considera la presenza di due azioni variabili.

	Azioni di progetto	Azione permanente	Azione di pretensione	1° azione variabile	2° azione variabile	
Combinazione	E_d	G_k	P_k	Q_{1k}	Q_{2k}	Commento
<i>– Stati limite ultimi –</i>						
	n. 1	γ_g	γ_p	$\gamma_q \cdot 1$	$\gamma_q \cdot \psi_{0,2}$	2 combinazioni, prendendo a turno una delle due azioni variabili come dominante
	n. 2	γ_g	γ_p	$\gamma_q \cdot \psi_{0,1}$	$\gamma_q \cdot 1$	
<i>– Stati limite di esercizio –</i>						
rara	n. 1	1	1	$\psi_{0,1}$	$\psi_{0,2}$	1 unica combinazione
frequente	n. 1	1	1	$\psi_{1,2}$	$\psi_{2,2}$	2 combinazioni, prendendo a turno una delle due azioni variabili come dominante
	n. 2	1	1	$\psi_{2,1}$	$\psi_{1,2}$	
quasi permanente	n. 1	1	1	$\psi_{2,1}$	$\psi_{2,2}$	1 unica combinazione

In ogni caso andranno anche verificate le situazioni di solo carico permanente in assenza di ogni altra azione.

● **Verifiche agli Stati Limite Ultimi** (da NTC 2005)

Per l'intera struttura e per ciascuno degli elementi strutturali che la compongono debbono essere controllati, quando rilevanti, i seguenti stati limite ultimi:

- perdita di equilibrio statico;
- eccessiva sollecitazione/deformazione di sezioni, membrature e dell'intera struttura, tenuto conto del decadimento delle caratteristiche meccanico-fisiche dei materiali per effetto di fatica, corrosione e degrado;
- eccessiva sollecitazione/deformazione del terreno.

Le verifiche di sicurezza agli stati limite di tipo b) e c) sono condotte accertandosi che i valori di progetto E_d degli effetti delle azioni siano minori (o eguali) dei valori di progetto R_d degli effetti delle resistenze: $E_d \leq R_d$.

■ *E indica l'effetto indotto dalle azioni e R indica il livello resistente; il pedice si riferisce al valore di progetto $d = \text{"design"}$.*

Tali verifiche possono essere attuate con il "metodo dei coefficienti parziali" di sicurezza sulle azioni e sulle resistenze accennato precedentemente nel paragrafo "Valutazione della sicurezza".

In presenza di fenomeni di fatica si farà ricorso alle relative basi teoriche e soprattutto alla validazione sperimentale.

Le verifiche di sicurezza agli stati limite di tipo a) sono condotte accertandosi che i valori di progetto E_d degli effetti delle azioni agenti, siano minori o eguali dei valori di progetto R_d degli effetti delle azioni stabilizzanti e/o resistenti: $E_d \leq R_d$.

La scelta dei valori delle azioni variabili Q da impiegare nelle combinazioni di carico utilizzate per le verifiche agli SLU avviene sulla base della situazione di progetto considerata. In particolare:

- nelle situazioni di progetto persistenti o transitorie, per tutte le azioni variabili si utilizza il valore di combinazione $\psi_{0,i} Q_{k,i}$.
- nelle situazioni di progetto che vedono dominante l'azione sismica, per tutte le altre azioni variabili si utilizza il valore quasi permanente $\psi_{2,i} Q_{k,i}$.

Le azioni sono classificate, con riferimento alla loro variabilità spaziale, in fisse o mobili; il Progettista deve individuare le posizioni verosimili delle azioni mobili che provocano il maggior cimento statico degli elementi strutturali.

Nel caso di azioni di massa dovute ad eccitazione dinamica, le masse vanno identificate con il loro valore medio, il moltiplicatore dell'azione è quello relativo alle masse permanenti considerate.

Nel dimensionamento delle opere di fondazione e nelle verifiche di resistenza del terreno, le azioni sono quelle trasmesse dalle opere in elevato, affette dai rispettivi γ_F , mentre i parametri geotecnici caratteristici (angolo di attrito, coesione ecc.) sono trasformati in valori di calcolo mediante i coefficienti parziali riduttivi γ_m .

Quando l'azione è dovuta al terreno i parametri geotecnici caratteristici sono trasformati in valori di calcolo mediante i coefficienti amplificativi γ_F .