

4. AZIONI ECCEZIONALI

OGGETTO

Le azioni eccezionali, in combinazione con quelle permanenti e con quelle variabili che verosimilmente agiscono durante l'evento, devono essere prese in conto, quando richiesto, e il loro effetto verificato per determinare la robustezza del comportamento strutturale.

Per l'analisi strutturale si considererà la seguente combinazione eccezionale di azioni:

$$G_{1k} + G_{2k} + P + A_d + \psi_{21}Q_1 + \psi_{22}Q_2 + \dots$$

Dove A_d è il valore di calcolo dell'azione eccezionale.

Quando non si effettuano verifiche specifiche nei confronti delle azioni eccezionali quali, esplosioni, urti, ecc., la concezione strutturale, i dettagli costruttivi ed i materiali usati dovranno essere tali da evitare che la struttura possa essere danneggiata in misura sproporzionata rispetto alla causa.

4.1. INCENDIO

<i>Da definire</i>

4.2. ESPLOSIONI

4.2.1. GENERALITÀ

L'esplosione è una azione eccezionale, nei confronti della quale il progettista deve rispettare i seguenti principi generali:

- adottare la procedura dell'analisi di rischio per identificare gli eventi estremi, le cause e le conseguenze di eventi indesiderati;
- descrivere nel progetto e tenerne conto nel piano di manutenzione delle opere di tutte le precauzioni di sicurezza e le misure protettive richieste per ridurre la probabilità o le conseguenze di situazioni eccezionali.

Generalmente nel progetto non sono richieste le verifiche per azioni derivanti da esplosioni esterne, azioni belliche e sabotaggio, salvo che ciò non risulti indispensabile per particolari costruzioni e scenari di progetto. Non sono presi in considerazione eventi incidentali non suscettibili di causare un danno strutturale.

4.2.2. DEFINIZIONI

Esplosione: Rapida reazione chimica esotermica di polveri o gas in aria. Essa provoca alte temperature e sovrappressioni.

Le pressioni di esplosione si propagano come onde di pressione.

La pressione generata da un'esplosione interna dipende principalmente dal tipo di polvere o gas, dalla percentuale di polvere o gas nell'aria e dall'uniformità del gas o di miscela di aria e polvere, dalla dimensione e dalla forma dell'ambiente chiuso ove l'esplosione avviene e dalla quantità di sfogo o di rilascio di pressione che può essere disponibile.

Deflagrazione: Esplosione nella quale il fronte di fiamma viaggia attraverso la miscela a velocità subsonica, dell'ordine di 100 m/s. Le onde di pressione viaggiano alla velocità locale di propagazione del suono. I picchi di pressione possono avere valori da 10 kN/m² a 1.500 kN/m².

Detonazione: Esplosione nella quale l'onda d'urto di pressione si propaga a velocità supersonica, generalmente maggiore di 1.000 m/s. Un valore tipico di pressione è 2.000 kN/m² con durata del picco molto breve generalmente inferiore a 10 ms.

Elemento chiave: Un elemento della struttura, essenziale per la stabilità globale della struttura, il cui danneggiamento causa il collasso della struttura e/o danni non proporzionati alla causa scatenante.

4.2.3. PROGETTO PER SITUAZIONI ECCEZIONALI

Non è richiesto che una struttura possa resistere a tutte le azioni che possono derivare da una causa eccezionale, ma deve esistere una ragionevole probabilità che essa non venga danneggiata in maniera sproporzionata alle cause di origine.

Sono considerati accettabili i danneggiamenti localizzati, anche gravi, dovuti ad esplosioni, a condizione che ciò non esponga al pericolo l'intera struttura o che la capacità portante sia mantenuta per un tempo sufficiente affinché siano prese le necessarie misure di emergenza, come per esempio l'evacuazione dell'edificio e del suo circondario.

Nei confronti delle esplosioni, possono essere adottate diverse misure di protezione come:

- attutire le sovrappressioni attraverso l'adozione di superfici di facile cedimento con pressioni di sfogo definite e separando porzioni di edificio a rischio di esplosione da altre;
- difendere la struttura dagli effetti dell'azione con specifici elementi costruttivi protettivi;
- progettare la struttura in modo tale che non si verifichino crolli significativi se ha luogo un cedimento locale (di un elemento esposto alle azioni eccezionali);
- progettare con particolare attenzione gli elementi chiave;
- curare in modo opportuno i particolari costruttivi degli elementi strutturali esposti alle azioni eccezionali;
- applicare il principio della gerarchia delle resistenze, accettando il cedimento (opportunamente calibrato) di elementi secondari per evitare danni al sistema strutturale principale o per ridurre gli effetti delle esplosioni (superfici di facile cedimento);

4.2.4. CLASSIFICAZIONE DELLE AZIONI

Le azioni eccezionali di progetto con riguardo alle esplosioni possono essere classificate come segue:

- Categoria 1 se sono attese *conseguenze negative* limitate;
- Categoria 2 se sono attese *conseguenze negative* di entità media;
- Categoria 3 se sono attese *conseguenze negative* di entità grave.

Le verifiche richieste in ciascun caso risultano:

- Categoria 1: non occorrono specifiche verifiche per le situazioni eccezionali;
- Categoria 2: in dipendenza dalle caratteristiche specifiche della costruzione si può adottare un'analisi semplificata per mezzo di modelli di azioni statiche equivalenti o applicare idonee regole di progetto per i dettagli costruttivi;
- Categoria 3: devono essere effettuati studi approfonditi sia per le azioni che per il modello strutturale, eventualmente usando analisi dinamiche, modelli non lineari ed interazione azione-struttura, se considerati necessari.

4.2.5. ESPLOSIONI DI CATEGORIA 2

Nella *Categoria 2*, ove negli ambienti a rischio di esplosione siano presenti idonei pannelli di sfogo, è consentito limitare l'analisi e le verifiche ai soli elementi chiave della costruzione, utilizzando modelli di carico statico equivalente che deve essere valutato usando procedure e metodi di calcolo di riconosciuta affidabilità.

Gli elementi chiave di una costruzione devono essere progettati per sopportare gli effetti di un'esplosione interna di gas naturale usando una pressione statica equivalente nominale, espressa in kN/m^2 , data dal maggiore fra:

$$p_d = 3 + p_v$$

o

$$p_d = 3 + p_v/2 + 0,04 / (A_v/V)^2$$

dove:

p_v è la pressione statica uniformemente distribuita in corrispondenza della quale le componenti di sfogo cedono in (kN/m^2);

A_v è l'area delle componenti di sfogo, in m^2 ;

V è il volume dell'ambiente in m^3 .

Il rapporto fra l'area dei componenti di sfogo e il volume da proteggere deve soddisfare la relazione:

$$0,05 (\text{m}^{-1}) \leq A_v/V \leq 0,15 (\text{m}^{-1})$$

Le espressioni sono valide in ambienti o zone di edifici fino ad un volume totale di 1.000 m^3 .

La pressione di esplosione agisce simultaneamente su tutte le pareti dell'ambiente o del gruppo di ambienti.

Comunque, tutti gli elementi chiave e le loro connessioni devono essere progettati per sopportare una pressione statica equivalente eccezionale con valore di progetto $p_d = 20 \text{ kN/m}^2$, applicata da ogni direzione, insieme con la reazione che ci si attende venga trasmessa direttamente alle membrature dell'elemento chiave da ogni elemento costruttivo, ad esso collegato, altresì soggetto alla stessa pressione.

4.2.6. ESPLOSIONI DI CATEGORIA 3

Nella *Categoria 3* devono essere effettuati studi approfonditi sia per le azioni che per il modello strutturale, eventualmente usando analisi dinamiche, modelli non lineari ed interazione carico-struttura, se considerati necessari.

Nei casi ordinari, l'analisi può essere estesa ai soli elementi chiave della costruzione. Ove riconosciuto necessario dall'analisi dello scenario, l'analisi dovrà essere estesa a tutta la struttura o ad una parte significativa di essa.

In ogni caso, si dovranno usare procedure e metodi di calcolo di riconosciuta affidabilità.

Il progetto avanzato per le esplosioni può includere uno o più dei seguenti aspetti:

- calcoli delle pressioni di esplosione, includenti gli effetti di confinamento e di rottura dei pannelli;
- calcoli strutturali dinamici non lineari;
- aspetti probabilistici e analisi delle conseguenze;
- ottimizzazione economica delle misure di mitigazione del rischio.

Nella valutazione delle pressioni di esplosione si deve tenere conto della natura e proprietà dei gas e polveri combustibili che possono essere presenti nell'ambiente. Nei casi ordinari, il calcolo deve essere riferito al gas propano, a meno che la probabilità della presenza di tale gas nell'ambiente non sia ragionevolmente trascurabile.

Le gallerie stradali e ferroviarie ricadono generalmente in Categoria 3. La verifica deve garantire che la massima azione ragionevolmente prevedibile non provochi conseguenze inaccettabili alla infrastruttura o alle strutture presenti al disopra di essa.

4.3. URTI

4.3.1. GENERALITÀ

Generalmente nel progetto non sono richieste le verifiche per azioni derivanti da urti, salvo quando sia esplicitamente richiesto.

Le azioni eccezionali dovute a fenomeni naturali, come la caduta di rocce, le frane o le valanghe, dovranno essere prese in esame per particolari scenari di progetto.

Come nel caso delle esplosioni, anche per gli urti si fa riferimento a tre categorie:

- Categoria 1 se sono attese *conseguenze negative* limitate;
- Categoria 2 se sono attese *conseguenze negative* di entità media;
- Categoria 3 se sono attese *conseguenze negative* di entità grave.

4.3.2. CAMPO DI APPLICAZIONE

Le azioni dovute agli urti devono essere applicate a quegli elementi strutturali, o ai loro sistemi di protezione, per i quali le conseguenze del cedimento appartengono alle categorie 2 e 3.

Nel seguito vengono definite le azioni dovute a:

- collisioni da veicoli;
- collisioni da treni;
- collisioni da imbarcazioni;
- collisioni da aeromobili.

Le tipiche costruzioni da considerare sono le autorimesse, gli edifici nei quali possono circolare veicoli, i magazzini nei quali vengono condotti carrelli elevatori, i manufatti posizionati in prossimità di traffico sia automobilistico sia ferroviario.

Per i ponti, le azioni d'urto da considerare dipendono dal tipo di traffico sopra e sotto il ponte.

Per le costruzioni ordinarie non si tiene conto del possibile urto di aeromobili contro i prospetti o le coperture. Tale verifica può essere richiesta dal capitolato per particolari costruzioni (grattacieli, impianti nucleari, etc.) in base ad un'analisi di rischio condotta tenendo conto dei verosimili scenari incidentali.

Per quelle costruzioni ove sia prevista una piattaforma di atterraggio in copertura, devono essere considerate le azioni dovute all'impatto di un elicottero in emergenza.

4.3.3. RAPPRESENTAZIONE DELLE AZIONI

Quando si definiscono le proprietà materiali del corpo collidente e della struttura, si devono usare gli appropriati valori caratteristici superiori o inferiori; inoltre, devono essere presi in considerazione, se opportuno, gli effetti della velocità di deformazione.

Le azioni da urto devono essere considerate come azioni libere. Le aree dove avvengono i fenomeni di impatto devono essere individuate dal progetto a seconda della causa.

Nel progetto strutturale, per le situazioni di categoria 2, le azioni da urto possono essere rappresentate come un carico statico equivalente che dà effetti equivalenti sulla struttura. Questo modello può essere usato sia per la verifica dell'equilibrio statico degli elementi strutturali sia per le verifiche di resistenza.

Per strutture progettate per assorbire l'energia dell'urto con deformazioni elasto-plastiche delle membrature, il carico statico equivalente deve essere determinato considerando sia la resistenza plastica sia la capacità di deformazione di tali membrature.

Nel progetto strutturale, per situazioni di categoria 3, le azioni da urto e la risposta strutturale dovranno essere oggetto di analisi più avanzate, eventualmente usando analisi dinamiche, modelli non lineari e di interazione carico-struttura, se considerati necessari.

Nei casi ordinari, l'analisi può essere estesa ai soli elementi chiave della costruzione. Ove riconosciuto necessario dallo studio dello scenario, l'analisi dovrà essere estesa a tutta la struttura o ad una parte significativa di essa. In ogni caso, si dovranno usare procedure e metodi di calcolo di riconosciuta affidabilità.

4.3.4. URTI DA TRAFFICO VEICOLARE

4.3.4.1. Traffico veicolare sotto ponti o altre strutture

In caso di urto violento, i valori di progetto per le forze orizzontali da urto sugli elementi strutturali verticali (per esempio colonne, pareti) dovranno essere valutate tenendo conto del tipo di strada (autostrada, strada extraurbana, strada urbana, piazzali di parcheggio), della velocità di progetto e del tipo di veicolo (generalmente autocarri). Nelle autorimesse si prenderanno in esame i veicoli di maggior massa che possono essere presenti.

Le azioni da urto hanno direzione parallela a quella del moto del veicolo al momento dell'impatto. Per semplicità, nelle verifiche potranno essere considerate, non simultaneamente, due azioni nelle direzioni parallela (A_{dx}) e ortogonale (A_{dy}) alla direzione di marcia normale.

Può essere assunto generalmente: $A_{d,y}$ pari al 50% di $A_{d,x}$

In assenza di determinazioni più accurate e trascurando la capacità dissipativa della struttura, le forze statiche equivalenti possono essere del tipo mostrato in tabella:

TIPO DI STRADA	TIPO DI VEICOLO	FORZA $A_{d,x}$ (kN)
Autostrada	Autocarri	1000
Area urbana	Autocarri	500
Cortili	Auto passeggeri	50
	Autocarri	150
Autorimesse	Auto passeggeri	40

Per urti di automobili su membrature verticali, la forza risultante di collisione A deve essere applicata sulla struttura 0,5 m al di sopra della superficie di marcia. L'area di applicazione della forza è pari a 0,25 m (altezza) per il valore più piccolo tra 1,50 m (larghezza) e la larghezza della membratura.

Per urti di autocarri sulle membrature verticali, la forza risultante di collisione A deve essere applicata sulla struttura 1,25 m al di sopra della superficie di marcia. L'area di applicazione della forza è pari a 0,5 m (altezza) per il valore più piccolo tra 1,50 m (larghezza) e la larghezza della membratura.

Devono essere considerati i carichi da impatto di autocarri sugli elementi strutturali orizzontali posti al di sopra delle linee di traffico (ponti, sottovia, etc.) qualora non siano state previste adeguate misure di prevenzione e/o protezione per impedire l'impatto o comunque qualora esso sia ragionevolmente prevedibile.

Nel caso di urti di autocarri su elementi strutturali orizzontali al di sopra delle linee di traffico, la forza risultante di collisione A da utilizzare per le verifiche dell'equilibrio statico o della resistenza o della capacità di deformazione degli elementi strutturali è data da:

- per gli urti sulle superfici verticali (prospetto dell'elemento strutturale), i carichi di progetto A sono uguali a $A_{d,x}$ moltiplicato per il fattore r (pari a 0,5 per altezze del sottovia fino a 5 m e decrescente linearmente da 0,5 a 0 per altezze comprese fra 5 e 6 m);
- sull'intradosso dell'elemento strutturale si devono considerare gli stessi carichi da urto A di cui sopra con un'inclinazione verso l'alto di 10° .

L'area di applicazione della forza è assunta pari a 0,25 m (altezza) per 0,25 m (larghezza).

Nelle costruzioni dove sono presenti con regolarità veicoli con forcelle di carico ("muletti"), si può considerare equivalente agli urti accidentali un'azione orizzontale statica equivalente, applicata ad un'altezza di 0,75 m dal piano di calpestio, pari a

$$F = 5 W$$

essendo W il peso del muletto caricato.

4.3.4.2. Traffico veicolare sopra i ponti

Nel progetto strutturale si può tener conto delle forze causate da collisioni accidentali sulle barriere di sicurezza attraverso una forza orizzontale equivalente di collisione di 100 kN. Essa è trasferita da un veicolo all'impalcato di un ponte per mezzo delle barriere di sicurezza rigide e deve essere applicata agente trasversalmente ed orizzontalmente 100 mm sotto la sommità della barriera o 1,0 m sopra il livello del piano di marcia, a seconda di quale valore sia più piccolo.

Questa forza deve essere applicata su una linea lunga 0,5 m.

4.3.5. URTI DA TRAFFICO FERROVIARIO

All'occorrenza di un deragliamento può verificarsi il rischio di collisione fra i veicoli deragliati e le strutture adiacenti la ferrovia. Pertanto gli elementi verticali di sostegno dovranno essere progettati in modo da resistere all'azione delle seguenti forze statiche:

- 2000 kN in direzione parallela alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;
- 750 kN in direzione perpendicolare alla direzione di marcia dei convogli ferroviari

Queste forze dovranno essere applicate a 1.80 m dal piano del ferro e non dovranno essere considerate agenti simultaneamente.

Ulteriori prescrizioni riguardanti le geometrie delle strutture di sostegno del ponte sono indicate al paragrafo 6.3.1.2.3

4.3.6. URTI DI IMBARCAZIONI

Le caratteristiche da considerare per gli urti di imbarcazioni contro costruzioni o elementi strutturali dipendono dal tipo di via d'acqua, dal tipo di imbarcazione e dal suo comportamento all'impatto, dal tipo di struttura e dalle sue caratteristiche di dissipazione dell'energia.

In assenza di determinazioni più accurate e trascurando la capacità dissipativa della struttura, le forze statiche equivalenti possono essere del tipo mostrato in tabella:

CLASSE IMBARCAZIONE	LUNGHEZZA (m)	MASSA (t)	FORZA A_d (kN)
Piccola	50	3.000	15.000
Media	100	10.000	25.000
Grande	200	40.000	40.000
Molto grande	300	100.000	80.000

I carichi forniti corrispondono ad una velocità pari a circa 2,0 m/s

In funzione dello scenario di progetto adottato, dovranno essere considerati i possibili impatti di prua, di fiancata e di poppa. Se una parete strutturale è colpita ad un angolo α , si devono considerare le seguenti forze:

- perpendicolari alla parete $A_{d,y} = A_d \sin \alpha$

- nella direzione della parete $A_{d,x} = f A_d \sin \alpha$

A_d è la forza di collisione per $\alpha = 90^\circ$;

f è il coefficiente di attrito, che generalmente può essere assunto pari a 0,4.

Nei porti le forze di collisione possono essere ridotte del 50 %.

Il punto di impatto dipende dalla geometria della struttura e dalle dimensioni dell'imbarcazione.

Come linea guida, il punto di impatto più sfavorevole può essere preso fra 0,05 L sotto e 0,05 L sopra il livello di progetto dell'acqua. L'area di impatto è di 0,05 L in altezza per 0,1 L in estensione, a meno che l'elemento strutturale non sia più piccolo (L è la lunghezza della imbarcazione).

In alcune condizioni, potrebbe essere necessario considerare la possibilità che l'imbarcazione sia sollevata da un piedritto o da un blocco di fondazione e collida con colonne alla sommità delle stesse.

4.3.7. URTI DI ELICOTTERI

Se in progetto è previsto il possibile atterraggio di elicotteri sulla copertura della costruzione, si deve considerare una azione accidentale per gli atterraggi di emergenza.

La forza statica equivalente di progetto è uguale a

$$A_d = A \sqrt{m}$$

dove:

$$A = 100 \text{ kN ton}^{-0,5};$$

m è la massa, in tonnellate, dell'aeromobile.

Si deve considerare che le azioni dell'urto possono agire su ogni parte dell'area di atterraggio come anche sulla struttura del tetto ad almeno una distanza di 7 m dai limiti dell'area di atterraggio. L'area di impatto può essere presa pari a $2 \times 2 \text{ m}^2$.