NUOVE PROSPETTIVE NELL'AMBITO DELLA GESTIONE DEL RISCHIO "ESPLOSIONE"

A. Fidelibus, U. Riccobono, A. Robotto**, C. Dibitonto**, M. Demichela****

SHIBE Shield Bunkering Engineering, Via Assuncion 1, 10134 Torino, info@shibe.it

*Ispettorato Regionale per il Piemonte, Corpo Nazionale Vigili del Fuoco, Str. Del Barocchio 71/73, 10095 Grugliasco (TO)

**ARPA Piemonte, Unità Operativa Autonoma di Coordinamento Rischio Tecnologico, via Principessa Clotilde 1, 10144 Torino, ucrt@arpa.piemonte.it

***Dip. Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica,Politecnico di Torino,Corso Duca Abruzzi 24,10129 Torino

SOMMARIO

Applicazioni innovative di comuni tecnologie costruttive hanno recentemente aperto la strada a nuove prospettive nell'ambito della gestione del rischio "esplosione".

Infatti, grazie ad un'analisi specialistica condotta su manufatti che risultano esposti al rischio di onde d'urto generate da esplosioni, è possibile progettare interventi di mitigazione degli effetti derivanti da sovrappressioni, decidendo a priori il danneggiamento accettabile per la struttura ed il livello delle condizioni ambientali interne che si vogliono mantenere durante l'emergenza.

1. PREMESSA

La verifica della resistenza di un manufatto a fronte di onde bariche rappresenta un tipo di analisi che coinvolge varie discipline scientifiche: dalla termodinamica alla fluidodinamica, dalla scienza delle costruzioni, alla scienza dei materiali.

Come noto, l'effetto barico deriva da una reazione chimica più o meno rapida che causa un rilascio di energia in tempi molto brevi, così da provocare un innalzamento della temperatura e quindi della pressione nell'area circostante. Questo innalzamento della pressione si diffonde a mezzo di cicli di compressione e depressione di "strati" di aria contigui, assunti convenzionalmente di forma semisferica, che si propagano in direzione radiale rispetto al punto di esplosione a velocità confrontabili con quella del suono è la cosiddetta onda d'urto.

Quando l'onda d'urto incontra un ostacolo, si crea un'interazione fluidodinamica che ne altera la propagazione. Tale alterazione dipende anche dalla rigidezza dell'ostacolo in rapporto all'entità della sovrapressione: esplosioni caratterizzate da una durata della fase positiva lunga rispetto al tempo di oscillazione del manufatto sono più dannose di onde di pari sovrapressione, ma con durata della fase positiva più ridotta.

Inoltre, a parità di altre condizioni, le caratteristiche geometriche del fenomeno incidono sulla resistenza del manufatto: forme arrotondate o inclinate rispetto alla direzione di propagazione dell'onda d'urto offrono una resistenza minore.

2. PROTEZIONE DA ONDE D'URTO

Un'approfondita analisi condotta sui manufatti, che potrebbero essere esposti al rischio di onde d'urto generate da esplosioni, consente di progettare interventi di mitigazione di eventuali effetti derivanti da sovrappressioni, decidendo a priori il grado di danneggiamento accettabile per la struttura ed il livello delle condizioni ambientali interne che si vogliono mantenere durante l'emergenza.

L'idea alla base di questo tipo di progettazione (shield bunkering) consiste nel creare uno scudo esterno connesso agli edifici da proteggere in modo tale da renderli resistenti all'onda d'urto generata dall'esplosione, nonché all'irraggiamento derivante da un eventuale incendio esterno. L'ambiente interno, protetto dall'impatto ed isolato termicamente, viene suddiviso in compartimenti dove sono garantite condizioni ambientali individuate in funzione della strategia di protezione prescelta.

A tale proposito, a titolo esemplificativo, si possono ipotizzare tre tipologie di compartimento.

La prima è quella destinata ad accogliere il personale durante l'emergenza: in questa zona i serramenti devono garantire la tenuta e sono previste anche dotazioni impiantistiche che provvedono ad erogare aria respirabile, forza motrice, acqua ed altri eventuali servizi.

La seconda tipologia è rappresentata da zone in cui non è prevista la presenza di personale né di impianti e/o attrezzature da proteggere. In tale zona si potrà accettare non solo che l'ambiente non sia tale da garantire la sopravvivenza, ma anche l'eventuale proiezione di schegge o di oggetti contundenti (ad esempio serramenti divelti). Dovrà comunque essere garantita la tenuta delle strutture portanti per evitare il rischio di cedimenti strutturali.

La terza tipologia rappresenta quei locali in cui non si rende necessario disporre di un ambiente idoneo alla salvaguardia degli operatori, ma che devono essere protetti dall'onda d'urto per le loro caratteristiche intrinseche al fine di scongiurare possibili effetti domino: è il caso, ad esempio, dei depositi di sostanze tossiche.

Si possono inoltre ipotizzare ulteriori tipologie di compartimento, che vanno in generale definite in relazione alla specifica situazione in esame e correlate direttamente con l'analisi di rischio.

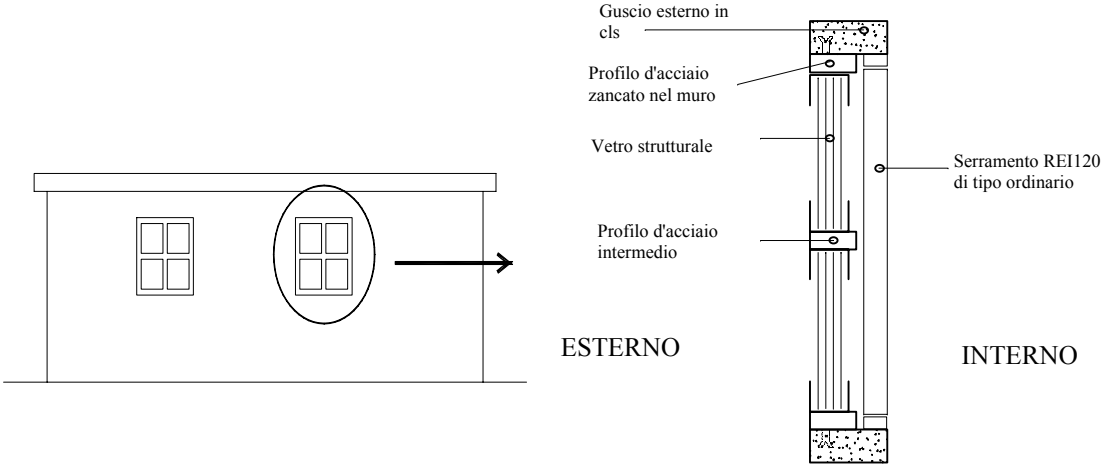

Fig. 1: Dettaglio tipologico dei serramenti in esecuzione blindata, associata a scudo esterno in cemento armato

Dall'analisi di vari casi sia dal punto di vista teorico, sia riscontrando in sito i danneggiamenti verificatisi a seguito di esplosioni reali, è emerso che i punti critici dei manufatti sono i componenti non strutturali. Spesso, infatti, le strutture portanti restano integre mentre serramenti e muri di tamponamento negli edifici, tubazioni nei pipe-rack ecc., non essendo specificamente progettate per resistere all'impatto dell'onda d'urto, non possiedono requisiti strutturali adeguati. Al contrario, ove sussista pericolo di esplosione, la sicurezza può essere garantita solo se anche i componenti edilizi secondari hanno resistenze meccaniche adeguate. Il grado di sicurezza, peraltro, può essere appurato solo con una specifica analisi strutturale. A tale proposito vale la pena tenere presenti i seguenti aspetti:

- le verifiche strutturali cui è bene assoggettare gli elementi edilizi esposti al rischio di esplosione devono tener conto (in maniera più o meno semplificata) degli effetti dinamici che si manifestano nell'interazione con l'onda d'urto;
- in alcuni casi è opportuno tener presente che sottovento può aversi la formazione di una depressione; le resistenze meccaniche dei materiali per azioni di questa natura possono essere incrementate anche fino al 30 ÷ 40% per certi materiali in certe condizioni di impiego;
- l'impatto dell'onda d'urto può determinare sulla faccia interna della parete la formazione di schegge che creano situazioni di pericolo indirette.

2.1 Soluzioni tecniche innovative

I progressi scientifici del settore, pur con le indeterminazioni proprie del fenomeno, consentono di delineare alcune strategie di protezione che, qualora applicate e periodicamente verificate, possono portare a definire metodi sempre più efficaci per mitigare i danni causati da esplosione.

Un principio che assume validità generale è che nella strategia di protezione da onde bariche sono da preferire le strutture deformabili rispetto a quelle rigide; dal punto di vista fisico, infatti, la pressione applicata su una superficie genera una forza risultante che può essere dissipata consentendo lo spostamento del punto di applicazione. Il concetto, peraltro, è comunemente accettato ed adottato nel campo della sicurezza passiva automobilistica, dove l'abitacolo rigido è protetto da parti esterne molto deformabili.

Per poter attuare iniziative efficaci ed economicamente sostenibili è opportuno procedere dalla classificazione delle esplosioni sulla base dell'entità della sovrapressione generata.

Per *sovrapressioni basse (fino a 0,3 bar)* la mitigazione degli effetti può essere ottenuta con interventi di entità relativamente modesta. Storicamente la bunkerizzazione delle sale controllo è stata ottenuta con spessi muri di cemento armato eretti attorno all'edificio, occludendone tutte le aperture. Questo tipo di intervento può essere attuato dove esistono spazi sufficientemente ampi per poter manovrare i macchinari e consentire al personale delle imprese esecutrici di operare in sicurezza; inoltre è indispensabile disporre di ragguardevoli spessori (anche fino a 40 cm.) che saranno occupati dalla parete piena in calcestruzzo.

I limiti di questo intervento, che trova la sua giustificazione nei costi bassi e nella semplicità di esecuzione, possono essere superati con altre tecnologie costruttive che, pur se a costi superiori, consentono di adeguare strutture esistenti anche in condizioni proibitive per la tecnologia della bunkerizzazione in cemento armato , solitamente adottata in caso di nuove costruzioni.

Nel caso di edifici già esistenti, si è introdotto l'uso di bunkerizzare edifici con l'acciaio. Questo materiale, oltre ad avere una resistenza decisamente elevata, offre grandi risorse di duttilità. Lamiere di acciaio di alcuni millimetri di spessore, adeguatamente progettate, consentono infatti di raggiungere lo stesso livello di protezione offerto da pareti di calcestruzzo molto più spesse.

Se si confrontano le resistenze e l'energia che può essere assorbita da tre pannelli della stessa larghezza e dello stesso spessore, uno in calcestruzzo debolmente armato, uno in calcestruzzo fortemente armato e l'altro in acciaio, risulta evidente come nella progettazione degli interventi di bunkerizzazione sia estremamente vantaggioso sfruttare le caratteristiche di duttilità dei materiali, poiché così facendo si riesce ad assorbire una quantità di energia superiore di alcune volte a quella che può essere assorbita in campo elastico.

L'obiettivo progettuale di un intervento di bunkerizzazione, in sintesi, dovrebbe essere non tanto quello di elevare la resistenza meccanica, quanto, piuttosto, quello di rendere la struttura capace di assorbire energia (con grandi deformazioni o, meglio ancora, con sistemi dissipativi) e parallelamente di ridurre l'impatto stesso modificando, ove possibile, la forma della superficie esposta all'esplosione: superfici tondeggianti o inclinate, infatti, comportano solitamente una minore criticità rispetto a superfici di pari area, ma piane e perpendicolari alla direzione di avanzamento dell'onda d'urto, in quanto manifestano una resistenza aerodinamica inferiore.

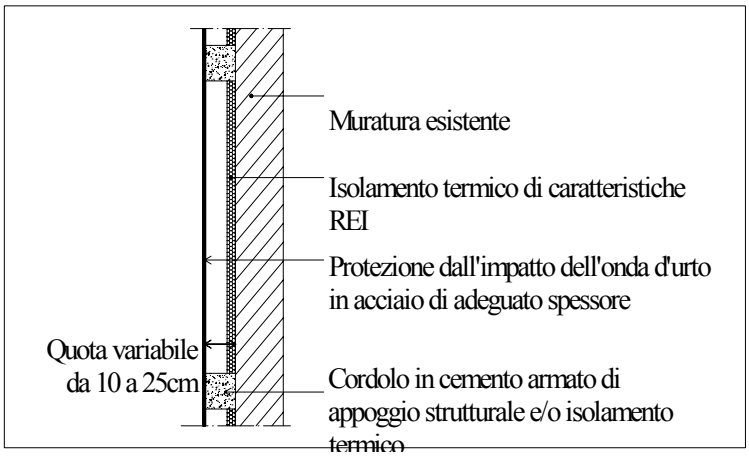

Fig. 2: Dettaglio tipologico del guscio esterno in acciaio

Riassumendo, i vantaggi evidenti dell'impiego dell'acciaio vengono riportati nel seguito:

- per livelli di sovrapressione bassi (fino a 0,3 bar) pochi millimetri di spessore sono sufficienti a resistere all'impatto dell'onda d'urto;
- la necessità di lasciare la parete d'acciaio (scudo) distanziata da quella dell'edificio consente di intervenire con modeste modifiche agli impianti fissati su tale parete;
- la parete può essere realizzata assemblando pannelli di piccole dimensioni, quindi movimentabili anche manualmente o con mezzi leggeri;
- spesso le irregolarità della parete (dovute alla presenza di impianti) possono essere facilmente superate sagomando e rinforzando opportunamente la lamiera, che in questo è certamente molto più adattabile del cemento armato.

Per quanto riguarda la chiusura delle superfici trasparenti, è stata proposta una soluzione progettuale che ne permette il mantenimento anche dove è richiesta la protezione REI. E' stato possibile infatti realizzare superfici trasparenti resistenti sia alle onde bariche che all'incendio sdoppiando il serramento in modo che quello esterno abbia la funzione di resistere all'impatto con l'onda d'urto e quello interno di garantire la tenuta REI.

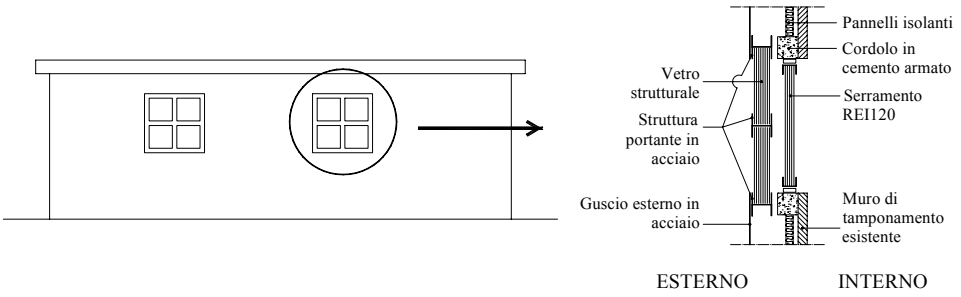

Fig. 3: Dettaglio tipologico dei serramenti in esecuzione blindata, associata a scudo esterno in acciaio

Per sovrapressioni elevate l'entità dell'onda d'urto è talmente penalizzante che, allo stato attuale delle conoscenze, anche protezioni molto deformabili richiederebbero livelli di resistenza tali da rendere impraticabile una qualunque proposta di bunkerizzazione e quindi non ha senso prevedere forme di compartimentazione. In questo caso, l'unica strategia di protezione ipotizzabile consiste nel dirigere i presumibili effetti verso aree dell'impianto o del territorio dove non sia prevista la presenza umana e dove l'eventuale danneggiamento dei manufatti comporti un bilancio costi/rischi accettabile.

Per sovrapressioni di livello intermedio, ciascuna delle soluzioni precedentemente proposte può essere attuata parzialmente, in un'ottica di ottimizzazione delle risorse economiche. Questo ambito, tuttavia, potrebbe essere il più promettente per i progressi scientifici, in quanto l'eventuale introduzione e perfezionamento di sistemi dissipativi creerebbe ambiti scientifici con ampie possibilità di sviluppo tecnologico. Tra i sistemi dissipativi possiamo includere quelli sperimentati nel campo dell'ingegneria sismica, come ad esempio i controventi realizzati con ganasce scorrevoli da associare a strutture adeguatamente deformabili. Altre ipotesi di intervento che paiono promettere buoni risultati sono costituite da pannelli fissati su molle ancorate a strutture fisse, dove l'impatto si trasferisce dal pannello alla molla, che assorbe una quantità di energia proporzionale al quadrato della deformazione.

3. PIANIFICAZIONE DEL TERRITORIO

In un'ottica di gestione del territorio, qualora gli effetti dell'esplosione dovessero risultare sensibili anche all'esterno dello stabilimento, edifici e manufatti esterni all'impianto dovranno essere verificati secondo gli stessi criteri precedentemente illustrati. A titolo puramente esemplificativo, gli strumenti urbanistici previsti dal D.M. Lavori Pubblici 9/5/2001, "Requisiti minimi di sicurezza in materia di pianificazione urbanistica e territoriale per le zone interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante" potrebbero richiedere che negli edifici ricadenti in zone a rischio di incidente rilevante tamponamenti, serramenti e strutture siano di idonea resistenza; che le strade siano protette da una struttura di caratteristiche meccaniche e geometriche adeguate; che in alcune aree sia assolutamente vietata ogni attività umana nonché qualunque tipo di costruzione (salvo eventuali accordi specifici per attività da svolgersi in periodi di sospensione dell'attività produttiva) e così via.

Analogamente, anche nell'ambiente esterno degli edifici potrebbe essere opportuno prevedere una protezione meccanica per attrezzature con caratteristiche intrinseche di pericolosità o che rappresentano una possibile fonte di effetti domino, quali, ad esempio, serbatoi di materiale tossico o combustibile, pipe-line, impianti in acciaio, se si prevede che possano essere esposti all'irraggiamento; altri casi tipici di attrezzature da proteggere sono quelle di importanza strategica, quali riserve idriche antincendio, gruppi elettrogeni, cabine di trasformazione e così via.

Un ulteriore aspetto che deve essere tenuto presente nelle scelte strategiche di gestione del rischio esplosione è quello correlato al contenuto energetico dell'esplosione stessa.

Per bassi livelli energetici è possibile assorbire l'impatto, come già detto, con sistemi deformabili o dissipativi. Contenuti energetici medi risultano più impegnativi, in quanto gli stessi requisiti di deformabilità e di capacità dissipative devono essere ottenuti in strutture a resistenza più elevata e quindi più costose. Per esplosioni con alti contenuti energetici il contenimento degli effetti dell'esplosione risulterebbe eccessivamente dispendioso; in questo caso, piuttosto che contenere gli effetti dell'esplosione, si può affrontare il problema pensando di indirizzare tali effetti verso aree dove il danno sarebbe trascurabile o ridotto al minimo e dove, comunque, siano da escludersi effetti domino. E' quindi essenziale che in aree potenzialmente coinvolte dagli scenari incidentali individuati da una corretta analisi dei rischi, attraverso la pianificazione ed il controllo dell'urbanizzazione, sia possibile suggerire provvedimenti di natura vincolistico-territoriale che scaturiscono da considerazioni tecniche sulle possibili fenomenologie dell'evento barico.

4. CONCLUSIONI

In conclusione si ritiene che nei casi in cui sia prevedibile il rischio esplosione, le possibili soluzioni progettuali siano svariate e che per questo non esista un'unica soluzione predefinita. Pare pertanto opportuno, oltre che promettente per i possibili sviluppi futuri, richiedere che in questi casi venga verificata la resistenza non solo delle strutture portanti, ma anche dei componenti edilizi secondari esposti all'impatto con l'onda d'urto. Peraltro, in relazione alla strategia di protezione adottata per l'attività in esame, è opportuno che tali verifiche vengano condotte, oltre che sugli edifici dove si svolge l'attività umana, anche su quei manufatti dal cui funzionamento dipende la gestione dell'emergenza (ad esempio riserve idriche antincendio, gruppi elettrogeni, cabine di trasformazione e così via) e su quelle parti di impianto che, se danneggiate dall'esplosione, potrebbero generare effetti domino sia in dipendenza della possibile dispersione di sostanze stoccate o in lavorazione che in relazione agli effetti di un eventuale crollo. Per una corretta gestione dell'emergenza, pertanto, andrebbe definito, quanto più dettagliatamente possibile, lo scenario o gli scenari possibili in base ai prevedibili danneggiamenti, non solo della parte di impianto in esame, ma anche di quelle adiacenti.

I risultati di tale studio e le soluzioni proposte per la mitigazione delle conseguenze degli effetti barici provocati da fenomeni esplosivi possono essere proficuamente utilizzati ed integrati sia quali misure tecniche complementari che il gestore è tenuto ad adottare per consentire la compatibilità dello stabilimento a rischio di esplosione e particolari vulnerabilità territoriali presenti nell'intorno dello stabilimento stesso, così come previsto dall'art. 14 c. 6 del D.Lgs. 334/99, sia nell'ambito delle prescrizioni previste in sede di varianti degli strumenti di pianificazione territoriale come previsto dal Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 9 maggio 2001.