

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLA SICUREZZA CIVILE E
INDUSTRIALE

**Tesi di Laurea Magistrale in
Ingegneria della Sicurezza Civile e Industriale**

**Sviluppo di metodologie per la classificazione e la
stima dei livelli di vulnerabilità associati ad
apparecchiature di un complesso produttivo
industriale**

Relatore: Prof.ssa Chiara Vianello

Correlatore: Ing. Paolo Mocellin

Laureando: RICCARDO GUTTADAURIA

ANNO ACCADEMICO 2018-2019

Riassunto

La moltitudine di eventi NaTech, accaduti negli ultimi decenni, a seguito di azioni sismiche, hanno evidenziato che la valutazione della vulnerabilità sismica delle apparecchiature industriali sia un tema fondamentale per garantire l'incolumità della popolazione e l'integrità strutturale delle unità e degli edifici civili interni allo stabilimento industriale.

È necessario evidenziare che l'analisi dei rischi NaTech, ovvero gli scenari incidentali dovuti all'interazione tra i fenomeni naturali severi e la presenza di impianti industriali, presuppone delle conoscenze multidisciplinari. Infatti, solamente, attraverso lo sforzo congiunto di numerosi professionisti, afferenti a rami ingegneristici diversi, è possibile definire la probabilità di accadimento di un sisma di una certa intensità, effettuare un'analisi sismica di un'apparecchiatura e predire la risposta specifica di un processo industriale a seguito di un danno strutturale.

Secondo una visione più ad ampio raggio, un evento sismico colpisce, non solo tutte le unità presenti all'interno di uno stabilimento industriale ma, bensì, anche tutte le strutture civili ad esso afferente. In aggiunta, le conseguenze generate dal sisma in termini di perdite di contenimento possono, per effetto domino, creare degli scenari incidentali sotto forma di incendi, esplosioni o dispersioni di nube tossica nelle zone limitrofe all'impianto.

Nella stesura della tesi, si è trattato, in primo luogo, lo stato dell'arte relativamente alle procedure in essere per la valutazione della vulnerabilità sismica, applicate in un contesto civile e in industriale. In seguito, dopo un'analisi storica dei principali eventi incidentali, connessi ad eventi sismici, sono state realizzate una serie di schede sinottiche per stabilire l'entità dei danni subiti, per effetto dell'azione sismica, dal patrimonio edilizio e dalle apparecchiature industriali.

Per tale motivo, le schede di valutazione, redatte in questa tesi, si fondano sull'analisi delle criticità connesse sia alle tematiche inerenti all'ambito dell'ingegneria civile e ambientale sia alle problematiche riguardanti il settore dell'ingegneria industriale.

Per ciò che concerne l'analisi della vulnerabilità sismica delle strutture civili, le schede di valutazione contengono tutti gli elementi per stimare l'entità dei danni subiti dalle parti strutturali e non strutturali dell'edificio. Sono stati, altresì, approfonditi gli effetti indotti dal sisma in termini di movimento del suolo e di criticità ambientali.

Infine, l'ultima parte della tesi è stata incentrata sulla valutazione della vulnerabilità sismica delle principali apparecchiature industriali ovvero i serbatoi e le condotte. Tale valutazione, è stata condotta dopo una classificazione delle apparecchiature e dei relativi accessori in termini di materiali, procedimenti costruttivi e principi di funzionamento.

Indice

INTRODUZIONE	1
CAPITOLO 1 IL FENOMENO NATURALE DEL TERREMOTO	3
1.1 IL TERREMOTO.....	3
1.2 IL RISCHIO SISMICO.....	4
1.2.1 <i>La zonazione sismica</i>	5
1.2.2 <i>Analisi storica dei terremoti in Italia</i>	7
1.3 EVENTI NA-TECH NEL MONDO.....	9
CAPITOLO 2 STATO DELL'ARTE DELLE METODOLOGIE DI VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ SISMICA	11
2.1 I METODI DI VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ SISMICA SU EDIFICI.....	11
2.1.1 <i>La matrice di probabilità di danno</i>	14
2.1.2 <i>L'indice di vulnerabilità</i>	15
2.1.3 <i>Le curve di fragilità</i>	16
2.1.4 <i>Il metodo Is</i>	17
2.2 LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO PER GLI IMPIANTI INDUSTRIALI.....	19
2.2.1 <i>La valutazione della vulnerabilità sismica dei serbatoi</i>	20
2.2.2 <i>La modellazione dinamica di un serbatoio</i>	27
2.2.3 <i>La valutazione della vulnerabilità sismica delle condotte</i>	30
2.2.4 <i>La modellazione dinamica delle condotte</i>	33
CAPITOLO 3 LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ SISMICA IN AMBITO CIVILE-AMBIENTALE	38
3.1 LA PROCEDURA DI VALUTAZIONE DEI DANNI.....	38
3.2 LE SCHEDE DI VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ SISMICA.....	40
3.2.1 <i>L'identificazione del sito e la descrizione dell'edificio</i>	41
3.2.2 <i>La valutazione della vulnerabilità sismica strutturale</i>	43
3.2.3 <i>La valutazione della vulnerabilità sismica degli impianti</i>	47
3.2.4 <i>La vulnerabilità sismica delle infrastrutture</i>	54
3.2.5 <i>La valutazione degli effetti sismici indotti sull'ambiente</i>	57
3.2.6 <i>La valutazione degli effetti sismici indotti sul terreno</i>	60
CAPITOLO 4 LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ SISMICA IN AMBITO INDUSTRIALE	63
4.1 LA VULNERABILITÀ SISMICA DELLE STRUTTURE INDUSTRIALI.....	63
4.1.1 <i>L'analisi del rischio sismico quantitativa</i>	64
4.1.2 <i>La classificazione strutturale delle apparecchiature</i>	65
4.1.3 <i>Le modalità di guasto delle condotte</i>	68
4.1.4 <i>Le modalità di guasto dei serbatoi</i>	70
4.2 LE SCHEDE DI VALUTAZIONE.....	71

4.2.1	<i>L'identificazione e le caratteristiche del serbatoio</i>	71
4.2.2	<i>La valutazione della vulnerabilità dei serbatoi.....</i>	76
4.2.3	<i>L'identificazione e le caratteristiche della condotta.....</i>	80
4.2.4	<i>La valutazione della vulnerabilità sismica delle condotte</i>	84
CONCLUSIONE.....		92
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....		94

INTRODUZIONE

I fenomeni naturali quali i terremoti, gli incendi, le alluvioni e le frane possono arrecare gravi e irreversibili danni alle unità di un impianto industriale e delle strutture civili ad esso afferenti in termini di integrità e affidabilità strutturale. Inoltre, qualora all'interno dello stabilimento siano presenti ingenti quantità di sostanze o prodotti pericolosi, potrebbero verificarsi scenari incidentali quali incendi, esplosioni e dispersione di nube tossica con conseguenze nefaste per la popolazione presente all'interno dell'impianto e nelle aree limitrofe.

Il D. Lgs. 105/15 definisce un incidente rilevante un evento quale un'emissione, un incendio o un'esplosione di grande entità, dovuto a sviluppi incontrollati che si verificano durante l'attività di uno stabilimento, soggetto al campo di applicazione del decreto, e che dia luogo a un pericolo grave, immediato o differito, per la salute umana o l'ambiente, all'interno o all'esterno dello stabilimento, e in cui intervengano una o più sostanze pericolose.

Nell'ultimo decennio i paesi Europei, maggiormente all'avanguardia sul tema della sicurezza degli impianti soggetti a rischio incidente rilevante (RIR), hanno intrapreso numerosi studi per analizzare le mutue interazioni tra i terremoti e i siti industriali. In particolare, l'analisi dei livelli di vulnerabilità delle apparecchiature industriali nasce dall'esigenza, da parte dei gestori, di mettere in atto metodologie di valutazione e gestione del rischio al fine di individuare il budget più idoneo per assicurare gli standard di sicurezza più elevati ed elaborare i piani di emergenza esterni e interni.

È necessario evidenziare che l'analisi dei rischi NaTech, cioè il rischio relativo al verificarsi di fenomeni naturali, presuppone delle conoscenze multidisciplinari. Infatti, solamente, attraverso lo sforzo congiunto di numerosi professionisti, afferenti a rami ingegneristici diversi, è possibile definire la probabilità di accadimento di un sisma di una certa intensità, effettuare un'analisi sismica di un'apparecchiatura e predire la risposta specifica di un processo industriale a seguito di un danno strutturale.

Il rischio sismico è un problema inerente alla pubblica sicurezza in quanto richiede delle adeguate misure di gestione del rischio e dei mezzi idonei al fine di proteggere i cittadini, gli edifici e le infrastrutture soggette all'azione sismica.

Dunque, lo scopo dell'analisi del rischio sismico è stimare in maniera qualitativa o quantitativa le conseguenze di un evento sismico su una specifica area geografica, in un certo intervallo di tempo.

In particolare, l'obiettivo è predire gli eventuali danni strutturali sugli edifici privati o di pubblica utilità, il numero di feriti o di morti, i potenziali danni economici sia in termini di

costi diretti sia in termini di costi indiretti come la perdita della capacità produttiva o l'interruzione dell'attività.

I risultati forniti da un'analisi del rischio sismico possono essere considerati come una preziosa fonte di informazioni al fine di mettere in atto le migliori strategie di gestione del rischio in tutte le sue fasi: durante il periodo ordinario, nel momento in cui si manifesta l'azione sismica e nella fase di post-emergenza e recupero.

Infatti, durante il periodo ordinario, un'analisi del rischio sismico può offrire un supporto per formulare delle procedure di mitigazione del rischio e per la pianificazione delle azioni preventive. Inoltre, la valutazione degli eventuali impatti economici complessivi fornisce una stima delle conseguenze del sisma in merito al comportamento di risposta all'emergenza dal punto di vista dell'azioni umane, dei presidi di sicurezza e delle procedure di soccorso.

Un altro fondamentale indicatore che può essere ricavato da un'analisi del rischio sismico è il numero dei feriti o delle vittime in quanto è possibile valutare se il sistema organizzativo di soccorso è stato adeguato rispetto alle conseguenze previste in fase di analisi. Inoltre, attraverso la definizione di aree pericolose per la sicurezza e l'incolumità della popolazione, l'analisi del rischio sismico può essere considerata un prezioso strumento per la pianificazione urbanistica.

Infine, per ciò che concerne le prime ore successive al terremoto, un'analisi del rischio sismico consente di ottenere una rapida stima degli impatti del terremoto in modo tale da intraprendere le migliori decisioni in termini di mitigazione delle conseguenze. Pertanto, nella fase post emergenza, l'analisi del rischio sismico è utile per definire le migliori soluzioni da perseguire per la ricostruzione e per disporre gli interventi più efficaci al fine di incrementare la sicurezza in caso di eventi futuri analoghi.

CAPITOLO 1

Il fenomeno naturale del terremoto

In questo primo Capitolo è stato definito, in primo luogo, il fenomeno naturale del terremoto e, in seconda battuta, effettuato un'analisi storica dei principali eventi sismici, in Italia e nel mondo, in relazione alle attività soggette a rischio di incidente rilevante.

1.1 Il terremoto

Un terremoto, secondo l'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), è un rapido movimento della superficie terrestre dovuto al brusco rilascio dell'energia accumulatasi all'interno della Terra in un punto ideale chiamato ipocentro o fuoco. Il punto sulla superficie della terra, posto sulla verticale dell'ipocentro, è detto epicentro.

L'intensità del terremoto dipende dalla sorgente, dal percorso delle onde sismiche e dalle caratteristiche geologiche e morfologiche del territorio dove si manifesta il fenomeno.

Le onde sismiche sono onde elastiche che rappresentano l'energia liberata a seguito della rottura delle rocce, all'interno della litosfera, per effetto degli enormi sforzi di taglio dovuti al lento movimento delle placche terrestri. Un terremoto genera diverse tipologie di onde sismiche:

- onde primarie P
- onde secondarie S
- onde terziarie T

Le onde P fanno vibrare il suolo nella stessa direzione in cui si propagano; comprimono e dilatano in successione le rocce che attraversano, producendo degli effetti ondulatori e di taglio. Si diffondono in modo concentrico con una velocità nell'ordine di 10 km/s. Invece, le onde S fanno vibrare le rocce perpendicolarmente rispetto alla loro direzione di marcia, generando un moto sussultorio e degli effetti di compressione. La loro velocità di propagazione è pari a 4 km/s. Infine, le onde T sono originate dall'arrivo delle onde P e delle onde S in superficie e hanno una velocità di propagazione di 3 km/s.

Le onde sismiche attraversano gli strati della terra variando la velocità e la direzione a seconda della densità dello strato che attraversano.

Un terremoto può essere misurato considerando due grandezze ovvero l'intensità e la magnitudo.

L'intensità è un valore che quantifica gli effetti del sisma sull'ambiente, sulle cose e sull'uomo. A differenza della magnitudo, l'intensità di un terremoto dipende dal luogo in cui viene misurata, in quanto diminuisce allontanandosi dall'epicentro. L'intensità di un terremoto viene espressa con la scala Mercalli, dal nome del sismologo italiano che, all'inizio del XX secolo, diffuse a livello internazionale la classificazione dei terremoti secondo gli effetti e i danni che producevano. Questa scala, successivamente modificata da Cancani e Sieberg, si compone di dodici gradi.

La magnitudo è espressa dalla scala Richter e misura l'energia elastica rilasciata dal terremoto. La massima magnitudo, mai misurata, è stata rilevata durante il terremoto del Cile nel 1960 ed è stata pari a 9,5. I più piccoli terremoti percepiti dall'uomo hanno magnitudo molto basse (intorno a 2.0), mentre quelli che possono provocare danni hanno, in genere, una magnitudo superiore a 5.5.

1.2 Il rischio sismico

Il rischio sismico è un valore rappresentativo delle perdite in termini di vite umane, beni economici, volume edilizio e danni ambientali che si manifestano a seguito di un evento sismico in una determinata area geografica e in un dato intervallo temporale. È definito dalla seguente relazione:

$$\text{rischio sismico} = P \times V \times E . \quad (1.1)$$

In tale relazione la *pericolosità sismica* P indica la frequenza e la forza dei terremoti che interessano l'area considerata, ovvero è definita come la probabilità che in una data zona ed in un certo intervallo di tempo si manifesti un terremoto che superi una soglia di intensità, magnitudo o accelerazione di picco PGA (*Peak Ground Acceleration*) di riferimento. Pertanto, la pericolosità sismica di una certa area è direttamente proporzionale all'intensità e alla frequenza degli eventi sismici.

La pericolosità sismica può essere analizzata mediante due tipi di approccio: di tipo deterministico o di tipo probabilistico.

Il metodo di tipo deterministico è applicabile quando sono disponibili dei dati relativi ad eventi sismici passati. Infatti, consiste nel valutare i danni prodotti dall'azione sismica che storicamente hanno caratterizzato il sito di riferimento. Invece, il metodo di tipo probabilistico si basa sullo studio della probabilità di accadimento di un terremoto di una certa pericolosità per cui non necessita di una banca dati storica. Per tale motivo l'approccio di tipo probabilistico è, indubbiamente, il più utilizzato.

La *vulnerabilità sismica* V è la tendenza di una struttura, un'apparecchiatura industriale e un ambiente naturale a subire dei danni di un determinato livello a seguito di un evento sismico. Infine, l'*esposizione* E indica il numero di vite umane, la quantità e la natura dei beni materiali e immateriali che potrebbero essere soggetti al rischio sismico.

1.2.1 La zonazione sismica

Dallo studio della pericolosità sismica si possono ricavare degli indicatori fondamentale per caratterizzare il rischio sismico quali la zonazione sismica e la microzonazione sismica (MS). La zonazione sismica è utile per valutare la pericolosità sismica di base, ovvero la componente della pericolosità sismica che è dipendente dalle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità della sorgente sismica, energia e frequenza dei terremoti). In altri termini, la pericolosità sismica di base consiste nel determinare un valore di probabilità di superamento in riferimento ad un parametro quale velocità, accelerazione, intensità e ordinate spettrali. Tali parametri sono ascrivibili a un terremoto di riferimento, ovvero un sisma capace di provocare uno scuotimento in condizioni di suolo rigido e senza irregolarità morfologiche.

Lo studio della microzonazione sismica (MS), invece, permette di esaminare la pericolosità sismica locale, ovvero la componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche del sito. Pertanto, individuando le zone del territorio contraddistinte da un comportamento sismico omogeneo, attraverso la MS, si è in grado di caratterizzare le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità.

Lo Stato italiano, attraverso numerosi interventi legislativi, ha pubblicato una mappa sulla classificazione sismica dell'intero territorio nazionale, in base all'intensità e la frequenza dei terremoti accaduti in passato. Un passo cruciale, in tal senso, è stato compiuto nel 2003 quando è stata emanata l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274, attraverso la quale, il Paese è stato riclassificato in 4 zone a diversa pericolosità, eliminando le zone non classificate. Infatti, fino ad allora, solamente il 45% del territorio nazionale risultava classificato dal punto di vista antisismico e soggetto alle normative tecniche di riferimento.

Una mappa delle zone sismiche è riportata in Figura 1.1. Si può osservare che la zona maggiormente pericolosa sia lungo la fascia della dorsale appenninica nell'Italia centrale. Tuttavia, nel passato, alcuni terremoti distruttivi sono avvenuti anche nell'Italia meridionale e settentrionale.

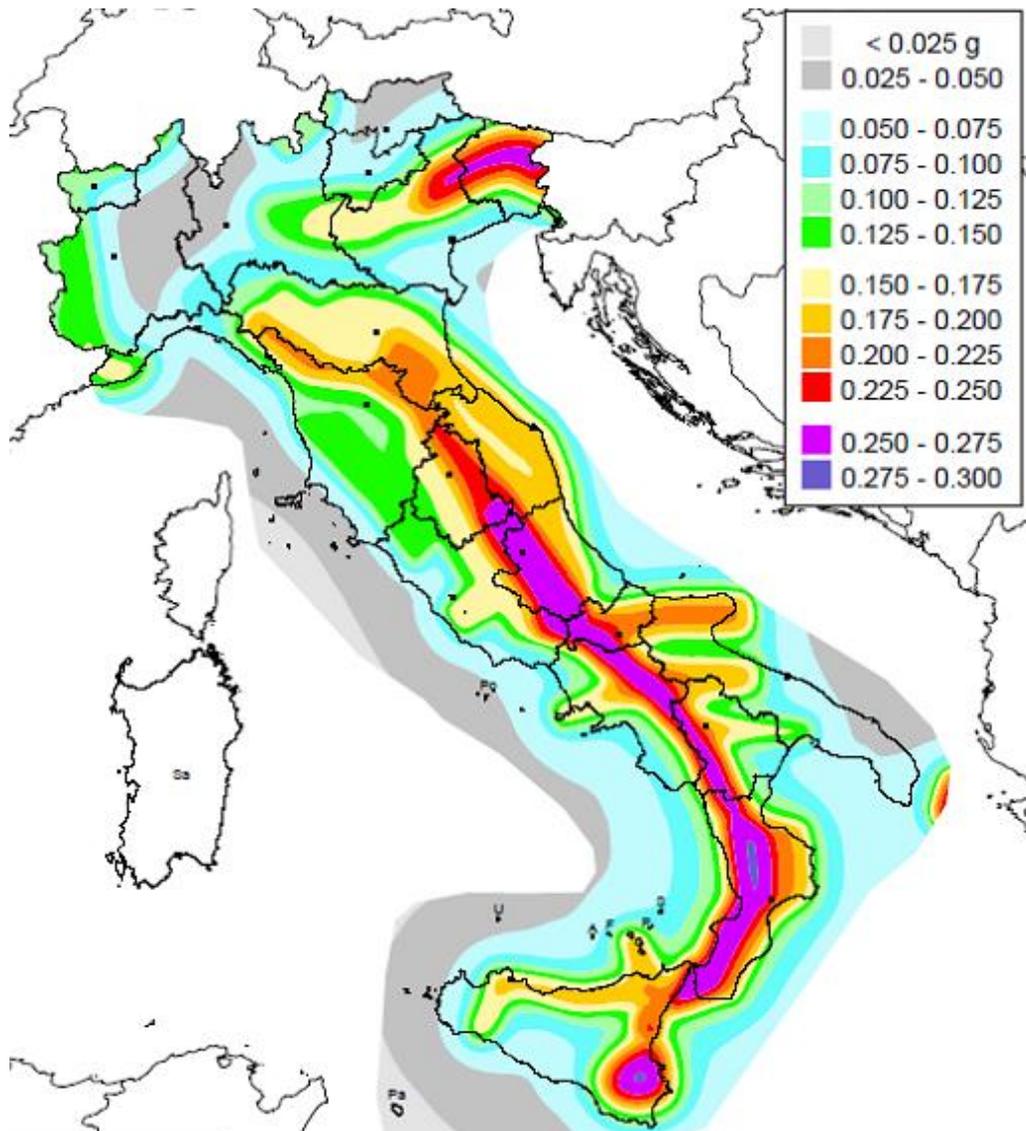


Figura 1.1 Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale italiano

In aggiunta, qualche anno dopo, a seguito di un ulteriore studio inerente alla pericolosità sismica, si sono suddivise le zone in base a degli intervalli di accelerazione a_g , con probabilità di superamento pari al 10% e tempo di ritorno fissato a 50 anni. Tali valori sono stati pubblicati in un allegato dell'OPCM n.3519/06 e riportati in Tabella 1.1

Tabella 1.1 Classificazione delle zone di pericolosità sismica in base al valore di accelerazione sismica

Zona	Accelerazione a_g	Pericolosità sismica
1	$a_g > 0.25g$	È la zona più pericolosa; la probabilità che accada un terremoto è molto alta
2	$0.15g < a_g \leq 0.25g$	Sono possibili dei terremoti di grande intensità
3	$0.05g < a_g \leq 0.15g$	In questa zona i terremoti forti sono meno probabili rispetto le zone 1 e 2
4	$a_g \leq 0.05g$	È la zona meno pericolosa; la probabilità che accada un terremoto è molto bassa

Attualmente, i nuovi approcci normativi hanno abbandonato i criteri di progettazione incentrati sulla classificazione sismica a favore di una strategia progettuale basata su livelli crescenti dell'azione sismica e dei danni corrispondenti. Il motivo di tale scelta è una conseguenza delle previsioni fallaci che la classificazione sismica ha prodotto per alcune zone, ad esempio nel caso del terremoto in Emilia-Romagna del 2012 dove il valore dell'azione sismica è stato, decisamente, sottostimato.

1.2.2 Analisi storica dei terremoti in Italia

L'Italia è un territorio contraddistinto da una notevole attività sismica come evidenziato dalla Tabella 1.2. È opportuno evidenziare che, tra tutte le aree analizzate, il terremoto di magnitudo momento M_W più elevato si è manifestato in prossimità dello stretto di Messina nel 1908; anche se, valori ugualmente degni di nota, sono stati registrati in Irpinia, nella zona della Garfagnana (Toscana) e dell'Umbria (Norcia).

La magnitudo momento M_W è un valore che si calcola considerando l'intero sismogramma ed è la grandezza più rappresentativa del terremoto. Infatti, si ottiene a partire dalla stima delle caratteristiche geometriche della faglia, ovvero della sua superficie totale e dello scorrimento lungo il piano di faglia.

Tabella 1.2 Principali terremoti avvenuti in Italia dal 1900 ad oggi

<u>Data</u>	<u>Area</u>	<u>Intensità</u>	<u>Magnitudo M_W</u>
28/12/1908	Stretto di Messina	X – XI	7.1
07/06/1910	Irpinia	IX	5.9
27/10/1914	Garfagnana	VII	5.8
17/05/1916	Mare Adriatico (Nord)	VIII	5.9
26/04/1917	Confine Arezzo-Perugia	X	5.8
10/11/1918	Appennino Forlivese	VIII	5.8
29/06/1919	Mugello	IX	6.2
07/09/1929	Garfagnana	X	6.5
07/03/1928	Capo Vaticano (Calabria)	VIII	5.9
23/07/1920	Irpinia	X	6.7
18/10/1936	Bosco Cansiglio (Veneto)	IX	5.9
21/08/1962	Irpinia	IX	6.2
06/05/1976	Friuli	IX – X	6.4
15/09/1976	Friuli	VIII – IX	5.9
15/04/1978	Golfo di Patti (Stretto di Messina)	VIII	6.1
19/09/1979	Valnerina (Umbria)	VIII – IX	5.9
23/11/1980	Irpinia	X	6.9
07/05/1984	Lazio – Abruzzo	VIII	5.9
15/05/1990	Potentino (Basilicata)	VII – VIII	5.8
13/12/1990	Golfo di Noto (Sicilia orientale)	VII	5.1
26/09/1997	Norcia (Umbria)	IX	6.0
31/10/2002	Molise	VIII – IX	5.8
06/04/2009	L'Aquila (Abruzzo)	IX – X	6.1
20/05/2012	Pianura Padana (Emilia-Romagna)	VIII	5.8
30/10/2016	Norcia (Umbria)	VIII – IX	6.5
26/12/2018	Viagrande (Sicilia orientale)	VII – VIII	5.0
15/01/2019	Ravenna (Emilia-Romagna)	VI – VII	4.3

In Tabella 1.3 è riportata l'analisi della distribuzione regionale degli stabilimenti soggetti al campo di applicazione del D. Lgs. 238/05 (abrogato dal D. Lgs. 105/15), effettuata dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale) nel 2013. Nel complesso, la maggior parte degli stabilimenti sono concentrati nelle regioni settentrionali della Lombardia, del Piemonte e del Veneto.

Tabella 1.3 Distribuzione regionale degli stabilimenti soggetti al D. Lgs. 238/05

<u>Regione/Provincia autonoma</u>	<u>N° Stabilimenti</u>
Piemonte	103
Valle d'Aosta	6
Lombardia	287
Provincia autonoma di Bolzano	7
Provincia autonoma di Trento	10
Veneto	112
Friuli-Venezia Giulia	34
Liguria	34
Emilia-Romagna	99
Toscana	62
Umbria	17
Marche	16
Lazio	69
Abruzzo	26
Molise	8
Campania	70
Puglia	43
Basilicata	9
Calabria	17
Sicilia	71
Sardegna	42

Tuttavia, dall'analisi incrociata dei dati contenuti nelle tabelle è evidente che gli insediamenti industriali presenti in Emilia-Romagna, Sicilia, Campania e Lazio presentano le maggiori criticità in termini di rischi NaTech, in quanto sono le zone dove sono ubicati un discreto numero di attività industriali a rischio di incidente rilevante e, contestualmente, dove si sono manifestati alcuni dei terremoti più violenti.

Un altro caso particolarmente gravoso è rappresentato dalla zona Orientale della Sicilia in cui, come si può osservare dalla Figura 1.2, sono stati realizzati diversi stabilimenti (petrolchimici, raffinerie, centrali termoelettriche e industrie chimiche) in un'area ad alto rischio sismico.

Tuttavia, in linea di massima, in Italia, il numero di eventi incidentali causati dall'azione del terremoto su impianti industriali è esiguo. Anche se, in alcuni casi, è solamente tramite l'intervento dei dispositivi di sicurezza di emergenza che si è evitato l'evento calamitoso. Ad esempio, in riferimento al petrolchimico di Priolo (Sr), durante il terremoto della Val di Noto del 1990, le conseguenze del terremoto sono state mitigate dall'azione efficace delle barriere di sicurezza che hanno permesso l'arresto tempestivo dell'impianto, di bruciare il prodotto presente all'interno delle apparecchiature e impedire il rilascio di sostanze tossiche in atmosfera.



Figura 1.2 Mappa degli stabilimenti industriali soggetti a rischio di incidente rilevante in Italia

1.3 Eventi Na-Tech nel mondo

A livello mondiale dai dati raccolti in letteratura (banca dati MHIDAS), emerge che su 7109 eventi incidentali accaduti in insediamenti industriali, solamente 215 sono correlati ad eventi naturali, ovvero il 3% del totale sono eventi *Na-Tech*, suddivisi come riportato in Tabella 1.4.

Tabella 1.4 Ripartizione in percentuale degli eventi naturali che hanno prodotto incidenti rilevanti (banca dati MHIDAS)

<u>Evento naturale</u>	<u>Percentuale</u>
Fulmini	56 %
Terremoti	8 %
Frane	7 %
Raffiche di vento	13 %
Alluvioni	16 %

Tra gli eventi incidentali più disastrosi accaduti nel mondo a causa di terremoti va annoverato l'incidente avvenuto nel 2011 alla centrale nucleare di Fukushima Daiichi quando un violento terremoto di magnitudo 9.0 provocò uno tsunami. Si generarono onde dall'altezza di 14 m che scavalcarono le barriere di protezione, invadendo i locali della centrale, mettendo fuori uso i generatori di energia ausiliari e interrompendo il raffreddamento del combustibile.

Invece, con riferimento agli impianti chimici e petrolchimici, diversi sono stati nel mondo gli incidenti negli ultimi decenni. Il terremoto di Izmit (Turchia, 1999, $M_w=7.4$) causò l'incendio e il collasso di un serbatoio di stoccaggio nella raffineria di Yarimca, con gravissime conseguenze in termini di inquinamento atmosferico e approvvigionamento. Il terremoto del Costa Rica (1991, $M_w=7.8$) causò il ribaltamento di un serbatoio e, in altri, la perdita di liquidi e la rottura della copertura. A Landers (California, 1992, $M_w=7.3$), oltre al collasso della copertura, si ebbe la rottura di tubazioni. Nella raffineria di Tomakomai City, a circa 220 km dall'epicentro del terremoto Off Tokachi (Giappone, 2003), un serbatoio contenente greggio si incendiò dopo l'evento principale del 26/09/2003 ($M=8.0$); successivamente un serbatoio con nafta si incendiò durante un aftershock del 28/09/2003 ($M=7.1$).

CAPITOLO 2

Stato dell'arte delle metodologie di valutazione della vulnerabilità sismica

In questo capitolo è stato passato in rassegna lo stato dell'arte per ciò che concerne le metodologie di valutazione della vulnerabilità sismica sia in applicazioni prettamente civili sia per l'ambito industriale. Inoltre, sono state trattate delle teorie relativamente alla modellazione dinamica dei serbatoi e delle condotte.

2.1 I metodi di valutazione della vulnerabilità sismica su edifici

La formulazione di un modello di perdita a seguito di un terremoto in una determinata regione è di fondamentale importanza per due motivi: prevedere gli impatti economici di un potenziale terremoto futuro e, soprattutto, per un'efficace azione di mitigazione del rischio sismico. Infatti, dato uno scenario di accadimento, attraverso la modellazione delle perdite è possibile prevedere lo stato di danno di una struttura e il numero di potenziali vittime o feriti. Di conseguenza, un modello di perdita è un prezioso strumento a disposizione delle autorità nazionali in sede di pianificazione e risposta alle emergenze.

Un'altra finalità dell'elaborazione di un modello di perdita è calcolare il pericolo sismico su tutti i siti di interesse e in che modo l'azione sismica si ripercuote sull'integrità strutturale degli edifici. In altri termini, un modello di perdita mira a valutare il rapporto di danno ovvero il rapporto tra il costo di adeguamento o miglioramento sismico e il costo di costruzione "ex novo" della struttura.

La valutazione della vulnerabilità sismica di un edificio rappresenta una delle fasi cruciali per definire un modello di perdita. Come già scritto nel primo capitolo, la vulnerabilità sismica di una struttura indica la tendenza dell'edificio stesso a subire dei danni per effetto di un'azione sismica di una certa intensità. Quindi, il fine ultimo di una valutazione della vulnerabilità è determinare la probabilità di raggiungere un certo livello di danno per una specifica tipologia di edificio e per una determinata intensità sismica.

Le metodologie per la valutazione della vulnerabilità che sono state proposte negli ultimi anni dalla comunità scientifica sono classificabili in:

- Empirici;
- Ibridi;
- Analitici.

Il metodo ibrido può essere utilizzato in maniera congiunta sia con il metodo empirico sia con il metodo analitico, come si evince chiaramente in Figura 2.1.

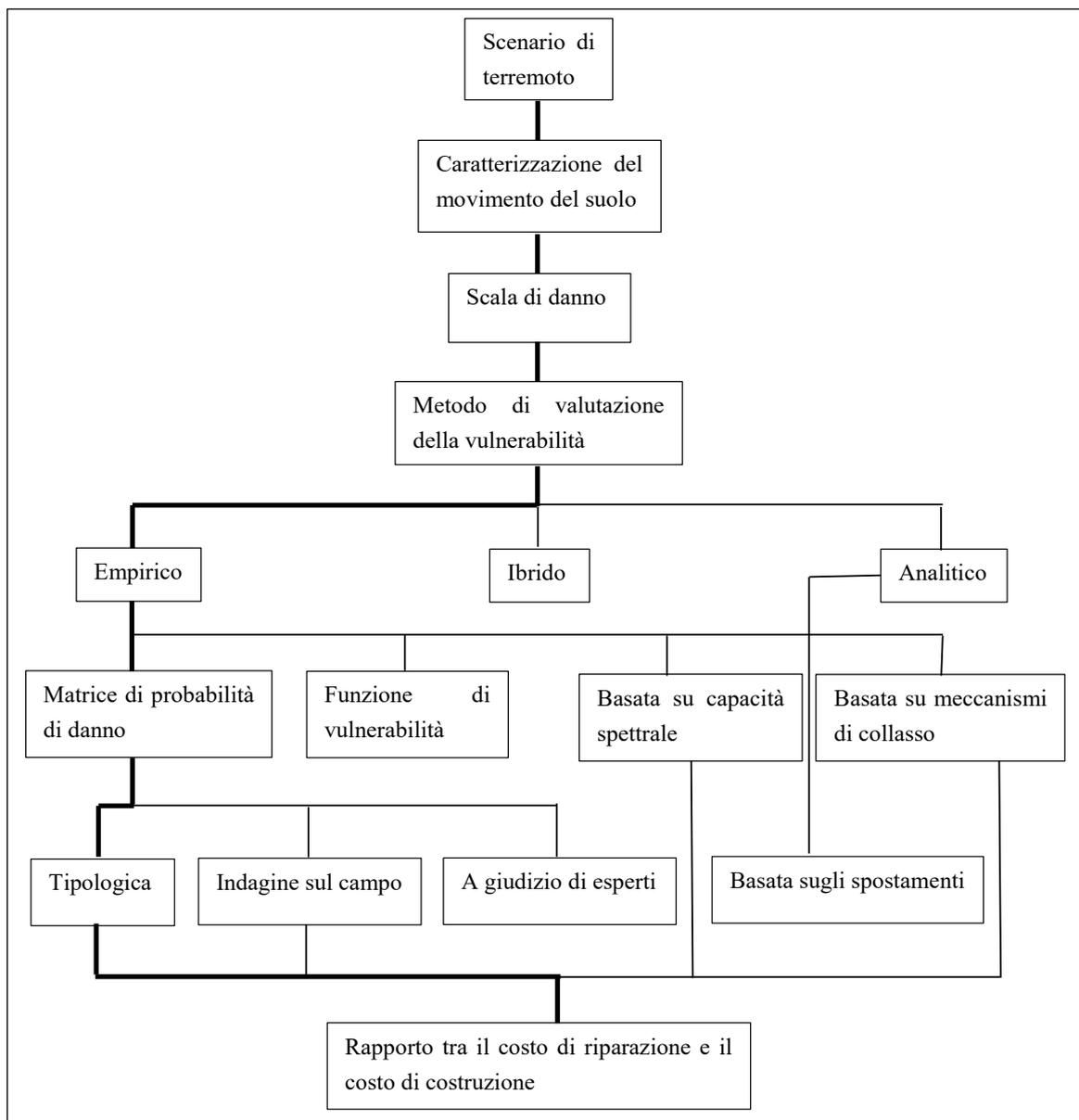


Figura 2.1 Classificazione dei metodi e delle procedure di valutazione della vulnerabilità sismica. Il percorso in grassetto indica il metodo tradizionale.

Una valutazione della vulnerabilità sismica di una struttura deve essere effettuata a partire dalla caratterizzazione del movimento del suolo in quanto essa costituisce la domanda sismica che agisce sulla struttura stessa. In generale i parametri di riferimento, scelti per una valutazione della vulnerabilità in ambito civile, sono l'intensità macrosismica e l'accelerazione di picco al suolo (PGA) poiché consentono una correlazione diretta tra il movimento del terreno e i danni subiti dalla struttura. Tuttavia, recenti studi hanno collegato la vulnerabilità sismica di un edificio allo spettro di risposta che, a sua volta, dipende dal terremoto considerato.

Tutte i modelli di valutazione della vulnerabilità sismica si basano sull'utilizzo di scale di danno discrete quali la scala di Mercalli modificata (Wood and Neumann, 1931), la scala MSK (Medvedev and Sponheuer, 1969) e la scala *European Macroseismic Scale* EMS98 (Grünthal, 1998). Nelle procedure empiriche le scale di danno sono utili per produrre dei dati relativi ai danni subiti dalle strutture dopo che è avvenuto il sisma, mentre nelle procedure analitiche consentono di analizzare le proprietà meccaniche della struttura quali, ad esempio, gli spostamenti di interpiano indotti dall'azione sismica.

Per la valutazione della vulnerabilità sismica di un edificio esistono due tipologie principali di metodi empirici che possono essere definiti relazioni causa – effetto in quanto si basano sull'osservazione dei danni subiti dalla struttura a causa dell'azione sismica

Il primo metodo consiste nel ricavare la matrice di probabilità di danno (DPM), definita dalla seguente relazione:

$$P[D = (j|i)] \quad (2.1)$$

che esprime in forma discreta la probabilità di ottenere un livello di danno j , a seguito di un terremoto di intensità i .

Il secondo metodo empirico più importante è costituito dalle curve di vulnerabilità o di fragilità che esprimono la probabilità di superamento di un certo stato di danno, dato un terremoto di una certa intensità.

I principali svantaggi di un metodo di valutazione della vulnerabilità empirico sono che:

- si basano su una scala di intensità macrosismica che, a sua volta, dipende dall'osservazione dei danni a seguito del terremoto e, pertanto, possiede un alto grado di soggettività;
- richiede una mole di dati considerevoli sui terremoti accaduti nel passato;
- l'utilizzo di definizioni di vulnerabilità empiriche per valutare se sia più conveniente la ristrutturazione o la ricostruzione non permette una modellazione esplicita;
- le mappe di rischio sismico sono definite in termini di accelerazione di picco al suolo (PGA) e intensità del terremoto. Tuttavia, questi dati non sono sempre disponibili e, in tal caso, si dovrebbe procedere con delle previsioni caratterizzate da notevoli incertezze;
- la relazione tra il contenuto in frequenza del moto del suolo e il periodo di oscillazione delle strutture non è preso in considerazione.

2.1.1 La matrice di probabilità di danno

Whitman *et al.* hanno proposto nel 1973, per la prima volta, una previsione deterministica per prevedere i danni subiti dagli edifici basata sulla matrice di probabilità di danno. La matrice fornita da Whitman *et al.*, riportata in Tabella 2.1, mostra l'entità dei danni strutturali e non strutturali sugli edifici associati a terremoti di intensità variabile. Si può notare che il rapporto di danno è dato dal costo di ristrutturazione sul costo di ricostruzione. Whitman *et al.* hanno compilato tale matrice osservando i danni riportati da più di 1600 edifici dopo il terremoto di San Francisco del 1971.

Tabella 2.1 Formato di matrice di probabilità di danno (DPM) fornita da Whitman *et al.* (1973)

<u>Stato di danno</u>	<u>Danno strutturale</u>	<u>Danno non strutturale</u>	<u>Rapporto di danno (%)</u>	<u>Intensità del terremoto</u>				
				<u>V</u>	<u>VI</u>	<u>VII</u>	<u>VIII</u>	<u>IX</u>
0	Nessuno	Nessuno	0 – 0.05	10.4				
1	Nessuno	Minore	0.05 – 0.3	16.4	0.5			
2	Nessuno	Localizzato	0.3 – 1.25	40.0	22.5			
3	Trascurabile	Diffuso	1.25 – 3.5	20.0	30.0			
4	Minore	Sostanziale	3.5 – 4.5	13.2	47.1	2.7		
5	Sostanziale	Esteso	7.5 – 20		0.2	92.3	58.8	14.7
6	Maggiore	Quasi totale	20 – 65			5.0	41.2	83.0
7	Struttura gravemente danneggiata		100					2.3
8	Collasso		100					

Una delle prime versioni europee di matrice di probabilità di danno è stata introdotta da Braga *et al.* e si basava sui danni subiti dagli edifici a seguito del terremoto dell'Irpinia (1980). In tale matrice è stata introdotta la distribuzione binomiale per descrivere le distribuzioni di danni di ciascuna classe per differenti intensità sismiche. La distribuzione binomiale consente, da un lato, di utilizzare un solo indicatore ovvero un numero che può variare tra 0 e 1 ma presenta lo svantaggio che la media e la deviazione standard dipendono entrambe da tale valore. Le strutture erano separate in 3 classi di vulnerabilità (A, B e C) alle quali si associava una scala MSK.

La matrice di probabilità di danno basata sul giudizio di esperti è stata formulata in ATC-13 (*Applied Technology Council*, 1985) dove innumerevoli professionisti di ingegneria sismica, attraverso considerazioni di tipo statistico, hanno definito il più alto, il più basso e il migliore valore di fattore di danno, riferito ad una scala di Mercalli modificata e per 36 diverse tipologie edilizie.

Un metodo che utilizza la scala EMS98 è stato proposto da Giovinazzi e Lagomarsino (2001, 2004). La scala EMS98 utilizza espressioni qualitative come pochi, molti ed elevati associati

a 5 gradi di danno per livelli di intensità che variano da V a XII per 6 differenti classi di vulnerabilità decrescenti (da A a F). In Tabella 2.2, è rappresentata una matrice di danno contenente una descrizione qualitativa dei danni riportati da un edificio in termini di grado di danno per diversa intensità sismica, fissata una classe di vulnerabilità.

Tabella 2.2 Esempio di matrice di danno, utilizzando una scala EMS e considerando una classe di vulnerabilità C.

<u>Intensità sismica</u>	<u>Grado di danno</u>				
	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
V					
VI	Pochi				
VII		Pochi			
VIII		Molti	Pochi		
IX			Molti	Pochi	
X				Molti	Pochi
XI					Molti
XII					Elevati

Le matrici di probabilità di danno, prodotte per ciascuna classe di vulnerabilità, sono correlate al patrimonio edilizio attraverso l'utilizzo di indici di vulnerabilità empirici che dipendono dalla tipologia edilizia, dalle caratteristiche degli edifici (numero di piani, irregolarità in pianta ecc...) e dai procedimenti costruttivi.

2.1.2 L'indice di vulnerabilità

Il metodo di vulnerabilità ad indice è stato utilizzato frequentemente negli ultimi anni e si basa su una grande quantità di raccolta dati relativamente ai danni subiti dagli edifici. È un metodo indiretto in quanto la relazione tra l'azione sismica e la risposta, è stabilita attraverso l'indice di vulnerabilità. Per applicare questo metodo è necessario raccogliere delle informazioni sui principali parametri che possono influenzare la vulnerabilità quali la configurazione di piano, la tipologia di fondazione, gli elementi strutturali e non strutturali, lo stato di conservazione, la tipologia e la qualità dei materiali. In totale il metodo conteggia 11 parametri ed assegna a ciascuno di essi un coefficiente K_i in base alle condizioni che possono variare da A (ottimali) a D (sfavorevoli). Ogni coefficiente è moltiplicato per un fattore che tiene conto della loro importanza. Pertanto, l'indice di vulnerabilità globale di ciascun edificio è valutato utilizzando la seguente formula:

$$I_v = \sum_{i=1}^{11} K_i W_i . \quad (2.2)$$

L'indice di vulnerabilità varia tra i valori 0 ovvero edificio meno vulnerabile e 100 ovvero edificio più vulnerabile. I dati ricavati dai precedenti terremoti sono utilizzati per calibrare le funzioni di vulnerabilità, associate a singoli valori di I_v , rappresentate in un grafico (Figura 2.2) dove in ascisse si riporta il valore di PGA o di intensità macrosismica e in ordinata il fattore di danno globale d riferito a edifici della stessa tipologia costruttiva. Il fattore di danno assume valori tra 0 e 1 e definisce il rapporto tra costo di adeguamento sismico e ricostruzione. Esso si può trascurare se il valore di PGA è minore di una certa soglia ed aumenta fino al valore di collasso dove assume il valore $d=1$.

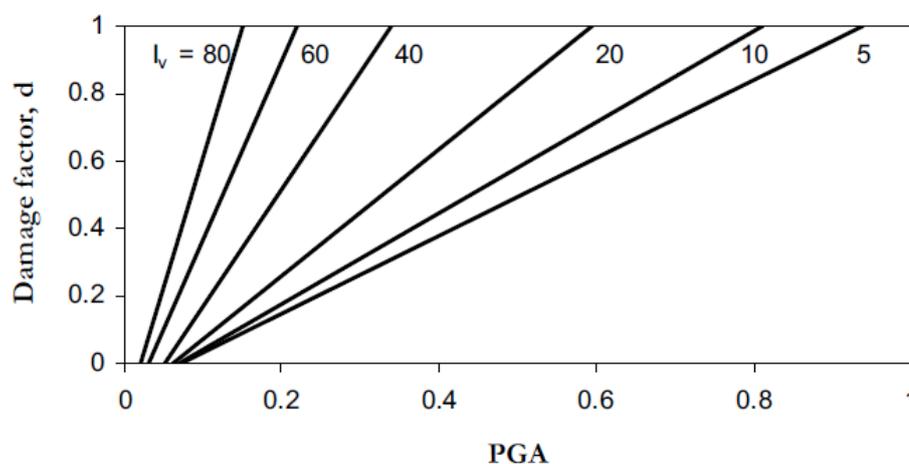


Figura 2.2 Funzioni di vulnerabilità associate a fattore di danno (d) e all'accelerazione di picco al suolo (PGA), per differenti valori di indici di vulnerabilità (I_v)

Il principale vantaggio di un metodo indiretto ad indice consiste nel valutare la vulnerabilità sismica in base ad un insieme di caratteristiche dell'edificio anziché considerare la sola tipologia edilizia di appartenenza della struttura in esame. Di contro, l'applicazione della procedura richiede un giudizio esperto per assegnare i fattori correttivi da inserire nella relazione (2.2). In aggiunta, tali fattori sono spesso caratterizzati da un elevato grado di incertezza. Infine, è necessario evidenziare che, come visto in precedenza per altri metodi, la valutazione della vulnerabilità ad indice richiede una grande quantità di dati relativi ad eventi sismici passati.

2.1.3 Le curve di fragilità

Le curve di fragilità consentono di determinare la vulnerabilità sismica relativamente a dei singoli edifici o, anche, ad un insieme di strutture, attraverso la previsione dello stato di danno a seguito dell'azione sismica. In altri termini, la curva di fragilità rappresenta la probabilità di raggiungere un certo stato limite al variare dell'intensità sismica. Un esempio di curve di

fragilità, riportato in Figura 2.3, rappresenta tre curve ricavate per lo stesso sistema strutturale e corrispondenti, ognuna, ad un diverso stato limite ovvero soglie di danno. Si può osservare che l'intensità sismica è espressa in termini di PGA, tuttavia, è lecito scegliere anche dei valori diversi (ad es. la velocità di picco al suolo PGV) secondo lo scopo dello studio di vulnerabilità.

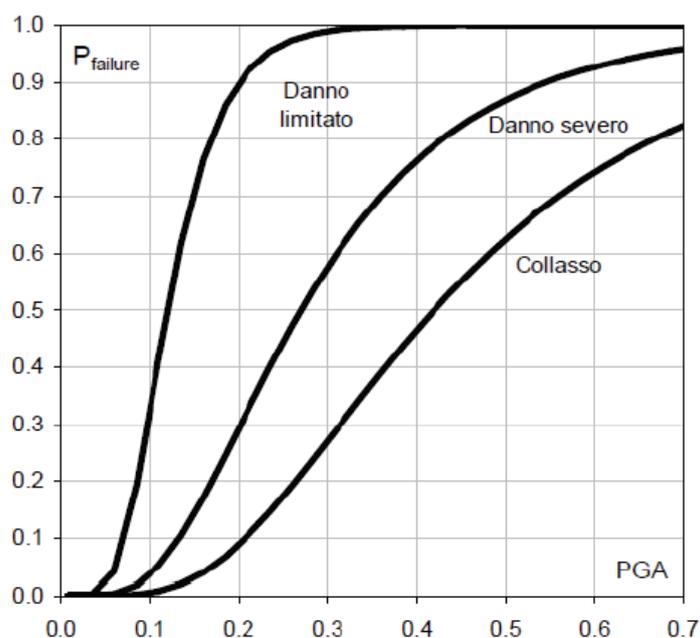


Figura 2.3 Curve di fragilità di un edificio (Polese, 2002)

L'applicazione di questo metodo permette dell'analisi dettagliate, nel caso di valutazioni della vulnerabilità su un singolo edificio, attraverso l'implementazione di simulazioni numeriche per cui esso è molto indicato per edifici di grande interesse storico e artistico. Invece, se il metodo delle curve di fragilità è applicato ad un complesso di edifici, si hanno risultati caratterizzati da alcune incertezze in quanto i macroparametri del singolo edificio (la forma, la dimensione, l'anno di costruzione ecc...) influenzano il comportamento sismico dell'intero complesso edilizio.

2.1.4 Il metodo Is

Il metodo *screening* o Is nasce in Giappone nel 1975 per valutare le capacità antisismiche delle strutture in calcestruzzo armato esistenti con meno di 6 elevazioni. In particolare, sono state introdotte tre procedure ognuna delle quali prevedeva un livello di affidabilità crescente.

La valutazione della vulnerabilità sismica si basa sul valore dell'indice sismico della struttura I_s che è espresso dalla seguente relazione:

$$I_s = E_o S_D T . \quad (2.3)$$

In tale relazione, il subindice E_o rappresenta la capacità strutturale di base, S_D è il subindice che tiene conto dello schema strutturale dell'edificio mentre T è il subindice che esprime il grado di deterioramento della struttura nel tempo.

Il subindice E_o è il parametro più importante nel calcolo della capacità antisismica della struttura, in quanto tiene conto della resistenza ultima, della duttilità degli elementi strutturali, della modalità di rottura, del numero di piani e del numero del piano oggetto dello studio.

Una volta calcolato I_s , si confronta con un valore standard I_{so} che è ottenuto attraverso l'osservazione del danno prodotto da terremoti precedenti effettuata da tecnici esperti. In particolare, risulta che se:

- $I_s \geq I_{so}$ allora si ha un basso livello di vulnerabilità per tutte le tre procedure di screening;
- $I_s \ll I_{so}$ allora si ricava un alto livello di vulnerabilità ed è necessario adottare delle azioni di adeguamento sismico o di demolizione della struttura;
- $I_s < I_{so}$ allora si ottiene una situazione di incertezza e, quindi, si richiede una valutazione più dettagliata, utilizzando un livello di screening successivo o un'analisi dinamica non lineare.

Il valore standard I_{so} è calcolato dalla seguente espressione:

$$I_{so} = E_s Z G U \quad (2.4)$$

dove:

- E_s è l'indice di riferimento della resistenza sismica, si assume = 0,8 per la procedura di primo livello, ed = 0,6 per la procedura di secondo livello;
- Z è l'indice di zona in relazione al fattore di microzonazione, $0,7 \leq Z \leq 1,0$;
- G è l'indice di terreno per effetti topografici, $G \geq 1,0$; $G = 1,0$ per terreno comune; $G = 1,1$ in altri casi (forte pendio, collina, etc.);
- U è l'indice d'uso legato all'importanza dell'edificio, $U \geq 1,0$; $U=1,0$ per edifici comuni.

Il valore standard I_{so} considera la forza di taglio di piano indipendente dall'azione sismica, tuttavia la risposta strutturale dipende, ovviamente, dalla forza sismica per cui tale valore è stato rivisto in tempi più recenti, considerando l'accelerazione spettrale al periodo di risposta della struttura in questione. In questo modo, l'andamento della distribuzione dell'azione sismica, su tutto lo sviluppo in altezza dell'edificio, assume un diagramma triangolare.

Il metodo I_s è molto utile in quanto permette di definire, nel caso di edifici in calcestruzzo armato, quali sono le misure da mettere in atto per effettuare l'adeguamento sismico ma presenta un grande limite per l'applicazione in grande scala in quanto la valutazione della vulnerabilità sismica si riferisce, esclusivamente, ad un singolo edificio.

2.2 La valutazione del rischio sismico per gli impianti industriali

Per valutare la vulnerabilità sismica nel caso di stabilimenti industriali, occorre, innanzitutto, effettuare un'accurata valutazione del rischio.

Le metodologie di valutazione del rischio sismico per gli impianti industriali si basano su tre tipi di approccio: deterministico, probabilistico e ibrido. Nel caso del rischio sismico, ragionando in termini deterministici, si può utilizzare l'analisi del "worst case" che consente di ricavare il peggiore scenario di rischio e le relative conseguenze.

Tuttavia, in tempi recenti, si è osservato che tale principio si è rivelato oltremodo conservativo, fornendo un valore di rischio estremamente elevato che non può essere ridotto attraverso interventi economicamente sostenibili. Di contro, il metodo probabilistico permette di ottenere risultati molto più realistici in quanto le incertezze sono inglobate in curve di distribuzione probabilistiche.

In tutti i casi, l'obiettivo di una valutazione del rischio è determinare dal punto di vista quantitativo o qualitativo le perdite in termini di vite umane, economiche ed i danni ambientali a seguito dell'accadimento di un "Top Event", ovvero un evento iniziatore. A tal proposito, è necessario osservare che non sussiste un principio di proporzionalità diretta tra la magnitudo o la gravità di un evento e le conseguenze generate dallo stesso. Infatti, a volte, anche incidenti minori possono provocare numerose perdite in termini di morti, feriti e danni ambientali. Per esempio, terremoti di bassa intensità possono causare dei cedimenti strutturali che, a loro volta, potrebbero innescare un rilascio di sostanze pericolose, con conseguenze incidentali catastrofiche.

I due parametri di riferimento per la valutazione del rischio di incidente rilevante sono il rischio individuale e il rischio sociale. Il rischio individuale è la frequenza annua con cui, in un certo punto di un'area geografica, in cui è presente un individuo in grado di proteggersi, si può verificare il danno di riferimento a causa di una o più sorgenti di rischio.

Il rischio sociale rappresenta la frequenza cumulata con la quale a seguito di tutti gli incidenti ipotizzabili, si ha nell'area considerata, un danno di riferimento non inferiore ad un numero N di individui coinvolti per l'area di impatto nel suo complesso. È rappresentato da curve $F - N$, ovvero valori F di frequenza annua cumulata con la quale, a seguito di tutti gli incidenti ipotizzabili, si ha nell'area considerata un danno di riferimento non inferiore a N numero di individuo.

L'analisi del rischio quantitativa (QRA) è finalizzata alla ricerca dei pericoli associati alle unità e a processi eseguiti nell'impianto che potrebbero portare all'incidente catastrofico. In passato, le procedure ingegneristiche per determinare quantitativamente gli effetti dell'azione sismica sull'apparecchiature industriali non state stabilite in maniera univoca e completa. Per questo motivo, attualmente, sono stati avviati numerosi studi da parte della comunità scientifica per sviluppare tecniche di analisi della vulnerabilità sismica sostenibili ed efficaci.

2.2.1 La valutazione della vulnerabilità sismica dei serbatoi

I serbatoi utilizzati nelle industrie possono essere di tre tipologie costruttive: rivettati, saldati o bullonati. Negli ultimi tempi, i serbatoi saldati hanno riscontrato un ampio successo e sono stati i più adottati.

Il comportamento dinamico di un serbatoio di stoccaggio è assimilabile ad un serbatoio idrico, infatti le procedure API Standard 620-650 fornite dall'*American Petroleum Institute* non prescrivono delle analisi dinamiche e gli effetti del sisma sono valutati, solamente, in termini di ribaltamento e taglio alla base.

I serbatoi possono essere ancorati o non ancorati al terreno, in tal caso, qualora il terreno presentasse dei bassi valori di resistenza, dovrebbero essere disposti sopra uno strato di ghiaia o una base in calcestruzzo. I serbatoi ancorati sono, generalmente, i più indicati se installati in una zona sismica.

I punti più critici di un serbatoio realizzato tramite saldatura sono, certamente, le giunzioni a livello del collegamento tetto/mantello e mantello/base. Infatti, tali saldature possono essere sottoposte a fenomeni corrosivi tali da favorire la formazione di cricche che, qualora soggette all'azione sismica, potrebbero propagarsi rapidamente.

Un altro aspetto critico per la risposta strutturale di un serbatoio di stoccaggio potrebbe essere la fondazione. Effettivamente, assumendo lo stesso livello di riempimento e le stesse dimensioni nominali, si può affermare che i recipienti posti su un letto di ghiaia sono soggetti, in maggior misura, al sollevamento e scivolamento laterale. Inoltre, se il terremoto fosse di forte intensità, si potrebbero manifestare delle rotture al livello della connessione tra la condotta e il mantello.

Il comportamento dinamico di un serbatoio di stoccaggio, sottoposto all'azione sismica, è caratterizzato, principalmente, da due modi di vibrare: il primo dovuto alla massa impulsiva contenuta all'interno che si muove in maniera solidale con il recipiente, il secondo prodotto dalla massa convettiva liquida tramite il fenomeno dello sloshing.

Lo sloshing è il fenomeno che è prodotto dal movimento di fluidi all'interno di contenitori rigidi. La sua influenza sullo stato tensionale indotto nei serbatoi in movimento è oggetto di numerosi studi e sperimentazioni.

I serbatoi pieni e quasi pieni hanno maggiore probabilità di collasso a causa del fenomeno dello sloshing in quanto induce ulteriori stati tensionali dovuti all'interazione tra il liquido e il mantello.

In uno studio condotto da Fabbrocino *et al.* sono state definite, in primo luogo, delle curve di fragilità sismiche riferite a serbatoi di acciaio a pressione atmosferica, al cui interno, sono contenuti delle sostanze infiammabili quali gasolio, kerosene e oli combustibili. In seguito, dopo aver definito le probabilità di guasto associate all'azione sismica, è stato modellato lo scenario incidentale di una perdita di contenimento.

Le curve di fragilità sono state ricavate per via empirica, attraverso un'analisi quantitativa e probabilistica del rischio sismico (QpsRA), determinando le probabilità di guasto per tutte le apparecchiature presenti all'interno dello stabilimento.

Si definisce probabilità di collasso P_f il valore tale che la domanda sismica D risulti superiore alla capacità sismica C , integrato su tutti i possibili valori di accelerazione al suolo di picco (PGA), ovvero la seguente relazione:

$$P_f = \int_0^{\infty} d(\Pr[D > C]) = \int_0^{\infty} [1 - F_D(u)] f_C(u) du \quad (2.5)$$

dove:

- F_D è la distribuzione di probabilità cumulativa della domanda sismica per un terremoto di una certa intensità;
- f_C è la funzione di densità probabilistica della capacità sismica di una determinata apparecchiatura.

In generale gli effetti del sisma sulle apparecchiature industriali possono essere valutati in termini di danni strutturali DS (*damage state*) o di perdita di contenimento RS (*risk state*). Quest'ultima risulta essere più significativa nel caso in cui l'analisi quantitativa generi valori di rischio elevato. In particolare, si definiscono tre livelli di rischio:

- RS1 a cui corrisponde un terremoto che genera danni strutturali lievi e nessuna perdita di contenimento
- RS2 per cui si hanno danni modesti al serbatoio e alle apparecchiature ausiliarie, con piccole perdite di contenimento.
- RS3 a cui corrisponde un terremoto in grado di compromettere l'integrità strutturale e generare una perdita totale di contenuto.

Le curve di fragilità, riportate in Figura 2.4, descrivono la risposta sismica del serbatoio in termini di probabilità di superamento di uno stato limite. Nello studio sono state considerate diverse condizioni di riempimento e di perdita di contenimento.

Si può osservare che la probabilità di rottura aumenta con la quantità di liquido contenuta all'interno del serbatoio.

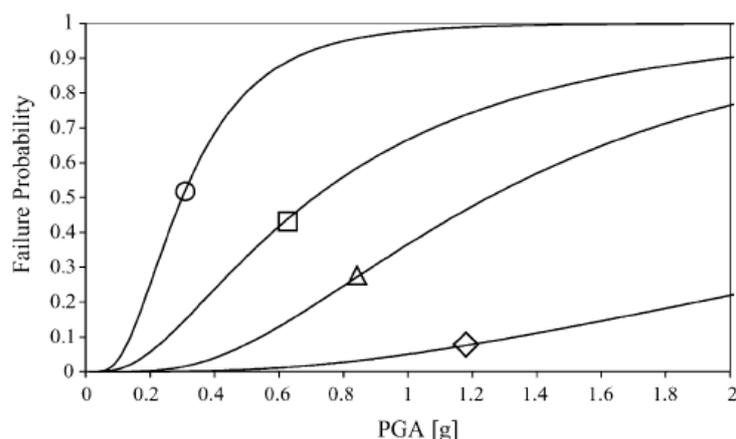


Figura 2.4 Curve di fragilità riferite a serbatoi ancorati alla base. (○) $RS \geq 2$, quasi pieno; (□) $RS = 3$, quasi pieno; (Δ) $RS \geq 2$, riempito a metà; (◇) $RS = 3$, riempito a metà. La probabilità di guasto è calcolata in termini di frequenze di guasto annuali.

Nell'analisi delle conseguenze sono state fissate delle perdite di contenimento da moderate ad estese, considerando una temperatura ambiente di 20°C . Il contributo maggiore al *flash fire* è dovuto principalmente, dal gasolio poiché è la sostanza più volatile. Invece, per il particolare layout dello stabilimento, oggetto dello studio, sono state escluse VCE (*Vapor Cloud Explosion*).

In accordo con il concetto di *worst case*, è stata assunta la massima quantità di vapore infiammabile che può essere rilasciato durante l'intero periodo analizzato.

I risultati dell'analisi quantitativa probabilistica del rischio sismico (QpsRA) sono stati confrontati con gli esiti della analisi del rischio quantitativa (QRA). Le principali differenze delle due metodologie sono la tipologia di top event e le probabilità di accadimento. I tassi di guasto e i casi di incidenti considerati nell'analisi del rischio quantitativa sono riportati in Tabella 2.3.

Tabella 2.3 Tassi di guasto e incidenti presi in esame nell'analisi del rischio quantitativa (QRA)

<u>Unità</u>	<u>Evento</u>	<u>Probabilità di accadimento</u>
Serbatoio di stoccaggio a pressione atmosferica	Perdita	1.0×10^{-4}
	Rottura catastrofica	6.0×10^{-6}
	Sovrappieno	2.7×10^{-6}
Pompa	Rottura catastrofica	1.0×10^{-4}
Braccio di carico	Perdita	3.0×10^{-6}
	Rottura catastrofica	3.0×10^{-8}
Condotte con $d > 150$ mm	Perdita	3.0×10^{-9}
	Rottura catastrofica	1.0×10^{-10}

Dal confronto Fabbrocino *et al.* hanno dedotto che, nel caso di depositi e impianti in cui sono detenute sostanze a bassa infiammabilità, se costruiti in aree ad alta sismicità, il rischio sismico è prevalente rispetto ad altri rischi dovuti alle normali operazioni di processo. Infatti, l'azione sismica può incidere, in maggior misura, sull'integrità strutturale degli edifici che presentano una maggiore probabilità di collasso. Invece, la perdita di contenimento, nel caso di sostanze poco infiammabili stoccate a pressione atmosferica, raramente, può generare scenari incidentali tali da causare dei crolli strutturali.

In un secondo studio, Fabbrocino e Iervolino hanno analizzato la vulnerabilità sismica di un serbatoio a pressione atmosferica, sottoposto ad una determinata azione sismica, in termini di funzione di probit.

La funzione di probit è molto utile perché può essere integrata con degli algoritmi di analisi del rischio quantitativo (QRA), implementati in passato, per individuare i valori di rischio individuale e il rischio sociale. Inoltre, attraverso l'uso dei coefficienti di probit, è possibile modellare il rischio sismico in base alle caratteristiche del serbatoio quali il livello di riempimento e la geometria.

La variabile probit Y rappresenta una relazione dose-effetto, ovvero è la probabilità di accadimento di un certo danno a causa di una variabile V . È esprimibile attraverso la seguente relazione:

$$Y = k_1 + k_2 \ln V \quad (2.6)$$

dove k_1 e k_2 sono i coefficienti di probit.

Fabbrocino e Iervolino hanno considerato l'accelerazione di picco al suolo (PGA) come variabile V mentre, per ciò che concerne il danno, hanno definito il danno strutturale e la perdita di contenimento del serbatoio soggetto al terremoto.

La funzione probit è associata alla probabilità di guasto P data dalla seguente relazione:

$$P(V) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Y-5} e^{-\frac{V^2}{2}} dV \quad (2.7)$$

Attraverso la relazione (2.7) si può tramutare la curva di fragilità in funzione probit, rispetto all'accelerazione di picco al suolo PGA. I risultati dell'analisi probit sono riportati in Figura 2.5, dove si osserva che il comportamento dei serbatoi in termini di funzione probit non differisce con il grado di riempimento ma solamente con lo stato di rischio RS.

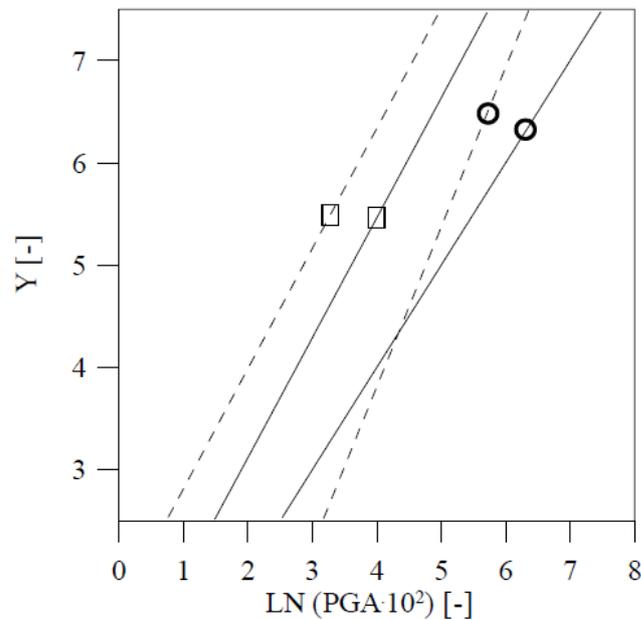


Figura 2.5 Analisi probit per serbatoi di acciaio in zona sismica. Il tratteggiato indica serbatoi con livello di riempimento >50 %. (□) RS2 (○) RS3

La principale conseguenza di un terremoto su uno stabilimento industriale in cui sono detenute e processate sostanze pericolose, è, indubbiamente, la perdita che può avvenire dal bacino di contenimento. Infatti, tale sversamento potrebbe generare degli ulteriori danni, anche più gravi, attraverso il cosiddetto effetto domino.

Per questo motivo il livello di riempimento di un serbatoio è il principale parametro di riferimento, utilizzato per effettuare un'analisi del rischio sismico quantitativa. Inoltre, bisogna sottolineare che i principali scenari di rischio quali l'incendio (*flash fire*, *pool fire* e *Vapour Cloud Explosion*) e la dispersione tossica sono strettamente connessi alla quantità di sostanza e prodotto presente all'interno dello stabilimento.

L'innesco di una pozza e di vapori infiammabili sono molto probabili nel caso di azione sismica. Quindi, in caso di terremoto di bassa o modesta entità le azioni dell'operatore e i dispositivi di sicurezza (per esempio l'impianto a sprinkler) devono prevenire o, almeno, mitigare il rischio di incendio o esplosione e ripristinare le condizioni iniziali nell'arco temporale di 10 minuti.

Nel caso di stato di rischio RS2, si può trascurare lo scenario di *Vapor Cloud Explosion* in quanto occorrono grandi tempi di permanenza della nube tossica per creare una miscela infiammabile.

In tutti gli altri casi, partendo dalle probabilità di accadimento del sisma e dalla probabilità di rottura del serbatoio, l'analisi deve essere effettuata considerando sia la nube tossica che la miscela esplosiva con l'aria. Inoltre, devono essere misurati gli effetti dovuti alla radiazione termica sulle strutture e sulla popolazione.

Nel caso di stato di rischio RS3, potrebbero manifestarsi degli incidenti catastrofici quindi l'operatore deve essere in grado di controllare ogni singola apparecchiatura.

In generale, devono essere passati in rassegna tutti le possibili conseguenze: incendio di pozza, *flash fire*, *vapor cloud explosion* e dispersione tossica. Tuttavia, la possibilità di accadimento di un *flash fire* e di una VCE sono strettamente dipendenti dalla reattività del combustibile e dalle caratteristiche geometriche sia della nube tossica sia dello stabilimento.

Un altro studio degno di nota è stato svolto da Brabhaharan *et al.* che ha analizzato e valutato il rischio incendio ed esplosione, associati a uno sversamento di petrolio da un serbatoio, causato da un evento sismico. L'analisi è stata effettuata adoperando le tecniche dell'albero dei guasti FTA (*Fault Tree Analysis*) e dell'albero degli eventi ETA (*Event Tree Analysis*).

L'albero dei guasti è una tecnica deduttiva che consente di stimare la probabilità di accadimento di un incidente (*Top Event*) a partire da un modello logico composto da "tutti" i possibili meccanismi di guasto di un sistema. Si basa su un approccio di natura deduttiva e sulle combinazioni di guasti e di malfunzionamento: di componenti base del sistema (valvole, raccordi di condotte, reattori ecc...), sistemi di sicurezza e fattori legati all'intervento umano e circostanze ambientali.

L'albero degli eventi è un modello logico che consente di identificare e quantificare possibili conseguenze determinate da un evento iniziatore. Dunque, l'approccio è di natura induttiva e fornisce delle sequenze incidentali.

La vulnerabilità dei serbatoi è stata valutata in base all'età, condizione, caratteristiche di progetto dei recipienti e alla tipologia di sisma. In particolare, sono stati considerati gli effetti più dannosi dovuti all'azione sismica quali il movimento del suolo, la liquefazione del terreno e le frane.

Uno studio commissionato da *US National Institute of Standards and Technology* (NIST), ha analizzato gli effetti di terremoti avvenuti tra il 1933 e il 1955 su dei serbatoi di petrolio. I danni che si sono manifestati in maniera più frequente, sono stati:

- la rottura a zampa di elefante o una deformazione al piede del serbatoio, prevalentemente, in corrispondenza del perimetro di appoggio dei serbatoi vincolati alla base;
- la rottura dei giunti di collegamento tra condotta e serbatoio;
- i danni al tetto dovuti al fenomeno dello sloshing;
- il sollevamento e il ribaltamento del serbatoio che potrebbe causare il collasso.

In generale, si può affermare che il comportamento di un serbatoio dipende:

- da fattori geometrici quali l'altezza H e il diametro D , infatti, recipienti con un rapporto D/H maggiore hanno meno probabilità di rottura a zampa di elefante;
- dal tipo di collegamenti utilizzati in quanto la rottura dei giunti può essere evitata utilizzando giunzioni flessibili;

- dalla complessità della forma poiché i recipienti di forma tronco-conica sono più vulnerabili rispetto ai serbatoi cilindrici in quanto presentano delle fragilità all'altezza del collegamento base-cono e rapporti D/H alti;
- dall'altezza cui è collegata la condotta di alimentazione dal momento che le probabilità di rottura aumentano se quest'ultima è attaccata al serbatoio in prossimità del basamento;
- dalla quantità di liquido immagazzinata che costituisce un fattore di rischio fondamentale perché i serbatoi pieni hanno maggiori possibilità di collasso.

Un altro aspetto da approfondire, per ciò che concerne il livello di vulnerabilità dei serbatoi e delle apparecchiature industriali, sono le caratteristiche geologiche e morfologiche del suolo. Infatti, in alcuni tipi di terreni si possono verificare dei fenomeni quali la liquefazione e l'espansione laterale che possono compromettere la tenuta e la stabilità strutturale dell'apparecchiatura.

La liquefazione del terreno avviene quando un sedimento, sottoposto a pressione e vibrazione, perde temporaneamente, ma improvvisamente, resistenza e si comporta come un liquido denso. Questo fenomeno può accadere su terreni sabbiosi o argillosi e in zone ricche d'acqua. Gli effetti più gravi di tale evento sono improvvise colate di fango e il cedimento delle fondazioni degli edifici che sprofondano per diversi centimetri nel terreno e, quindi, collassano.

Inoltre, Brabhaharan *et al.* hanno analizzato il concetto di rischio specifico in merito ad un rilascio di petrolio da un serbatoio di stoccaggio, formulando la seguente espressione:

$$\text{Rischio geometrico} = \text{geometria del foro} \times \text{probabilità di accadimento} . \quad (2.8)$$

Il rischio combinato, associato alla perdita di contenimento di petrolio, è stato valutato attraverso una combinazione del pericolo e delle conseguenze. Quest'ultime variano sensibilmente in base alle categorie cui sono riferite. Pertanto, i danni alle persone, edifici e all'ambiente naturale sono stati studiati separatamente attraverso l'utilizzo di coefficienti che hanno tenuto conto di fattori quali la densità di popolazione, l'uso della terra (*land use*) e l'impatto ambientale.

In virtù di tali considerazioni, il rischio combinato è espresso dalla seguente relazione:

$$\text{Rischio combinato} = \text{Rischio vita} \cdot W_P + \text{Rischio ambiente} \cdot W_{BE} + \text{Rischio strutture} \cdot W_{NE} \quad (2.9)$$

dove W_P , W_{BE} e W_{NE} rappresentano i coefficienti, rispettivamente, per il rischio vita, rischio ambiente e rischio strutture. Le singole categorie di rischio sono date dalle seguenti relazioni:

$$\text{Rischio vita} = \text{pericolo} \cdot \text{vulnerabilità umana} \quad (2.10)$$

$$\text{Rischio ambiente} = \text{pericolo} \cdot \text{vulnerabilità ambiente} \quad (2.11)$$

$$\text{Rischio strutture} = \text{pericolo} \cdot \text{vulnerabilità strutture} . \quad (2.12)$$

2.2.2 La modellazione dinamica di un serbatoio

Un serbatoio, secondo Kalita *et al.*, può essere schematizzato come un sistema fisico a 2 gradi di libertà. In particolare, per includere gli effetti della pressione idrodinamica, il modello massa molla, riportato in Figura 2.6, approssima in maniera abbastanza precisa il comportamento dinamico di un serbatoio sottoposto a un'azione sismica. Tuttavia, a causa delle numerose approssimazioni e semplificazioni, tale teoria risulta di difficile applicazione nei casi reali.

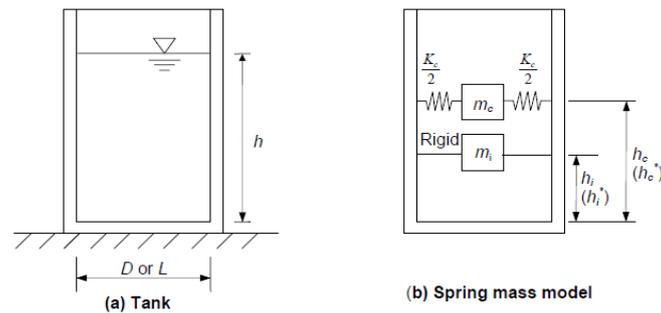


Figura 2.6 (a) Schema di serbatoio circolare o rettangolare, (b) modello massa molla

I parametri di questo modello, che sono riportati in Tabella 2.4, dipendono dalle caratteristiche geometriche e dalla flessibilità del serbatoio.

Tabella 2.4 Espressioni relative ai parametri utilizzati nel modello massa-molla

<u>Serbatoio circolare</u>	<u>Serbatoio rettangolare</u>
$\frac{m_i}{m} = \frac{\tanh\left(\frac{0.866D}{h}\right)}{0.866D/h}$	$\frac{m_i}{m} = \frac{\tanh\left(\frac{0.866L}{h}\right)}{0.866L/h}$
$\frac{m_c}{m} = \frac{0.23 \tanh\left(\frac{3.68h}{D}\right)}{h/D}$	$\frac{m_c}{m} = \frac{0.264 \tanh\left(\frac{3.68h}{L}\right)}{h/L}$
$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\text{Cosh}\left(\frac{3.68h}{D}\right) - 1.0}{3.68(h/D)\text{Sinh}\left(\frac{3.68h}{D}\right)}$	$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\text{Cosh}\left(\frac{3.16h}{L}\right) - 1.0}{3.16(h/L)\text{Sinh}\left(\frac{3.16h}{L}\right)}$
$K_c = 0.836 \left(\frac{mg}{h}\right) \tanh^2\left(\frac{3.68h}{D}\right)$	$K_c = 0.833 \left(\frac{mg}{h}\right) \tanh^2\left(\frac{3.16h}{L}\right)$
$\frac{h_c^*}{h} = 1 - \frac{\text{Cosh}\left(\frac{3.68h}{D}\right) - 2.01}{3.68(h/D)\text{Sinh}\left(\frac{3.68h}{D}\right)}$	$\frac{h_c^*}{h} = 1 - \frac{\text{Cosh}\left(\frac{3.16h}{L}\right) - 2.01}{3.16(h/L)\text{Sinh}\left(\frac{3.16h}{L}\right)}$
$\frac{h_i^*}{h} = \frac{0.866D}{h} \frac{0.125}{2 \tanh\left(\frac{0.866D}{h}\right)} \quad \text{se } \frac{h}{D} \leq 1.33$	$\frac{h_i^*}{h} = \frac{0.866L}{h} \frac{0.125}{2 \tanh\left(\frac{0.866L}{h}\right)} \quad \text{se } \frac{h}{L} \leq 1.33$
$\frac{h_i^*}{h} = 0.45 \quad \text{se } \frac{h}{D} > 1.33$	$\frac{h_i^*}{h} = 0.45 \quad \text{se } \frac{h}{L} > 1.33$
$\frac{h_i}{h} = 0.375 \quad \text{se } \frac{h}{D} < 0.75$	$\frac{h_i}{h} = 0.375 \quad \text{se } \frac{h}{L} < 0.75$
$\frac{h_i}{h} = 0.5 - \frac{0.09375}{\frac{h}{D}} \quad \text{se } \frac{h}{D} > 0.75$	$\frac{h_i}{h} = 0.5 - \frac{0.09375}{\frac{h}{L}} \quad \text{se } \frac{h}{L} > 0.7$

Legenda m_i = Massa di liquido impulsiva m = Massa totale di liquido nel serbatoio D = Diametro interno del serbatoio circolare H = Altezza massima del livello di liquido L = Lunghezza interna del serbatoio a pianta rettangolare in direzione della forza sismica h_i = Altezza della massa impulsiva rispetto al piano di riferimento (escluso lo spessore della base) h_i^* = Altezza della massa impulsiva rispetto al piano di riferimento (incluso lo spessore della base) m_c = Massa di liquido convettiva h_c = Altezza della massa convettiva rispetto al piano di riferimento (escluso lo spessore della base) h_c^* = Altezza della massa convettiva rispetto al piano di riferimento (incluso lo spessore della base) g = Accelerazione di gravità K_c = Rigidezza della molla (modo convettivo)

Il modello massa molla può essere utilizzato anche nel caso di serbatoio sopraelevato come rappresentato in Figura 2.7.

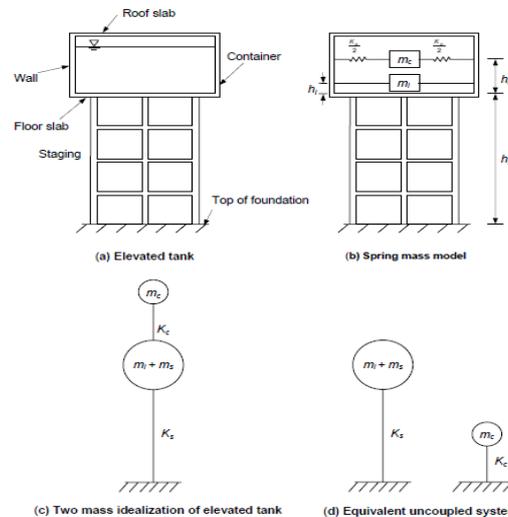


Figura 2.7 Modello massa molla applicato al caso di un serbatoio sopraelevato

L'applicazione del modello massa molla permette di ricavare numerosi parametri legati al fenomeno sismico quali il periodo di oscillazione del serbatoio, la pressione idrodinamica impulsiva, la pressione idrodinamica convettiva, il coefficiente di accelerazione sismica di progetto, il taglio alla base, la tensione di ancoraggio, l'altezza dell'onda di sloshing e l'accelerazione verticale del suolo.

Dall'osservazione è stato desunto che i serbatoi sopraelevati con struttura portante a fusto in calcestruzzo armato sono molto vulnerabili all'azione sismica in quanto sono state osservate delle fratture, soprattutto nella parte inferiore che risulta essere la più sollecitata in assoluto. In aggiunta, anche la giunzione tra il serbatoio e il supporto presenta diverse lesioni dovute al momento flettente.

Invece la struttura portante a telaio è, generalmente, superiore in termini di vulnerabilità sismica rispetto al supporto a fusto perché presenta un maggior numero di elementi resistenti ed è capace di subire sforzi anelastici. Ciò significa che un supporto costituito da collegamenti orizzontali e verticali è in grado di resistere in maniera duttile all'azione sismica mentre un supporto a fusto, a causa della parte sottile, non garantisce le stesse prestazioni.

Infine, per quanto concerne i serbatoi a terra si è osservato che la capacità di resistere all'azione sismica è migliore per valori di diametro inferiori a 15 m. Infatti, per i serbatoi più larghi sono state rilevate diverse fratture per flessione all'interfaccia mantello-copertura e sul piano equatoriale.

2.2.3 La valutazione della vulnerabilità sismica delle condotte

Lo studio della risposta sismica delle condotte richiede delle competenze multidisciplinari di ingegneria idraulica e ingegneria geotecnica in quanto è necessario analizzare il moto del fluido che attraversa la tubazione e l'interazione della condotta con il terreno.

Le condotte vengono interrato, principalmente, per due ragioni: in primo luogo perché, attraverso lo strato di terreno sovrastante, è possibile proteggere la condotta dall'effetto domino derivante dai crolli strutturali in superficie; in secondo luogo, il confinamento laterale del terreno contribuisce a mitigare l'azione inerziale dovuta al sisma.

I parametri di riferimento utilizzati nello studio, effettuato da Lanzano *et al.*, sono stati l'accelerazione di picco al suolo (PGA) e la velocità di picco al suolo (PGV). Tali valori sono stati misurati attraverso degli accelerometri su terremoti avvenuti nel passato.

L'analisi sismica è stata effettuata mediante verifiche secondo lo stato limite ultimo (SLU) in cui almeno uno dei due stati limite di danno deve essere soddisfatto per assicurare l'integrità o la continuità di esercizio.

Dell'analisi sismica è emerso che il principale fattore di rischio è rappresentato dal pericolo di incendio o esplosione a seguito di una rottura della condotta dovuta all'azione del terremoto. Inoltre, l'interazione suolo-condotta non è trascurabile e gli effetti idrodinamici nelle strutture che contengono i fluidi tengono conto di tutte le componenti di moto. È stato, altresì, osservato che le condotte con i valori di H/D (dove H rappresenta il livello di riempimento della condotta e D il diametro) superiore a 1,6 sono assimilabili a tubazioni interamente piene, con la massa totale di fluido che si muove in modo solidale con la condotta.

Ad ogni modo è necessario precisare che l'utilizzo di condotte continue è obbligatorio nel caso di sostanze inquinanti e infiammabili poiché hanno migliori caratteristiche di resistenza meccanica.

La risposta sismica di una condotta è stata calcolata dalla seguente relazione:

$$RR = aIM^b \quad (2.13)$$

dove RR è il numero di riparazioni per km di condotta, a e b sono due costanti che dipendono dalle caratteristiche di progetto della condotta e IM è l'intensità dell'azione sismica.

La probabilità di guasto, invece, è stata calcolata utilizzando la seguente espressione:

$$P_f = 1 - e^{-RR \cdot L} \quad (2.14)$$

dove L è la lunghezza della condotta. Tale relazione è stata determinata, assumendo che la condotta arriva a rottura quando si sviluppa almeno una cricca lungo tutta la sua lunghezza.

Tuttavia, queste formulazioni presentano il difetto di dipendere, essenzialmente, dal valore di RR e, quindi, dalla lunghezza della condotta che potrebbe non essere uniforme.

Un approccio più preciso e, certamente, più utile, consiste nell'analisi delle conseguenze della rottura della condotta in termini di tipologie di interventi necessari per ripristinare la tubazione e di costo di riparazione.

Si costruiscono delle curve di fragilità della condotta in analogia con quanto scritto per la stima dei danni dovuta all'azione sismica sulle apparecchiature presenti nell'impianto. Quindi, si definiscono due indicatori: DS (*Damage State*) e RS (*Risk State*) che rappresentano, rispettivamente, i possibili effetti negativi sulla popolazione o sull'ambiente esterno (per esempio un rilascio di sostanza tossica dovuto ad una perdita in condotta) e il danno strutturale della tubazione. Lo stato di rischio RS è collegato allo stato di danno in base allo stato fisico della sostanza contenuta all'interno della condotta. La classificazione del DS e del RS è riportata, rispettivamente, in Tabella 2.5 e in Tabella 2.6.

Per le sostanze in fase gas, lo stato di rischio RS0 corrisponde a DS0, dove il danno, anche se è grave, non provoca alcuna perdita di contenimento. Lo stato di rischio RS1 corrisponde a una quantità di sostanza rilasciata limitata e distingue le sostanze tossiche dalle sostanze infiammabili. Lo stato di rischio RS2 si riferisce al livello di rischio più alto con tempi di rilascio brevi.

Per i liquidi, invece, lo stato di rischio RS1 considera dei rilasci limitati ma continui nel tempo mentre lo stato di rischio RS2 prevede la rottura totale in prossimità di una sezione della condotta.

Tabella 2.5 Gli stati di danno (DS) per le condotte

<u>Stato</u>	<u>Pericolo</u>	<u>Danni strutturali</u>
DS0	Minore	Instabilità della condotta, danni lievi da ispezionare
DS1	Significativo	Rottura longitudinali e circonferenziali. Rottura del giunto di collegamento per compressione
DS2	Grande	Stati tensionali di rottura per le condotte continue. Disallineamento dei giunti di collegamento nelle condotte segmentate

Tabella 2.6 Gli stati di rischi (RS) per le condotte

<u>Stato</u>	<u>Pericolo</u>	<u>Perdita di contenimento</u>	
		<u>Gas/vapore/gas liquefatto</u>	<u>Liquido</u>
RS0	Nulla	Nessuna perdita	Perdita limitata
RS1	Basso	Perdita limitata: – tossica ($\phi < 1$ mm/m) – infiammabile ($\phi < 10$ mm/m)	Perdita limitata di sostanza pericolosa. Perdite multiple ($\phi < 10$ mm/m)
RS2	Alto	Perdita rilevante	Perdita rilevante. Perdite multiple ($\phi > 10$ mm/m)

Dal punto di vista geotecnico gli effetti dinamici di un terremoto possono essere le vibrazioni che si verificano nei pressi della faglia SGS (*Strong Ground Shaking*) e il cedimento del

terreno (*Ground failure*). Quindi, è possibile definire le curve di fragilità delle condotte come rappresentato in Figura 2.8.

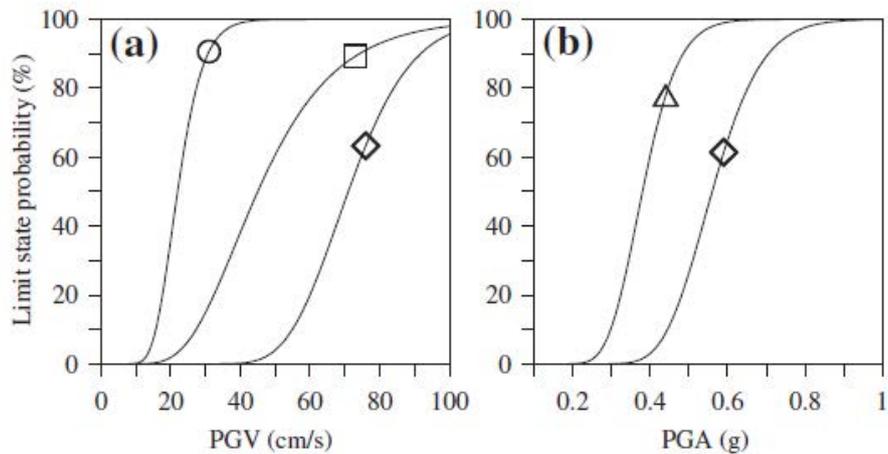


Figura 2.8 Curve di fragilità riferite a condotte interrato in riferimento alla probabilità di raggiungere uno stato limite per (a) *Strong ground shaking* e (b) *Ground failure*. (○) $RS \geq RS1$, condotte segmentate; (□) $RS \geq RS1$, condotte continue; (△) $RS = RS2$, condotte segmentate; (◇) $RS = RS2$, condotte continue.

Un interessante studio sulla risposta sismica di condotte sotterranee è stato effettuato da Lee *et al.*. Essi, assimilando la condotta a un elemento lineare connesso con il terreno alla Winkler (relazione non lineare), hanno eseguito diverse modellazioni, considerando diverse tipologie di condotte, caratteristiche del terreno, profondità della condotta, angolo di taglio e azioni sismiche.

I risultati in termini di deformazioni e spostamenti assiali e trasversali sono stati confrontati con le capacità meccaniche della condotta.

Pertanto, si è concluso che le deformazioni massime si manifestano in corrispondenza dell'estremità della condotta e decrescono, linearmente, verso il centro. Inoltre, la tipologia di terreno e la profondità influenzano, notevolmente, il fenomeno deformativo in quanto le condotte disposte all'interno di terreni argillosi presentano dei picchi di deformazioni maggiori mentre quelle collocate negli strati più profondi subiscono deformazioni minori.

Invece, gli spostamenti assiali non dipendono dalla tipologia di terreno ma dall'intensità dell'azione sismica. Infine, gli spostamenti trasversali sono maggiori in corrispondenza del centro della condotta e potrebbero essere accentuati in caso di una tubazione inserita all'interno di un terreno argilloso.

2.2.4 La modellazione dinamica delle condotte

Yigit *et al.* hanno studiato gli effetti della deformazione permanente del suolo e della propagazione delle onde sismiche sulle condotte. Tuttavia, tali studiosi hanno formulato una teoria che, in virtù delle numerose approssimazioni e semplificazione, non è sempre applicabile nei casi reali.

Le superfici di faglia, le frane, le scosse di assestamento e l'espandimento laterale causato dalla liquefazione del terreno sono alcuni degli esempi di deformazione permanente del suolo. È evidente che i danni arrecati alla condotta sono direttamente proporzionali allo spostamento del terreno per effetto della forza sismica.

Durante un terremoto, le condotte sotterranee possono essere danneggiate da forze che si manifestano all'altezza dell'interfaccia terreno-condotta. La deformazione indotta dal movimento del terreno si può scomporre in due componenti: longitudinale e trasversale.

Considerando un modello ideale di deformazione elasto-plastica, come riportato in Figura 2.9, si possono ricavare le rigidità longitudinali e trasversali, date dal rapporto tra il valore massimo di resistenza diviso la metà del valore di massima deformazione elastica tollerabile.

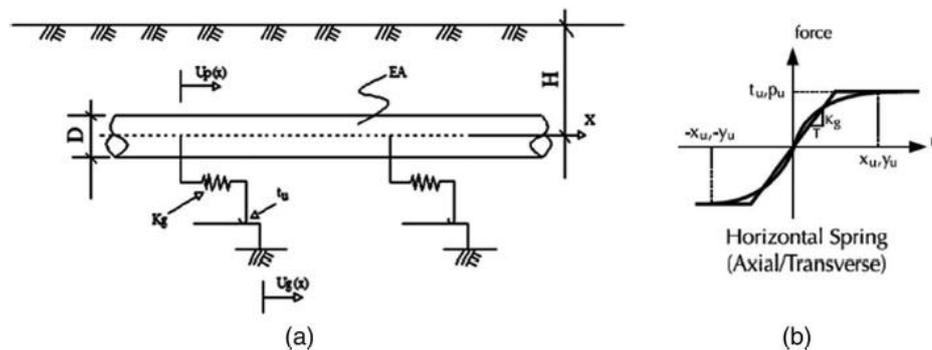


Figura 2.9 (a) Modello ideale di deformazione longitudinale di una condotta sotterranea, (b) relazione forza-spostamento

La rigidità assiale è data dalla seguente relazione:

$$k_u = \frac{2t_u}{x_u} . \quad (2.15)$$

Se il terreno è sabbioso, si ha:

$$t_u = \frac{\pi}{2} D \bar{\gamma} H (1 + k_0) \tan (k\phi) . \quad (2.16)$$

Se il terreno è argilloso, invece, si applica la seguente espressione:

$$t_u = \pi D \alpha S_u . \quad (2.17)$$

Dove:

- D è il parametro della condotta;
- S_u è la forza di taglio del terreno in condizioni non drenate;
- α è il coefficiente di adesione empirico;
- $\bar{\gamma}$ è il peso del terreno;
- H è la profondità della condotta calcolata dall'asse centrale;
- \emptyset è l'angolo di resistenza al taglio;
- k_0 è il coefficiente di pressione laterale del terreno a riposo;
- k è un fattore riduttivo che dipende dalla superficie esterna della condotta.

Il coefficiente di k_0 è dato dalla relazione:

$$k_0 = 1 - \sin \emptyset . \quad (2.18)$$

I valori relativi allo spostamento x_u e il fattore riduttivo k sono riportati rispettivamente, in Tabella 2.7 e in Tabella 2.8.

Tabella 2.7 Valori di spostamento massimo del terreno x_u

Terreno	Sciolto [m]	Medio [m]	Denso [m]
Sabbia	5×10^{-3}	4×10^{-3}	3×10^{-3}
Argilla	1×10^{-2}	9×10^{-3}	8×10^{-3}

Tabella 2.8 Valori del coefficiente riduttivo k

Superficie esterna della condotta	k
Calcestruzzo	1.0
Catrame	0.9
Acciaio tenace	0.8
Acciaio liscio	0.7
Resina epossidica	0.6
Polietilene	0.6

Il coefficiente di rigidità trasversale nel piano orizzontale è espresso dalla seguente relazione:

$$k_v = \frac{2p_u}{y_u} . \quad (2.19)$$

Per le sabbie, risulta che:

$$p_u = \bar{\gamma}HN_{qh}D \quad (2.20)$$

$$y_u = \begin{cases} (0.07 \sim 0.10) \left(H + \frac{D}{2} \right) & \text{terreno sciolto} \\ (0.03 \sim 0.05) \left(H + \frac{D}{2} \right) & \text{terreno medio} \\ (0.02 \sim 0.03) \left(H + \frac{D}{2} \right) & \text{terreno denso} \end{cases} \quad (2.21)$$

Invece, per i terreni argillosi, risulta la seguente:

$$p_u = S_u N_{ch} D \quad (2.22)$$

$$y_u = (0.03 \sim 0.05) \left(H + \frac{D}{2} \right). \quad (2.23)$$

Dove:

- N_{qh} è la capacità portante del terreno per la sabbia
- N_{ch} è la capacità portante del terreno per le argille.

Una modellazione per analizzare la deformazione indotta dal terreno che si muove in direzione trasversale rispetto l'asse della condotta è riportata in Figura 2.10.

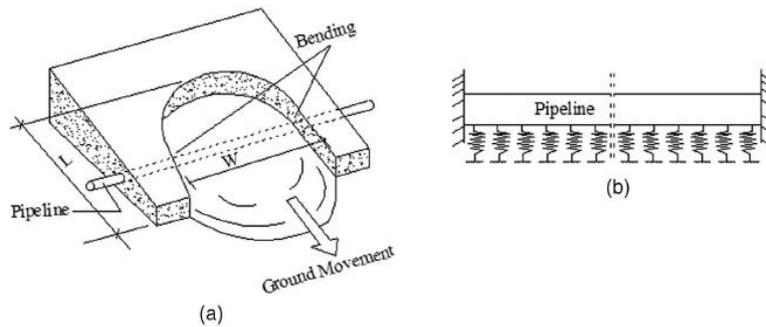


Figura 2.10 (a) Rappresentazione di movimento del terreno trasversale alla tubazione, (b) modello di interazione condotta-terreno

Ipotizzando un modello di trave su terreno di fondazione elastico, l'equazione che governa il fenomeno è la seguente:

$$EIv^{IV}(x) = q(x) \quad (2.24)$$

nella quale:

$$q(x) = k_v [u(x) - v(x)] \quad (2.25)$$

$$u(x) = \frac{\delta}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{W} \right). \quad (2.26)$$

Dove:

- W è l'ampiezza massima di PGD;
- δ è la deformazione massima di PGD;
- $u(x)$ è la funzione di spostamento laterale del terreno;

- $v(x)$ è la funzione di spostamento laterale della condotta;
- E modulo elastico della condotta
- I momento di inerzia della condotta

Si assume che:

$$4\beta_v = \frac{k_v}{EI}. \quad (2.27)$$

Allora risulta la seguente relazione:

$$v^{IV}(x) + 4\beta_v^4 v(x) = 2\beta_v^4 \delta \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{W}\right). \quad (2.28)$$

Considerando una rigidezza equivalente del terreno elastica e l'ampiezza della zona di scorrimento sufficientemente grande ($W \rightarrow \infty$), la funzione dello spostamento della condotta per effetto del movimento del suolo trasversale è dato dalla seguente espressione:

$$u(x) = \frac{\delta}{2} (1 - e^{-\beta_v x} \cos \beta_v x). \quad (2.29)$$

Le deformazioni massime ϵ_a e ϵ_b generate, rispettivamente, dallo sforzo normale e dal momento flettente sono date da:

$$\epsilon_a = -1 + \sqrt{1 + \frac{\beta_v^2 \delta^2}{4}}; \quad x = 0 \quad (2.30)$$

$$\epsilon_b = \frac{\delta \beta_v^2 e^{-\frac{\pi}{4}}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{D}{2}; \quad x = \frac{\pi}{4\beta_v} \quad (2.31)$$

dove D è il diametro della condotta.

Un esempio di interazione terreno-condotta per effetto del moto longitudinale del terreno rispetto la direzione della tubazione è rappresentato in Figura 2.11. Esso può essere descritto come una trave, soggetta a sforzo normale, e vincolata ai due estremi.

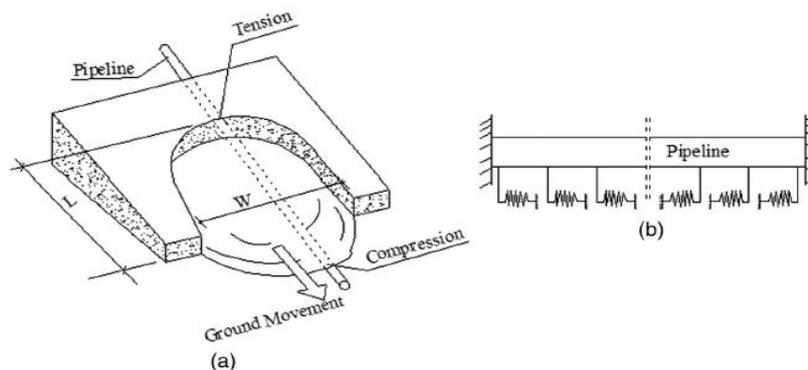


Figura 2.11 (a) Rappresentazione del movimento del terreno longitudinale alla tubazione, (b) modello di interazione condotta-terreno

In questo caso, l'equazione che governa il fenomeno è espressa dalla seguente relazione:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(EA \frac{\partial v}{\partial x} \right) = -q(x) \quad (2.32)$$

$$q(x) = k_u [u(x) - v(x)] \quad (2.33)$$

dove:

- k_u è il coefficiente di rigidezza equivalente longitudinale del terreno;
- $u(x)$ è lo spostamento longitudinale del terreno;
- $v(x)$ è lo spostamento longitudinale della condotta.

Pertanto, l'equazione che governa il fenomeno è divisa in due parti, ovvero risulta che:

$$v''(x) = -\frac{\beta_u^2 x u}{2} \quad [\delta - v(x)] > \frac{x u}{2} \rightarrow \text{regione plastica} \quad (2.34)$$

$$v''(x) = -\beta_u^2 [\delta - v(x)] \quad [\delta - v(x)] < \frac{x u}{2} \rightarrow \text{regione elastica} . \quad (2.35)$$

Si definisce la seguente:

$$\beta_u^2 = \frac{k_u}{EA} . \quad (2.36)$$

Si può assumere che lo spostamento del terreno è costante per tutta la lunghezza della condotta, ovvero:

$$u(x) = \delta . \quad (2.37)$$

Risolvendo l'equazioni si ottiene:

$$v(x) = \frac{1}{4} \begin{cases} \frac{2\delta + x u (2 + \beta_u l) \beta_u l}{1 + \beta_u l} \beta_u x - x u \beta_u^2 x^2 & \text{regione plastica } 0 < x < l \\ 2\delta - \frac{2\delta - x u \beta_u^2 l^2}{1 + \beta_u l} e^{(l-x)\beta_u} & \text{regione elastica } x > l \end{cases} . \quad (2.38)$$

La massima deformazione si ricava, ponendo $x = 0$. Quindi, utilizzando un'approssimazione secondo Gedikli, si ottengono le seguenti relazioni:

$$l = \frac{1}{\beta_u} \sqrt{\frac{2\delta}{x_u}} \quad (2.39)$$

$$\epsilon_a = \beta_u = \sqrt{\frac{x_u \delta}{2}} . \quad (2.40)$$

dove ϵ_a è la massima deformazione per effetto dello sforzo normale.

CAPITOLO 3

La valutazione della vulnerabilità sismica in ambito civile-ambientale

In questo capitolo della tesi si vuole redigere delle schede di valutazione con la finalità di determinare l'entità dei danni subiti dalle strutture civili, nella fase immediatamente successiva all'emergenza sismica. Inoltre, sono analizzati gli eventuali effetti indotti dal sisma alle infrastrutture, all'ambiente e alla idrogeologia del territorio. In altri termini, l'obiettivo è realizzare delle *check-list* che consentano alle squadre di soccorso, appartenente ad un ente di pubblica sicurezza, di effettuare una rapida valutazione dei danni arrecati alla popolazione in termini di perdite o danneggiamenti dei beni materiali e immateriali.

3.1 La procedura di valutazione dei danni

L'intervallo temporale di riferimento per la redazione delle schede di valutazione dei danni o di vulnerabilità comprende il periodo che intercorre tra la fase post-sisma e la fine dello stato di emergenza.

In Italia, lo stato di emergenza è un provvedimento adottato dal Governo, su proposta del presidente della Regione e delle Regioni interessate, di fronte al verificarsi o al rischio di un evento calamitoso naturale oppure legato all'attività dell'uomo. Gli eventi vengono classificati in tre categorie:

- la categoria A i cui interventi vengono gestiti a livello comunale;
- la categoria B che coinvolge province e regioni;
- la categoria C che comporta una direzione degli interventi a livello nazionale.

Lo scopo dello Stato di emergenza è quello di garantire l'immediatezza degli interventi a favore della popolazione e del territorio con mezzi e poteri straordinari. Gli interventi vengono decisi con ordinanze in deroga alle disposizioni di legge emanate dal capo della Protezione civile se la delibera del Governo non dice il contrario. La prima ordinanza nomina il commissario delegato che avrà la responsabilità di gestire gli interventi necessari per superare la situazione di emergenza.

La durata dello stato di emergenza non può superare i 180 giorni ma può essere prorogata di altri sei mesi con una nuova delibera del Consiglio dei Ministri.

È opportuno evidenziare che la finalità di una valutazione dei danni, rapida e coincisa, è diretta a scopi di pubblica sicurezza ovvero non costituisce una perizia tecnica dei danni rivolta ai proprietari dei beni coinvolti. Infatti, la quantificazione delle perdite in termini di patrimonio edilizio e apparecchiature industriali è necessaria per definire un programma di ricostruzione determinando le risorse economiche e i tempi necessari per ripristinare le condizioni ordinarie.

La valutazione degli impatti a breve termine, effettuata dalla squadra di soccorso, secondo Stannard *et al.*, prevede che:

- sia verificato l'uso in sicurezza delle strade adiacenti agli edifici danneggiati;
- sia garantita la sicurezza strutturale di base e la continuità di esercizio;
- sia minimizzato lo spostamento della popolazione residente;
- sia valutata la necessità di eseguire dei puntellamenti o delimitare l'area per motivi di sicurezza;
- sia stabilita la priorità delle demolizioni da effettuare sia in base a criteri di conservazione degli edifici per ragioni legate al valore storico dell'opera, sia per motivazioni di natura economica al fine di minimizzare gli impatti sui proprietari e la comunità.

Pertanto, il personale dovrà, attraverso un'ispezione visiva, osservare i danni in modo tale da valutare se la struttura sia agibile, ovvero stabilire, in linea di massima, se l'edificio sia in grado di subire ulteriori sollecitazioni. In Figura 3.1 sono riportate, in maniera sequenziale, le principali fasi di una procedura di valutazione dei danni rapida, effettuata dalle squadre di soccorso.

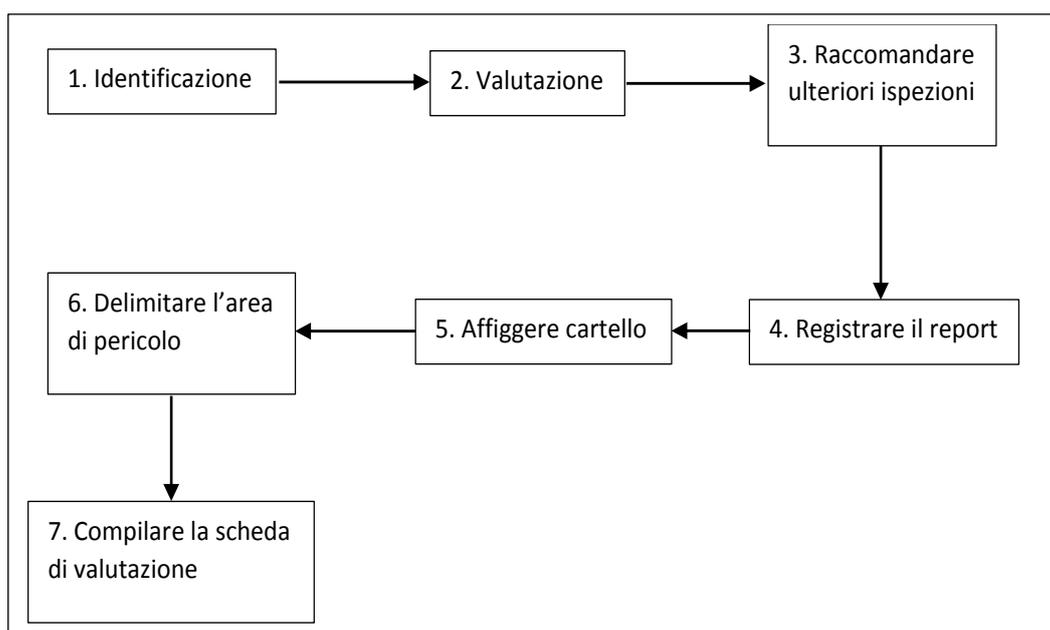


Figura 3.1 La procedura di valutazione della vulnerabilità

3.2 Le schede di valutazione della vulnerabilità sismica

Attualmente, in Italia, sono presenti diverse procedure per valutare gli effetti di un sisma sulle strutture civili che si basano, essenzialmente, sul giudizio di esperti. Una delle schede di valutazione più diffusa, nel territorio nazionale, è la scheda AeDES (Agibilità e Danno nell’Emergenza Sismica) che mira a determinare lo stato di danno, le caratteristiche tipologiche e l’agibilità della struttura ordinaria attraverso un rilevamento speditivo.

Un altro aspetto fondamentale, in sede di valutazione della vulnerabilità sismica, è la fruibilità immediata dei dati in modo da definire in tempi rapidi l’entità dei danni dal punto di vista economico, sociale e ambientale. Per tale ragione, la scheda AeDES, come descritto da Dolce *et al.*, è stata strutturata per consentire una migliore informatizzazione dei dati adottando un linguaggio comune nella descrizione dei danni e della tipologia strutturale.

L’adozione di un metodo che non presenti ambiguità è, indubbiamente, il fattore determinante per poter effettuare una valutazione completa e il più oggettiva possibile. In altri termini, la compilazione della check list di valutazione della vulnerabilità deve essere finalizzata a riportare una descrizione dei danni che rappresenti una fotografia della realtà ispezionata dall’osservatore. Tuttavia, a volte, è difficile raggiungere tale scopo a causa della grande varietà del patrimonio edilizio esistente in termini di tipologie costruttive, schemi strutturali e comportamento di risposta all’azione sismica.

Le schede, proposte in questo lavoro di tesi, sono indirizzate alle squadre di soccorso della protezione civile al fine di valutare l’entità dei danni, in fase post sisma. Di contro, tale procedura non attribuisce nessun giudizio relativamente all’agibilità strutturale, rimandando questo tipo di considerazioni alle successive ispezioni da parte di personale maggiormente qualificato che, in virtù delle competenze tecniche maturate negli anni di professione, potrà classificare l’agibilità del fabbricato.

Infine, gli effetti di un sisma non si limitano solamente alla parte meramente strutturale di un edificio ma ricadano, altresì, sugli impianti installati all’interno dell’edificio. Quest’ultimi possono essere classificati in quattro categorie: elettrico, idrico, gas e antincendio.

Pertanto, sono state prodotte delle schede di valutazione suddivise in 6 sezioni all’interno delle quali sono riportate le seguenti voci:

- identificazione;
- valutazione della vulnerabilità sismica strutturale;
- valutazione della vulnerabilità sismica non strutturale impiantistica, caso dell’impianto elettrico;
- valutazione della vulnerabilità sismica non strutturale impiantistica, caso dell’impianto idrico e di riscaldamento;
- valutazione della vulnerabilità sismica non strutturale impiantistica, caso dell’impianto antincendio;

- valutazione della vulnerabilità sismica infrastrutturale e dei servizi;
- valutazione degli effetti indotti dal sisma sull'ambiente;
- valutazione degli effetti indotti dal sisma sul terreno.

3.2.1 L'identificazione del sito e la descrizione dell'edificio

La prima fase della procedura di valutazione della vulnerabilità sismica è costituita dal reperimento delle informazioni relative al sito di accadimento, in modo tale da facilitarne l'identificazione e il successivo censimento.

Inoltre, in questa prima sezione, è possibile individuare la tipologia edilizia e la destinazione d'uso dei fabbricati danneggiati, le attività economiche coinvolte dal fenomeno sismico ed eventuali pericoli associati alle caratteristiche morfologiche del suolo nel quale è realizzato l'edificio.

Il campo "destinazione d'uso" potrebbe generare ambiguità, pertanto, a tal proposito, è opportuno effettuare delle precisioni. Le attività a carattere privato, quali gli studi professionali e le banche, sono da registrare come uffici. Invece, alla voce servizi pubblici vanno annoverati: le strutture per l'istruzione, per il culto religioso, per la cultura e lo sport. Un edificio strategico presenta questa denominazione in quanto svolge una funzione indispensabile all'espletamento di tutti i servizi di Protezione civile durante la fase di emergenza. Pertanto, gli ospedali, i comandi dei VVF, le caserme, i municipi e le stazioni di ogni tipologia rientrano all'interno di questa categoria.

Uno dei parametri di maggiore importanza riguarda il sito di costruzione dell'edificio poiché dalla posizione in cui lo stesso è stato realizzato, è possibile prevedere ulteriori fenomeni naturali che possono verificarsi contestualmente all'azione sismica. A titolo di esempio, si suppone che l'edificio oggetto dello studio di vulnerabilità sia allocato lungo un versante, allora a causa del sisma si potrebbero innescare fenomeni franosi che aumenterebbero l'entità del danno. Per questo motivo è stata inserita una scheda per valutare i danni legati al dissesto idrogeologico.

Infine, si ricorda che, per ricavare le informazioni necessarie utili all'identificazione, l'ispezione deve essere effettuata senza compromettere l'incolumità della squadra di soccorso. Quindi, è evidente che qualora non sia garantita la sicurezza strutturale, è bene evitare qualsiasi ispezione interna. In questo caso, in alternativa, risulta molto utile intervistare il proprietario dell'edificio o il tecnico che ha seguito i lavori di costruzione dell'edificio.

Scheda N°1	Informazioni di tipo generale	
Identificazione del sito		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Provincia: _____ ▪ Comune: _____ ▪ Frazione/Località: _____ ▪ Indirizzo: _____ ▪ Coordinate GPS: _____ 		
Descrizione dell'edificio		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Destinazione d'uso 	<input type="checkbox"/> civile abitazione <input type="checkbox"/> attività commerciale <input type="checkbox"/> uffici <input type="checkbox"/> strategico	<input type="checkbox"/> industria <input type="checkbox"/> turistica-ricettiva <input type="checkbox"/> deposito <input type="checkbox"/> servizio pubblico
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipologia di struttura 	<input type="checkbox"/> a telaio in c.a. <input type="checkbox"/> prefabbricata <input type="checkbox"/> muratura	<input type="checkbox"/> legno <input type="checkbox"/> acciaio <input type="checkbox"/> mista
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Numero di piani totali (fuori terra e interrati) 	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> >6	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Forma della pianta 	<input type="checkbox"/> U <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/> quadrato <input type="checkbox"/> rettangolo <input type="checkbox"/> altro	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Altezza di interpiano [m] 	<input type="checkbox"/> < 2.5 <input type="checkbox"/> 2.5 ÷ 3.5 <input type="checkbox"/> 3.5 ÷ 5.0 <input type="checkbox"/> > 5.0	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Superficie media di piano [m²] 	<input type="checkbox"/> < 50 <input type="checkbox"/> 50 ÷ 120 <input type="checkbox"/> 120 ÷ 200 <input type="checkbox"/> 200 ÷ 400 <input type="checkbox"/> > 400	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Età dell'edificio [anni] 	<input type="checkbox"/> < 10 <input type="checkbox"/> 10 ÷ 20 <input type="checkbox"/> 20 ÷ 40 <input type="checkbox"/> > 40 <input type="checkbox"/> n. d.	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Caratteristiche morfologiche 	<input type="checkbox"/> pianura <input type="checkbox"/> versante montuoso <input type="checkbox"/> riva di fiume/lago	<input type="checkbox"/> collinare <input type="checkbox"/> costa <input type="checkbox"/> altro
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proprietà 	<input type="checkbox"/> pubblica <input type="checkbox"/> privata <input type="checkbox"/> n. d.	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipologia di edificio 	<input type="checkbox"/> isolato <input type="checkbox"/> a schiera <input type="checkbox"/> a torre <input type="checkbox"/> in linea <input type="checkbox"/> altro	

3.2.2 La valutazione della vulnerabilità sismica strutturale

Il primo ambito di valutazione della vulnerabilità è costituito dall'analisi strutturale relativamente a tutti gli elementi costituenti la struttura dell'edificio. Infatti, come è noto, l'azione sismica viene dissipata dal fabbricato attraverso un'energia di deformazione che modifica le capacità strutturali, generando delle lesioni, nei casi di sismi a bassa intensità, e delle possibili rotture, per terremoti di magnitudo più considerevoli.

Le schede sono suddivise in due sezioni in base al tipo di schema strutturale adottato. Si è scelto di valutare lo schema a telaio in cemento armato (c.a.) e in muratura portante poiché rappresentano le tipologie più comuni nel mondo delle costruzioni edili. In tutti i casi, le sezioni sono dedicate all'osservazione dello stato di danno sia per ciò che concerne gli elementi strutturali propriamente detti, in quanto svolgono una funzione di sostegno dei carichi verticali e orizzontali, sia per gli elementi non strutturali quali le pareti di chiusura, i serramenti, i comignoli ecc...

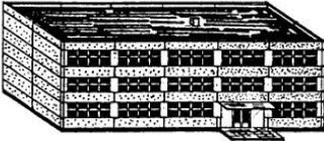
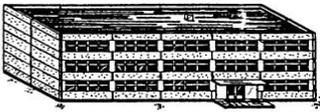
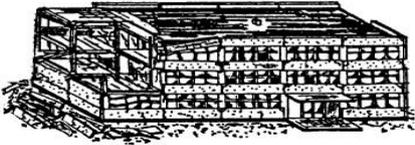
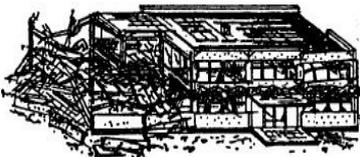
In generale, la vulnerabilità sismica delle strutture in muratura dipende da innumerevoli fattori quali: la scarsa qualità dei materiali, l'eccessiva snellezza delle pareti, la mancanza di connessioni tra le pareti e gli orizzontamenti, l'irregolarità geometrica in pianta e/o in altezza. Invece, le strutture in c.a. sono più adatte a resistere all'azione sismica sia per le proprietà meccaniche sia per le caratteristiche geometriche che, solitamente, possiedono questi tipi di edifici. Infatti, lo schema strutturale, in questo caso, ha una conformazione più regolare che conferisce all'edificio migliori capacità di assorbimento dell'energia sismica. Tuttavia, le strutture in c.a. sono caratterizzate da valori di massa considerevoli che, a causa della natura inerziale della forza sismica, producono grandi sollecitazioni nei confronti degli elementi strutturali (travi e pilastri).

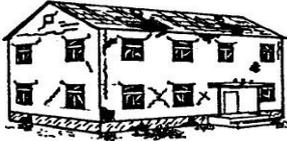
Per questo motivo le strutture che presentano il miglior comportamento sismico sono, indubbiamente, le strutture in acciaio in quanto possiedono dei valori di massa minori e garantiscono meccanismi deformativi di tipo duttile.

Ad ogni modo, per tutte le tipologie costruttive, i danni più evidenti e visibili sono riportati dalle parti non strutturali che sono progettati per assorbire le deformazioni fino alla rottura, nel caso di forzanti sismiche elevate. Alcuni esempi più significativi sono le pareti di chiusura perimetrale, il vano scale, i comignoli, le tegole ecc.

La procedura, che adotta un metodo ad indice, è divisa in due parti attraverso le quali è possibile, in primo luogo, effettuare una valutazione specifica di ogni singola categoria di elementi, assegnando un valore da 1 (nessun danno) a 5 (danno gravissimo) e, in seconda battuta, descrivere mediante un punteggio totale l'entità del danno globale riportato dall'edificio per effetto dell'azione sismica.

Scheda N°2		Valutazione della vulnerabilità sismica strutturale					
Valutazione specifica							
Assegnare un punteggio da 1 a 5 a ciascuna dei seguenti elementi. Il valore 1 corrisponde a nessun danno mentre il valore 5 a danno gravissimo. Il non applicabile è da considerarsi nullo ovvero avrà valore 0. Il totale sarà dato dalla somma aritmetica delle singole voci.							
N°	Elemento da analizzare	Valutazione del danno					
1	Pilastrì	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
2	Travi	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
3	Solai	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
4	Muri portanti	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
5	Copertura	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
6	Scale	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
7	Corridoi	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
8	Tamponature e tramezzi	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
9	Intonaco, rivestimenti e controsoffitti	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
10	Comignoli	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
11	Grondaie	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
12	Cornicioni, parapetti	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
13	Balconi, ballatoi	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
14	Serramenti	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
15	Vano ascensore	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
16	Garage, box auto	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
17	Vani tecnici	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
Tot.							

Scheda N°3		Valutazione della vulnerabilità sismica strutturale	
Valutazione complessiva: edificio in cemento armato			
Descrizione generale	Illustrazione	Valutazione	Entità del danno
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nessun danno strutturale ▪ Lievi danni non strutturali ▪ Cricche sottili in qualche parete o in corrispondenza delle travi o dei pilastri ▪ Caduta di piccoli pezzi di intonaco dalle pareti di chiusura perimetrali 	 Edificio integro	Tot. ≤ 20	Nessuno
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lievi danni strutturali ▪ Modesti danni non strutturali ▪ Cricche su molte pareti, sulle travi e sui pilastri ▪ Caduta di grandi pezzi di intonaco e di malta 	 Edificio con lievi danni non strutturali	20 < Tot. ≤ 25	Lieve
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modesti danni strutturali ▪ Gravi danni non strutturali ▪ Cricche estese e diffuse sui nodi dell'edificio ▪ Cedimento del cemento (copriferro) e deformazione delle armature (tondini) ▪ Rottura parziale o totale dei vetri e dei serramenti 	 Edificio con modesti danni strutturali	25 < Tot. ≤ 35	Modesto
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gravi danni strutturali ▪ Gravissimi danni non strutturali ▪ Inclinazione dei pilastri ▪ Rottura delle travi e dei pilastri ▪ Collasso del pavimento dei piani superiori ▪ Accesso vietato a gran parte dell'edificio ▪ Vie di uscita non praticabili 	 Edificio gravemente danneggiato	35 < Tot. ≤ 50	Grave
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Collasso dell'intero edificio 	 Edificio collassato	Tot > 50	Gravissimo

Scheda N°4		Valutazione della vulnerabilità sismica strutturale	
Valutazione complessiva: edificio in muratura			
Descrizione generale	Illustrazione	Valutazione	Entità del danno
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nessun danno strutturale ▪ Lievi danni non strutturali ▪ Cricche sottili in qualche parete ▪ Caduta di piccoli pezzi di intonaco o di pietre dalla parte superiore dell'edificio 	 Edificio integro	Tot. ≤ 20	Nessuno
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lievi danni strutturali ▪ Modesti danni non strutturali ▪ Cricche su molte pareti e finestre ▪ Caduta di grandi pezzi di intonaco ▪ Parziale crollo del camino 	 Edificio con danni non strutturali	$20 < \text{Tot.} \leq 25$	Lieve
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modesti danni strutturali ▪ Gravi danni non strutturali ▪ Cricche estese e diffuse su quasi tutte le pareti ▪ Distacco delle tegole ▪ Crollo totale del camino ▪ Accesso ristretto ad alcuni locali 	 Edificio con modesti danni strutturali	$25 < \text{Tot.} \leq 35$	Modesto
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gravi danni strutturali ▪ Gravissimi danni non strutturali ▪ Lesioni gravi delle pareti esterne ▪ Crollo della copertura e dei solai ▪ Accesso vietato a gran parte dell'edificio ▪ Vie di uscita non praticabili 	 Edificio gravemente danneggiato	$35 < \text{Tot.} \leq 50$	Grave
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Collasso totale dell'edificio 	 Edificio collassato	Tot. > 50	Gravissimo

3.2.3 La valutazione della vulnerabilità sismica degli impianti

In questa sezione vengono passati in rassegna l'entità dei danni riportati dagli impianti presenti all'interno dell'edificio. In particolare, nella prima parte è effettuata la valutazione della vulnerabilità sismica relativamente all'impianto elettrico, nella seconda è analizzato lo stato di danno dell'impianto idrico e delle condotte del gas e, infine, nell'ultima scheda, è approfondito lo studio degli eventuali danni, arrecati dall'azione sismica, all'impianto antincendio.

La funzionalità di tutti gli impianti installati in un edificio dipende dalla continuità di servizio assicurata dall'impianto elettrico che, spesso, risulta essere sollecitato dall'azione sismica. In questo caso, i danni più frequenti sono l'arresto immediato dell'ascensore, lo spostamento dei trasformatori dalla loro sede di installazione, il crollo di pareti o parti architettoniche sul quadro elettrico generale che causano l'interruzione di corrente elettrica, la caduta delle lampade e degli apparecchi luminosi dal controsoffitto.

Pertanto, lo studio della vulnerabilità sismica associato all'impiantistica è strettamente interconnesso con tutti gli elementi strutturali e non strutturali dell'edificio. Infatti, è noto che uno spostamento di un elemento architettonico può avere serie ripercussioni sulla tenuta delle tubazioni, dei collegamenti elettrici e di ogni altro tipo di componente impiantistico.

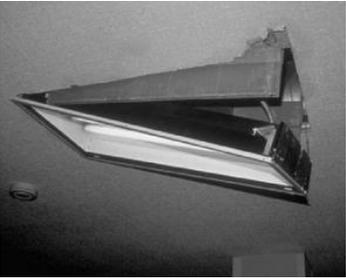
Un esempio evidente, in tal senso, è rappresentato dall'installazione dei pannelli solari sulla copertura dell'edificio in quanto, in questo caso, il cedimento strutturale alla sommità dell'edificio potrebbe causare dei danni irreversibili all'impianto fotovoltaico.

Relativamente al tema della sicurezza impiantistica, è opportuno evidenziare che una corretta progettazione antisismica dovrebbe tenere conto delle problematiche legate alla configurazione strutturale e al lay-out impiantistico. Sotto questi punti di vista, le maggiori criticità sono riscontrabili in prossimità della connessione staffa-tubazione, negli elementi di sostegno e negli ancoraggi.

Tra gli impianti maggiormente sollecitati dall'azione sismica vanno annoverati, indubbiamente, l'impianto antincendio e le condotte del gas. Tale fatto è stato comprovato analizzando i danni di alcuni terremoti recenti i quali hanno messo in luce delle criticità in termini di perdite idriche e perdite di gas. Il rischio, in questo caso, è il possibile allagamento, incendio o esplosione che, chiaramente, amplificano l'entità dei danni generati dal sisma.

Nella fattispecie, i componenti costituenti l'impianto antincendio devono garantire un duplice livello di sicurezza. Infatti, devono resistere, in primo luogo, alla forza sismica in modo da non collassare e ostruire le vie di fuga, e, contestualmente, assicurare la piena funzionalità in caso di emergenze. Per quest'ultimo motivo, una verifica di vulnerabilità sismica degli impianti è assolutamente imprescindibile per tutte le attività strategiche quali gli ospedali, i comandi dei VVF, le stazioni ferroviarie e gli aeroporti.

Scheda n°5		Valutazione della vulnerabilità sismica non strutturale impiantistica					
Valutazione specifica: impianto e apparecchiature elettriche							
Assegnare un punteggio da 1 a 5 a ciascuna dei seguenti elementi. Il valore 1 corrisponde a nessun danno mentre il valore 5 a danno gravissimo. Il non applicabile è da considerarsi nullo ovvero avrà valore 0. Il totale sarà dato dalla somma aritmetica delle singole voci.							
N°	Elemento	Valutazione del danno					
1	Linea di distribuzione della corrente elettrica	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
2	Cavi elettrici o conduttori generici	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
3	Contatore	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
4	Cassette di derivazione	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
5	Prese elettriche	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
6	Quadro elettrico	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
7	Interruttore differenziale (salvavita)	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
8	Interruttore magnetotermico	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
9	Luci di emergenza	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
10	Impianto di messa a terra (dispersori)	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
11	Generatore di emergenza	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
12	Impianto fotovoltaico	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
13	Sistema di protezione contro le scariche atmosferiche (parafulmine)	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
14	Parabola o antenna TV	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
15	Dispositivo apertura automatico cancello	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
16	Gruppo elettrogeno	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
17	Cavi di rete internet e telefono	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
18	Sala server	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
19	Trasformatore	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
Tot.							

Scheda N°6	Valutazione della vulnerabilità sismica non strutturale impiantistica		
Valutazione complessiva: impianto e apparecchiature elettriche			
Descrizione generale	Illustrazione	Valutazione	Entità del danno
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Il quadro elettrico è integro e accessibile ▪ Nessun cavo conduttore a vista ▪ L'impianto fotovoltaico può essere ripristinato agevolmente ▪ Le luci di emergenza sono attive 	 <p>Edificio con impianto fotovoltaico integro</p>	Tot. ≤ 20	Nessuno
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Il quadro elettrico è integro ma parzialmente accessibile ▪ Modesti danni alla linea prese e nessun cavo a vista ▪ L'impianto fotovoltaico è stato danneggiato in maniera reversibile ▪ Le luci di emergenza sono fuori uso ▪ Possibile distacco delle plafoniere 	 <p>Distacco della plafoniera</p>	20 < Tot. ≤ 30	Lieve
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Il quadro elettrico è stato danneggiato ▪ Cavi conduttori a vista ▪ L'impianto fotovoltaico è danneggiato in maniera irreversibile ▪ Le luci di emergenza sono fuori uso ▪ Danni al gruppo elettrogeno 	 <p>Danni al gruppo elettrogeno</p>	30 < Tot. ≤ 40	Modesto
<ul style="list-style-type: none"> ▪ I gravi danni strutturali hanno causato l'interruzione d'uso degli impianti ▪ Il quadro elettrico non è più accessibile ▪ I cavi della linea di distribuzione sono stati danneggiati ▪ L'impianto fotovoltaico distrutto 	 <p>Quadro elettrico non accessibile per distacco del controsoffitto</p>	40 < Tot. ≤ 60	Grave
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ogni componente dell'impianto elettrico è stato danneggiato 	 <p>Linee di distribuzione della corrente elettrica danneggiate</p>	Tot. > 60	Gravissimo

Scheda N°7		Valutazione della vulnerabilità sismica non strutturale impiantistica
Valutazione complessiva: impianto idrico e riscaldamento		
Assegnare un punteggio da 1 a 5 a ciascuna dei seguenti elementi. Il valore 1 corrisponde a nessun danno mentre il valore 5 a danno gravissimo. Il non applicabile è da considerarsi nullo ovvero avrà valore 0. Il totale sarà dato dalla somma aritmetica delle singole voci.		
N°	Elemento	Valutazione del danno
1	Condotte idriche della rete di distribuzione dell'acqua potabile	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
2	Condotte idriche di scarico dell'acque nere e grigie	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
3	Condotte idriche per la distribuzione dell'acqua calda e fredda	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
4	Autoclave	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
5	Riduttore di pressione	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
6	Boiler	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
7	Centrale termica (caldaia)	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
8	Serbatoio idrico di accumulo domestico	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
9	Condotta del gas	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
10	Serbatoio metano/gpl	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
11	Stufa	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
12	Canali di distribuzione dell'aria	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
13	Unità di trattamento dell'aria	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
	Tot.	

Scheda N°8	Valutazione della vulnerabilità sismica non strutturale impiantistica		
Valutazione complessiva: impianto idrico e riscaldamento			
Descrizione generale	Esempio	Valutazione	Entità del danno
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le condotte idriche sono integre ▪ Nessuna perdita di gas ▪ La caldaia è funzionante ▪ L'impianto di condizionamento dell'aria può essere ripristinato agevolmente 	 <p>Impianto di condizionamento (unità centrale)</p>	Tot. ≤ 15	Nessuno
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le condotte idriche sono leggermente danneggiate ma nessuna perdita ▪ Nessuna perdita dalle condotte di gas ▪ La caldaia può non essere funzionante ▪ L'impianto di condizionamento dell'aria è danneggiato 	 <p>Caldaia non funzionante</p>	15 < Tot. ≤ 20	Lieve
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perdita discontinua dalle condotte idriche ▪ Perdita dal serbatoio idrico ▪ Nessuna perdita dalle condotte di gas ▪ La caldaia è stata danneggiata severamente ▪ L'impianto di condizionamento dell'aria è danneggiato irreversibilmente 	 <p>Perdita da una condotta idrica</p>	20 < Tot. ≤ 25	Modesto
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perdita continua dalla condotta di adduzione dell'acqua potabile ▪ Serbatoio idrico danneggiato ▪ Perdita possibile dalla condotta di gas ▪ Perdita dalle condotte delle acque nere o grigie 	 <p>Perdita continua da una condotta di adduzione dell'acqua potabile</p>	25 < Tot. ≤ 30	Grave
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Possibilità di contaminazione dell'acqua potabile per la perdita dalla rete fognaria ▪ Rischio incendio o esplosione per la perdita di gas 	 <p>Valvola di sicurezza (particolare)</p>	Tot. > 30	Gravissimo

Scheda N°9		Valutazione della vulnerabilità sismica non strutturale impiantistica
Valutazione specifica: impianto e presidi antincendio		
Assegnare un punteggio da 1 a 5 a ciascuna dei seguenti elementi. Il valore 1 corrisponde a nessun danno mentre il valore 5 a danno gravissimo. Il non applicabile è da considerarsi nullo ovvero avrà valore 0. Il totale sarà dato dalla somma aritmetica delle singole voci.		
N°	Elemento	Valutazione del danno
1	Rilevatori di fumo e allarme incendio	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
2	Idranti e naspi	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
3	Estintori	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
4	Serbatoio idrico di emergenza	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
5	Ascensore antincendio	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
6	Impianto automatico a pioggia (sprinkler)	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
7	Scala antincendio esterna	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
8	Porta REI	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
9	Maniglione antipánico	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
10	Segnaletica di emergenza	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
11	Condotte antincendio	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
12	Gruppo di pressurizzazione (pompe antincendio)	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
13	Colonna a secco	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
	Tot.	

Scheda N°10		Valutazione della vulnerabilità sismica non strutturale impiantistica	
Valutazione complessiva: impianto e presidi antincendio			
Descrizione generale	Esempio	Valutazione	Entità del danno
<ul style="list-style-type: none"> ▪ I presidi antincendio (estintori, idranti e nspi) sono accessibili ▪ L'ascensore è funzionante ▪ Le vie di esodo sono sgombre e usufruibili ▪ Le luci di emergenza sono attive 	 <p style="text-align: center;">Idrante Estintore</p>	Tot. ≤ 15	Nessuno
<ul style="list-style-type: none"> ▪ I presidi antincendio (estintori, idranti e nspi) sono parzialmente accessibili ▪ L'ascensore è fuori uso ▪ Le vie di esodo sono sgombre e usufruibili ▪ Le luci di emergenza sono fuori uso 	 <p style="text-align: center;">Ascensore fuori uso</p>	15 < Tot. ≤ 20	Lieve
<ul style="list-style-type: none"> ▪ I presidi antincendio (estintori, idranti e nspi) sono parzialmente accessibili ▪ L'ascensore è fuori uso ▪ Le vie di esodo non sono completamente sgombre ▪ Le luci di emergenza sono fuori uso 	 <p style="text-align: center;">Illuminazione di emergenza</p>	20 < Tot. ≤ 25	Modesto
<ul style="list-style-type: none"> ▪ I presidi antincendio (estintori, idranti e nspi) non sono accessibili ▪ Sono presenti ostacoli lungo le vie di esodo 	 <p style="text-align: center;">Scala antincendio non praticabile a causa dello sventramento della parete di tamponamento</p>	25 < Tot. ≤ 30	Grave
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impianto antincendio completamente fuori uso e vie di esodo non accessibili 	 <p style="text-align: center;">Crollo in prossimità di un'uscita di emergenza</p>	Tot. > 30	Gravissimo

3.2.4 La vulnerabilità sismica delle infrastrutture

L'Italia è un paese caratterizzato da un grande numero di viadotti, gallerie e infrastrutture non a norma antisismiche perché costruite in un periodo storico in cui non esisteva un corpo legislativo che regolasse la progettazione con criteri antisismici. In tempi recenti, il caso del crollo del viadotto Morandi a Genova è rappresentativo della fragilità delle infrastrutture presenti sul nostro territorio nazionale. Inoltre, dal momento che il collasso è avvenuto in condizioni pseudo-statiche, si può certamente affermare che una forzante dinamica quale un evento sismico possa mettere in crisi, in maggior misura, la tenuta strutturale delle infrastrutture del nostro Paese.

L'analisi della vulnerabilità sismica delle infrastrutture è assolutamente indispensabile poiché i danni arrecati dal sisma potrebbero ostacolare o, nei casi peggiori, impedire l'accessibilità alle zone colpite. Inoltre, è necessario sottolineare che le reti stradali possono essere colpite, con conseguenze nefaste, anche da i fenomeni indotti dal sisma quale le frane o le alluvioni che verranno analizzate nel dettaglio successivamente.

Le infrastrutture rivestono il ruolo di life-lines ovvero sono essenziali per lo sviluppo e la continuità delle attività umane. Inoltre, alcune infrastrutture, si definiscono critiche in quanto svolgono delle funzioni rilevanti per l'economia del territorio e per l'incolumità dei cittadini. Pertanto, in sede di valutazione dei danni, il compito principale della squadra di soccorso è, in primo luogo, stimare l'integrità strutturale delle infrastrutture critiche e, in seguito, allargare il campo delle valutazioni sulle infrastrutture minori.

In generale, le infrastrutture, a seconda delle dimensioni, si dividono in due macrocategorie: le infrastrutture a rete e le infrastrutture puntuali. Le arterie stradali, le ferrovie, le condotte del gas sono classificabili come infrastrutture a rete in quando si sviluppano per lunghezze considerevoli. Invece, ad esempio, gli aeroporti costituiscono un'infrastruttura puntuale poiché sono identificabili in uno specifico punto spaziale. Ad ogni modo, la check list mira ad analizzare entrambe le tipologie di infrastrutture.

Da un'analisi storica si può affermare che le strutture più vulnerabili sono rappresentate dai ponti e viadotti in quanto un eventuale crollo determinerebbe l'isolamento terreno della comunità asservita dall'infrastruttura. Tale conseguenza è amplificata qualora il ponte o il viadotto sia realizzato presso un'arteria autostradale o lungo una via ferroviaria.

Invece, in ambito urbano, un'interruzione della circolazione di uomini e mezzi di soccorso è ascrivibile alla caduta di calcinacci a seguito dell'oscillazione degli edifici prospicienti la strada. La formazione di detriti e calcinacci è dovuta principalmente al tipo di materiale da costruzione utilizzato, infatti i materiali lapidei tendono a collassare immediatamente se sottoposti all'azione sismica mentre il calcestruzzo armato si deforma in maniera duttile e genera una quantità di detriti minore.

Scheda N°11		Valutazione della vulnerabilità sismica delle infrastrutture					
Valutazione specifica: infrastrutture e servizi							
Assegnare un punteggio da 1 a 5 a ciascuna dei seguenti elementi. Il valore 1 corrisponde a nessun danno mentre il valore 5 a danno gravissimo. Il non applicabile è da considerarsi nullo ovvero avrà valore 0. Il totale sarà dato dalla somma aritmetica delle singole voci.							
N°	Elemento	Valutazione del danno					
1	Strade	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
2	Vie pedonali	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
3	Piste ciclabili	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
4	Collegamenti trasporto pubblico (bus, tram, metropolitana)	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
5	Viadotti	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
6	Gallerie	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
7	Interporto	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
8	Ferrovia (stazione e reti ferroviarie)	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
9	Aeroporto	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
10	Porto	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
11	Rete telefonica	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
12	Rete informatica	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
13	Impianti di telecomunicazione e radiotelevisione (antenne, cavi ecc..)	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
14	Condotte idriche di adduzione dell'acqua potabile	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
15	Serbatoio idrico cittadino	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
16	Diga o argini	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
17	Centrale elettrica	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
18	Cabina elettrica	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
19	Rete di distribuzione primaria del gas	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
20	Rete di distribuzione secondaria del gas	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
Tot.							

Scheda N°12		Valutazione della vulnerabilità sismica delle infrastrutture	
Valutazione complessiva: infrastrutture e servizi			
Descrizione generale	Esempio	Valutazione	Entità del danno
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le principali arterie del territorio non hanno riportato danni ▪ L'aeroporto e/o la stazione ferroviaria e/o il porto garantiscono il regolare servizio ▪ Le infrastrutture di rete sono integre e funzionanti 	 <p>Acquedotto non danneggiato dal terremoto</p>	Tot. ≤ 20	Nessuno
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alcune arterie secondarie sono danneggiate ma parzialmente percorribili ▪ L'aeroporto e/o la stazione ferroviaria e/o il porto garantiscono il regolare servizio ▪ Le infrastrutture di rete sono integre e funzionanti 	 <p>Strada danneggiata ma percorribile a senso unico alternato</p>	$20 < \text{Tot.} \leq 30$	Lieve
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alcune arterie secondarie presentano delle crepe e non sono percorribili ▪ L'aeroporto e/o la stazione ferroviaria e/o il porto sono parzialmente chiusi ▪ Le infrastrutture di rete sono danneggiate e non garantiscono la piena operatività 	 <p>Binari danneggiati dall'azione sismica</p>	$30 < \text{Tot.} \leq 40$	Modesto
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alcune strade non sono accessibili, possibili danni strutturali a ponti e gallerie ▪ L'aeroporto e/o la stazione ferroviaria e/o il porto sono chiusi ▪ Le infrastrutture di rete sono danneggiate in maniera rilevante 	 <p>Strada interdetta al transito</p>	$40 < \text{Tot.} \leq 60$	Grave
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Il territorio colpito dal sisma è completamente isolato 	 <p>Crollo del Tacoma bridge (USA)</p>	Tot. > 60	Gravissimo

3.2.5 La valutazione degli effetti sismici indotti sull'ambiente

Dal punto di vista ambientale, gli effetti indotti di un sisma su un territorio possono creare delle problematiche più o meno gravi, sulla salute e sul benessere economico della popolazione residente.

La gestione dei rifiuti solidi urbani è un esempio di criticità ambientale indotta in quanto il sisma potrebbe produrre dei danni alle strutture e all'impianti di trattamento dei rifiuti. In condizioni di emergenza, la protezione civile si occupa della raccolta, del trasporto e dello smaltimento dei rifiuti solidi.

Tuttavia, secondo Gabrielli *et al.*, relativamente alla gestione dei rifiuti, malgrado il grande numero di eventi sismici che colpiscono il nostro paese, non esiste un piano strutturato, per gestire la fase emergenziale. Dal punto di vista normativo, si è fatto ricorso all'istituto della deroga al D. Lgs. 152/06 che, in occasione di ogni evento calamitoso, ha consentito l'utilizzo di siti di stoccaggio temporanei e ha eliminato l'obbligo di pretrattamento dei rifiuti prima dello smaltimento in discarica.

Un altro aspetto di primaria importanza è relativo allo smaltimento dei detriti a seguito delle lesioni, rotture e crolli subite da i vari edifici. In questo caso, un ulteriore deroga ha permesso il trasporto anche con mezzi non conformi. Inoltre, considerato che il nostro patrimonio edilizio è stato costruito, in maggior parte negli anni 60 e 70, un'attenzione particolare è riservata allo smaltimento dell'amianto.

La tutela igienico-sanitaria è un altro tema trattato dalla *check list*, dove vengono riportate delle voci relative alla contaminazione delle acque, alla qualità dell'arie e alla presenza di siti contaminati.

L'alterazione delle proprietà chimiche e organolettiche delle acque distribuite dalla rete idrica può avvenire sia a causa di rotture alle condotte sia per la contaminazione delle falde acquifere. Questo potrebbe comportare la proliferazione di batteri e microrganismi con il rischio di diffusione di malattie infettive.

Un terremoto, come scritto nel precedente capitolo, può produrre effetti devastanti sulla qualità dell'aria e sull'intero ecosistema, soprattutto se colpisce un'area fortemente industrializzata. Anche la presenza di siti contaminati contribuisce ad amplificare le conseguenze di un evento sismico in termini di impatto ambientale. Un sito contaminato è un'area nel quale l'attività umana ha modificato, in maniera negativa per la salute umana, il suolo, il sottosuolo e le acque sotterranee.

La valutazione dei danni, arrecati dal terremoto, sulle aree verdi dei centri abitati, sui parchi nazionali, sulle riserve naturali è oggetto di questa sezione. Infatti, i parchi cittadini sono dei luoghi di ricreazione sociale e di aggregazione che, in una fase di ricostruzione post-sisma, possono assumere ancora più importanza per migliorare il benessere psico-fisico della comunità.

Scheda N°13		Valutazione degli effetti indotti dal sisma sull'ambiente					
Valutazione specifica: matrice aria, acqua e suolo							
Assegnare un punteggio da 1 a 5 a ciascuna dei seguenti elementi. Il valore 1 corrisponde a nessun danno mentre il valore 5 a danno gravissimo. Il non applicabile è da considerarsi nullo ovvero avrà valore 0. Il totale sarà dato dalla somma aritmetica delle singole voci.							
N°	Elemento	Valutazione del danno					
1	Rimozione e smaltimento dei detriti	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
2	Qualità delle acque superficiali e sotterranee	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
3	Qualità dell'aria	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
4	Presenza di siti contaminati	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
5	Presenza di rifiuti solidi urbani (RSU)	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
6	Presenza di rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE)	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
7	Presenza di rifiuti industriali pericolosi	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
8	Impianto di depurazione delle acque reflue	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
9	Giardino pubblico	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
10	Riserva naturale						
11	Suolo agricolo	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
12	Presenza di aree ad elevata concentrazione di radon	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
13	Presenza di allevamenti	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
14	Centrali eoliche	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
15	Centrali fotovoltaiche	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
	Tot.						

Scheda N°14		Valutazione degli effetti indotti dal sisma sull'ambiente	
Valutazione complessiva: matrice aria, acqua e suolo			
Descrizione generale	Esempio	Valutazione	Entità del danno
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nessuna presenza di detriti da rimuovere e smaltire ▪ Le condizioni igienico-sanitarie sono ottimali ▪ Nessun danno alle coltivazioni e allevamenti ▪ Gli impianti di produzione di energia da fonti rinnovabile sono perfettamente funzionanti 	 <p>Terreno agricolo non danneggiato dal sisma</p>	Tot. ≤ 15	Nessuno
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Presenza di piccole quantità di detriti ▪ Le condizioni igienico-sanitarie sono ottimali ▪ Danno minori alle coltivazioni e allevamenti ▪ Impianto di depurazione dell'acque reflue non danneggiato 	 <p>Crollo di un muro a secco</p>	15 < Tot. ≤ 20	Lieve
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Presenza cospicua di detriti da smaltire ▪ Verificare la salubrità dell'acqua potabile ▪ Danni alle coltivazioni e allevamenti ▪ Possibili danni alle unità dell'impianto di depurazione delle acque reflue 	 <p>Possibile contaminazione dell'acqua potabile</p>	20 < Tot. ≤ 25	Modesto
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Presenza massiccia di detriti anche di grandi dimensioni ▪ Condizioni igienico-sanitarie a rischio per contaminazione delle acque e dei rifiuti urbani e/o industriali ▪ Danni estesi alle coltivazioni e allevamenti 	 <p>Terreno ad uso agricolo danneggiato dal sisma</p>	25 < Tot. ≤ 30	Grave
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Probabilità alta di epidemie a seguito della contaminazione delle acque e del suolo ▪ Presenza di innumerevoli detriti per il crollo di un grande numero di edifici ▪ Chiusura delle attività agricole e di allevamento 	 <p>Detriti su un centro abitato</p>	Tot. > 30	Gravissimo

3.2.6 *La valutazione degli effetti sismici indotti sul terreno*

Come già trattato in precedenza, si è osservato che gli effetti di un sisma sul territorio possono essere diretti e indotti. I primi sono connessi al movimento delle faglie per effetto della propagazione dell'energia sismica e allo scuotimento del suolo. Invece, le conseguenze indotte sono la liquefazione del terreno, le frane, gli smottamenti, i maremoti, le alluvioni, gli incendi e altri fenomeni che sono causati dell'evento sismico.

La liquefazione avviene prevalentemente nelle zone pianeggianti lungo le coste marine o le rive dei fiume ma si può manifestare, con effetti più disastrosi, anche nei siti in pendenza dove si possono innescare colate di materiale. Questo tipo di fenomeno naturale che, può comportare delle modifiche sostanziali alla morfologia del territorio, dipende fortemente dalla granulometria e dalla densità del terreno.

Pertanto, i terremoti possono causare il distacco di roccia e terreno dai pendii ovvero le frane. Tra le tipologie di frane più comuni si possono annoverare: le colate di detriti o di terra, lo scivolamento rotazionale (slumps) e, in materiali fortemente coesi, le frane da crollo.

Le colate di detriti o di terra è un movimento distribuito in maniera continua all'interno della massa spostata. Lo scivolamento rotazionale è un movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia che avviene per deformazioni di taglio lungo una o più superfici o entro uno spessore limitato di materiale. Le frane da crollo sono assimilabili a una massa che si stacca da un versante molto acclive e che, successivamente, si muove per caduta libera, rimbalzo o rotolamento.

Nelle regioni montuose l'energia impressa dal sisma può mettere in moto una massa di neve o ghiaccio e dare origine alle valanghe. Quest'ultime, durante il percorso, perdono una discreta quantità di ghiaccio e si combinano con il terreno, generando una pericolosa colata di materiale denso.

Un altro elemento che interagisce con l'azione sismica, generando potenziali effetti disastrosi, è l'acqua. A tal proposito, i principali fenomeni associati alla presenza di acqua sono i maremoti, le inondazioni e le sesse.

Il maremoto è un fenomeno fisico dovuto a movimenti tellurici sottomarini ovvero con epicentro prossimo alla costa o al di sotto del fondo marino. Esso avviene in prossimità delle zone di subduzione e produce lo spostamento di ingenti masse d'acqua sottoforma di onde che possono raggiungere, in prossimità delle coste, altezze fino a decine di metri.

Le inondazioni è un fenomeno connesso allo straripamento dei corsi d'acqua dal loro letto o bacino, dovuto, ad esempio, alla rottura di dighe o di serbatoi a causa dell'azione sismica. Anche le deformazioni tettoniche e le frane possono ostacolare i corsi d'acqua e generare straripamenti.

Il fenomeno della sessa è un movimento periodico delle acque, all'interno di un bacino chiuso come i laghi, i fiordi e le baie, che può generare un'alluvione sui territori limitrofi.

Scheda N°15		Valutazione indotta dal sisma sul terreno					
Valutazione specifica: dissesto idrogeologico, flora e fauna							
Assegnare un punteggio da 1 a 5 a ciascuna dei seguenti elementi. Il valore 1 corrisponde a nessun danno mentre il valore 5 a danno gravissimo. Il non applicabile è da considerarsi nullo ovvero avrà valore 0. Il totale sarà dato dalla somma aritmetica delle singole voci.							
N°	Fenomeno o elemento	Valutazione del danno					
1	Instabilità del versante (frane, smottamento, colate di fango)	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
2	Liquefazione del terreno	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
3	Fratturazioni	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
4	Fagliazione superficiali	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
5	Valanghe	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
6	Boschi e foreste	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
7	Esondazione	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
8	Alluvione	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
9	Sesse	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
10	Maremoto	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
11	Flora	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
12	Fauna	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
		Tot.					

Scheda N°16		Valutazione degli effetti indotti dal sisma sul terreno	
Valutazione complessiva: dissesto idrogeologico			
Descrizione generale	Esempio	Valutazione	Entità del danno
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Moto del terreno impercettibile ▪ Probabilità nulla di liquefazione del terreno ▪ Nessuna criticità connessa alla presenza di corpi idrici 	 <p>Corso d'acqua non perturbato dall'azione sismica</p>	Tot. ≤ 15	Nessuno
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Possibili danni a strutture per il moto del terreno ▪ Bassa probabilità di liquefazione del terreno ▪ Nessuna criticità connessa alla presenza di corpi idrici 	 <p>Spostamento del terreno</p>	15 < Tot. ≤ 20	Lieve
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Moto del terreno veloce con possibili danni lievi alle strutture e immobili ▪ Bassa probabilità di liquefazione del terreno ▪ Possibili esondazioni di estensione minore ▪ Alcune specie animali possono essere ferite o in stato di shock, gli alberi e le piante sradicate dal terreno 	 <p>Piena del fiume</p>	20 < Tot. ≤ 25	Modesto
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Moto del terreno veloce con impossibilità di evacuazione per le persone, danni strutturali ingenti ▪ Alta probabilità di liquefazione ▪ Possibili esondazioni molto estese ▪ Alcune specie animali possono presentare ferite mortali, gli alberi e le piante sono sradicate dal terreno 	 <p>Cedimento strutturale a causa della liquefazione del terreno</p>	25 < Tot. ≤ 30	Grave
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Frane di eccezionale violenza. Edifici distrutti per impatto del materiale, morti ed impossibilità di fuga ▪ Possibili alluvioni e maremoti ▪ Danni ingenti alla flora e alla fauna 	 <p>Colata di fango</p>	Tot. > 30	Gravissimo

CAPITOLO 4

La valutazione della vulnerabilità sismica in ambito industriale

In questo capitolo, dopo una breve descrizione del metodo di valutazione del rischio sismico quantitativo, sarà effettuata una classificazione strutturale delle principali apparecchiature utilizzate in complesso produttivo industriale. Inoltre, sarà proposto uno schema di modellazione dinamica di un serbatoio e di una condotta.

4.1 La vulnerabilità sismica delle strutture industriali

La società e l'economia moderna dipendono fortemente da innumerevoli infrastrutture critiche che, attraverso un'analisi storica degli eventi sismici accaduti negli ultimi due decenni, si sono rilevate essere, sempre più, fortemente interconnesse e vulnerabili. Infatti, diversi esperti, all'interno della comunità scientifica, affermano che stia diminuendo la capacità di tutte le strutture industriali di resistere agli eventi estremi in quanto il progresso della tecnica non è stato accompagnato da un analogo avanzamento degli strumenti e delle metodologie di valutazione del rischio sismico.

Ad esempio, durante il terremoto di Izmit nel 1999, è avvenuta l'interruzione della fornitura di energia elettrica per alcuni giorni, il collasso di ponti lungo delle autostrade, la sospensione dell'erogazione dell'acqua potabile e l'incendio alla raffineria di Tupras che si è propagato sull'attività industriali limitrofi. Invece, lo tsunami nell'oceano Indiano nel 2004 e il terremoto di Haiti nel 2010 hanno distrutto diverse infrastrutture critiche quali scuole, ospedali, uffici pubblici e altri edifici strategici.

Dal punto di vista normativo la direttiva Seveso III in allegato 2, punto 4) obbliga i gestori degli impianti di processo ad inserire nel rapporto di sicurezza una descrizione dettagliata dei possibili scenari di incidenti rilevanti e delle loro probabilità di accadimento o delle

condizioni in cui tali scenari possono prodursi, includendo, tra l'altro, la ricerca delle possibili cause naturali quali il terremoto.

4.1.1 L'analisi del rischio sismico quantitativa

L'analisi sismica quantitativa (QRA), secondo Caputo *et Al.*, rappresenta una valutazione analitica del rischio sismico attraverso un metodo rigoroso, riproducibile e accettato dalla comunità scientifica.

Tuttavia, la procedura esistente per determinare gli impatti di un evento naturale non può essere applicata in maniera adeguata in quanto non tiene conto dell'interazione tra i possibili guasti che si possono manifestare, contestualmente, su più apparecchiature. Infatti, la procedura tradizionale consiste nell'analisi di una perdita di contenimento o di una rottura, riferite ad una singola unità dell'impianto, facilitando l'implementazione di tecniche di valutazione fondate su modelli logici (albero delle cause e degli eventi).

Recentemente, per semplificare l'analisi probabilistica del rischio Na-tech, sono state proposte delle nuove metodologie basate sulla stima dei parametri delle grandezze rappresentanti il fenomeno naturale, sulla determinazione delle probabilità di danno delle unità dell'impianto coinvolte e sulla valutazione delle probabilità e dalla magnitudo associate all'evento.

La determinazione del comportamento dei componenti critici quali i serbatoi, le condotte a gomito e le flange bullonate costituisce una delle maggiori difficoltà relative all'applicazione dell'analisi del rischio quantitativa.

Inoltre, un'ulteriore criticità della procedura è quantificare il grado di resilienza di sistemi complessi come gli impianti di processo in termini di robustezza e capacità di recupero poiché, molto spesso, la conoscenza del comportamento delle varie unità è molto limitata.

L'analisi del rischio quantitativo sismico è applicata con ottimi risultati sia nel settore civile sia nel settore industriale, soprattutto nel caso degli impianti nucleari. Invece, relativamente al settore chimico, il metodo di valutazione del rischio sismico deve essere adattato all'impianto specifico. Questa caratterizzazione è necessaria per alcuni motivi:

- le apparecchiature di un impianto di processo sono dislocate in una ampia area e non sono concentrate in un singolo punto;
- ogni unità dell'impianto contiene un quantitativo più o meno rilevante di sostanze pericolose che, se disperse nell'aria, possono provocare conseguenze molto gravi quali: l'irraggiamento di radiazione termica, la formazione di un'onda d'urto, la proiezione di frammenti e il collasso dell'apparecchiatura;
- le unità sono interconnesse tramite delle condotte o delle strutture di supporto formando una potenziale sorgente di pericolo lineare per cui una QRA, su una singola apparecchiatura, potrebbe risultare insufficiente;

- l'azione sismica può generare dei danni su più apparecchiature in maniera simultanea, innescando una catena incidentale multipla nella quale è difficile determinare l'evento finale.

Pertanto, a differenza di un'analisi del rischio di un impianto nucleare, considerando l'elevato numero di scenari incidentali potenziali, non è fattibile rappresentare tutti i possibili top event adoperando la tecnica dell'albero dei guasti. Inoltre, poiché i dati presenti in letteratura si riferiscono ad eventi non sismici, un'analisi quantitativa applicata al caso di un impianto di processo soggetto all'azione sismica potrebbe rilevarsi estremamente difficile e inefficace.

Ad ogni modo, è fondamentale definire i passaggi operativi per eseguire una QRA:

- 1) classificazione delle unità di processo, identificazione degli stati limite specifici e dei modi di guasto causati dall'esposizione sismica;
- 2) caratterizzazione del pericolo sismico attraverso una definizione di frequenza annuale media di superamento di una data soglia di intensità sismica;
- 3) derivazione di curve di fragilità per le apparecchiature critiche che descrivono la probabilità di superamento di un certo livello di danno, riferita ad un valore di intensità sismica;
- 4) definizione delle regole per associare una perdita di contenimento ad un certo stato di danno;
- 5) generazione di uno scenario incidentale basato sulle curve di fragilità;
- 6) quantificazione della perdita di contenimento associata all'unità danneggiata dal terremoto, includendo una stima della sorgente e degli effetti fisici per ogni scenario incidentale;
- 7) analisi delle conseguenze basata sull'identificazione dello scenario incidentale e sulla valutazione dell'area di danno;
- 8) stima dei danni probabili, dei feriti e delle perdite economiche sia individuali sia sociali;
- 9) stima del rischio e classificazione degli scenari.

4.1.2 La classificazione strutturale delle apparecchiature

Un processo industriale si fonda sull'utilizzo di un grande numero di apparecchiature che, a loro volta, permettono l'esecuzione delle varie fasi operative.

Una prima classificazione delle apparecchiature industriali, effettuata da Yigit *et al.*, si basa sulle caratteristiche strutturali e non strutturali dei vari componenti perché la resistenza strutturale influisce in maniera preponderante sulla eventuale perdita di contenimento e sull'analisi del rischio in termini di entità dei danni.

È evidente che una corretta e completa classificazione delle unità di un impianto di processo è possibile tramite il giudizio di esperti, i quali attraverso un'esperienza consolidata negli anni, riescono ad interpretare al meglio la risposta della struttura all'azione sismica.

In generale, i professionisti riescono a identificare le tipologie di danni più comuni e le relative conseguenze attraverso le ispezioni nella fase post incidentale. Le informazioni più dettagliate sono disponibili in letteratura e basandosi su tali dati è possibile distinguere le unità di processo in 4 categorie:

- serbatoi snelli;
- apparecchiature tozze sopra suolo;
- apparecchiature tozze supportate da colonne;
- sistemi di condotte.

I serbatoi cilindrici appartengono alla prima categoria in quanto sono caratterizzati da un rapporto altezza diametro molto elevato, tipicamente compreso tra 5 e 30. Inoltre, questi tipi di serbatoi possono differenziarsi in: serbatoi verticali cilindrici, serbatoi verticali alti e serbatoio cilindrici orizzontali.

I serbatoi verticali cilindrici sono direttamente ancorati alla struttura di fondazione e non presentano variazione di sezione. Alcuni esempi sono le colonne di distillazione e i reattori che presentano una distribuzione della massa uniforme.

I serbatoi verticali alti e snelli sono vincolati in due punti: alla base con la struttura di fondazione e lungo lo sviluppo in altezza. Questa categoria include colonne molto strette e alte quali le ciminiere e le torce. Inoltre, considerando che al loro interno contengono esclusivamente gas in pressione, la massa totale è assimilabile con la struttura stessa.

I serbatoi cilindrici sono vincolati alla base da almeno due connessioni, generalmente, costituiti da supporti sella. Fanno parte di questa categoria la maggior parte dei serbatoi di stoccaggio e lo scambiatore di calore a fascia tubiero e mantello.

I danni più frequenti, nel caso dei serbatoi verticali snelli, si manifestano nella zona di transizione tra la gonna e il mantello e all'altezza della connessione alla base con la struttura di fondazione. Ciò accade, principalmente, perché questi tipi di serbatoi sono soggetti sia allo snervamento lungo la gonna sia alla fuoriuscita dei bulloni dell'ancoraggio. Di conseguenza, a causa di spostamenti relativi eccessivi, potrebbero verificarsi delle perdite di contenimento.

Invece, i serbatoi di stoccaggio cilindrici caratterizzati da un basso rapporto altezza diametro, compreso tra 0.2 e 2, sono classificati come apparecchiatura tozze sopra suolo. Questi si deformano principalmente per diversi motivi: a causa del fenomeno dell'instabilità che provoca una rottura a zampa di elefante, per effetto dello sloshing, a seguito di sollevamento o scorrimento. I danni, in questo caso, possono manifestarsi all'altezza della giunzione base-mantello, all'attacco della condotta.

In particolare, nel caso di serbatoi a tetto flottante, lo sloshing può generare un moto eccessivo della massa liquida che, a sua volta, può causare una tracimazione del liquido e incendi, come quello rappresentato in Figura 4.1.



Figura 4.1 Incendio di un serbatoio a tetto galleggiante

I serbatoi di stoccaggio sferici si possono includere all'interno del terzo gruppo. Tali recipienti contengono, solitamente, gas liquefatto in pressione e sono allocati ad una certa altezza dal suolo, utilizzando delle colonne di acciaio che sono saldate lungo la circonferenza al livello equatoriale e mutuamente connesse in diagonale tramite dei profili del medesimo materiale. Dal punto di vista costruttivo, sono realizzati con un doppio strato di mantello per garantire l'isolamento termico e ancorati al basamento in calcestruzzo. Le colonne di sostegno sono, indubbiamente, la parte più vulnerabile in quanto possono essere soggetti a rottura per flessione e compressione dovute all'azione sismica.

I forni di processo e i generatori di vapore sono delle unità utilizzate per riscaldare o vaporizzare grandi quantità di liquido. I primi sono strutture caratterizzate da elevate larghezze con profili di tipo cattedrale o cilindrici e sono sopra elevati dal suolo tramite delle colonne in calcestruzzo armato. La modalità di guasto, per questa tipologia di apparecchiatura, è riconducibile al cedimento delle colonne per effetto del taglio. È, altresì, possibile il collasso del camino nonché il distacco delle condotte e del rivestimento interno.

Le condotte, che rientrano all'interno della quarta categoria, sono degli elementi che garantiscono il collegamento di tutte le unità di impianto, trasferendo il fluido di processo. Esse possono estendersi anche per centinaia di km, si possono presentare di diversi diametri e sono realizzate, principalmente, in acciaio e, in alcuni casi in vetro o calcestruzzo. Le condotte non sono particolarmente vulnerabili all'azione sismica ma possono risentire del moto delle strutture di sostegno per effetto del movimento del suolo.

Kalita *et al.* hanno introdotto una procedura di analisi esaustiva per valutare la vulnerabilità sismica di un serbatoio idrico, all'interno della quale è possibile identificare quattro fasi:

1) assegnazione del serbatoio ad una categoria;

- 2) valutazione delle condizioni dei componenti strutturali e non strutturali attraverso delle indagini in campo;
- 3) verifica della conformità strutturale attraverso un'analisi statica equivalente effettuata tramite un codice di calcolo;
- 4) implementazione di un'analisi dinamica attraverso una modellazione numerica per comprendere gli effetti del movimento del terreno;
- 5) investigare le modalità di guasto ed eseguire un'analisi di capacità per definire la resistenza delle apparecchiature rispetto all'azione sismica.

I serbatoi sono classificati in base all'altezza rispetto al suolo, alla geometria e alla tipologia di struttura portante e basamento. La classificazione, fornita da Kalita *et Al.*, è stata riportata in Tabella 4.1.

Tabella 4.1 Classificazione dei serbatoi secondo Kalita et Al.

<u>Categoria</u>	<u>Tipologia</u>
Posizione	serbatoi sopraelevati serbatoi sotterranei
Geometria	serbatoi rettangolari serbatoi circolari
Basamento dei serbatoi a terra	diametro > 15 m diametro < 15 m
Struttura portante dei serbatoi sopraelevati	fusto in calcestruzzo armato supporto in calcestruzzo armato supporto in acciaio supporto in muratura

4.1.3 Le modalità di guasto delle condotte

Dall'analisi dei precedenti eventi sismici è stato possibile ricavare numerose informazioni relative alle tipologie di danno alla quale sono soggette le condotte, afferenti a impianti a rischio di incidenti rilevanti.

Tuttavia, sebbene siano presenti diverse banche dati relativamente all'effetto del sisma sulle condotte realizzate in prossimità delle regioni residenziali, si hanno, invece, poche informazioni sullo stato di danno riferito a condotte installate sulle zone industriali. Le cause di questa scarsità di informazioni sono diverse.

Ad esempio, le condotte costruite nelle zone industriali sono state realizzate in tempi più recenti e, poiché hanno diametri più piccoli, presentano una probabilità di danno minore. Inoltre, le apparecchiature sono, in generale, più investigate rispetto alle condotte perché quest'ultime possiedono un valore economico intrinseco decisamente inferiore. In aggiunta, i danni alle condotte realizzate lontane dalle zone residenziali, dal punto di vista delle analisi delle conseguenze, sono analizzati in maniera meno accurata.

Il terremoto di San Fernando nel 1971 di magnitudo momento pari a 6.6 ha causato circa 80 danni alle condotte sotterranee e alle giunzioni saldate, in particolare alle saldature ossiacetileniche risalenti agli anni 30'.

Per effetto del violento terremoto ($M_w=6.9$) avvenuto nella baia di S. Francisco nel 1989 il distretto impianti del municipio della baia est ha riportato più di 120 rotture delle condotte idriche che, tra le più significative, hanno raggiunto ampiezze di 1,5 m in prossimità della condotta di aspirazione del filtro dell'impianto e di 50 cm lungo le condotte in ghisa nel centro città. Invece, la società di gestione delle acque ha, addirittura, catalogato 150 rotture della quali 67 riparate nelle successive 48 ore dall'evento e rilevate, principalmente, in prossimità dei raccordi delle condotte segmentate. Altre rotture si sono manifestate sulle condotte del gas e sull'impianto di depurazione delle acque reflue della città.

Il terremoto di Northridge (1994) di magnitudo momento pari a 6.7 ha causato circa 1400 rotture all'interno di condotte del gas, di combustibile e idriche nell'area di San Fernando Valley. La maggior parte delle rotture sono avvenute nella zona soggetta a liquefazione mentre, all'esterno di tali zone, le rotture sono state causate dall'estrema fragilità delle condotte più vetuste. In prossimità delle Granada Hills, l'erosione del suolo e la formazione di larghi crateri hanno generato delle rotture all'interno della rete di distribuzione della acqua. Invece, due rotture, per sollecitazioni a trazione e a compressione, si sono verificate su alcune condotte con diametro di 50 cm. Tali condotte erano installate su una zona di rottura perpendicolare alla stessa tubazione.

L'incendio di Izmit, già citato in precedenza, è stato originato da un violento terremoto che ha causato la rottura della condotta di alimentazione dell'acqua proveniente dal lago nelle vicinanze. Le riserve idriche accumulate nei serbatoi interni della raffineria si sono rilevati insufficienti per estinguere l'incendio che si è propagato velocemente causando dei danni alle condotte di poliestere e in calcestruzzo.

Nel 2002 in Alaska (USA) un terremoto di magnitudo momento 7.9 ha colpito una condotta di distribuzione di petrolio denominata TAPS, caratterizzata da una lunghezza di 1287 km e da un diametro di 1.2 m. Tuttavia, un'adeguata progettazione del manufatto, in termini di duttilità dei supporti, ha limitato l'entità dei danni.

In conclusione, le principali cause di guasto di una condotta sono riconducibili alla:

- distribuzione delle rigidità, infatti sono stati rilevate delle rotture all'altezza delle giunzioni tra due condotte a diverso diametro e all'attacco tra condotta e serbatoio;
- presenza di giunti flangiati regolari che sono molto vulnerabili soprattutto per elevati valori di PGA;
- configurazione della rete di condotte poiché in caso di tubazioni adiacenti si manifestano dei danni dovuti all'interazioni mutue;
- criticità dei supporti che non sono idonei a resistere alle sollecitazioni indotte dalla forza sismica.

4.1.4 Le modalità di guasto dei serbatoi

I serbatoi sono delle unità che, all'interno di uno stabilimento, consentono lo stoccaggio o la trasformazione chimico-fisica delle sostanze processate. Per questo motivo, il pericolo associato ad un evento sismico, in questo caso, è costituito dalla potenziale perdita di contenimento che potrebbe generare degli scenari incidentali quali l'incendio, l'esplosione o la dispersione di nube tossica in atmosfera.

Dall'analisi storica è possibile ricavare le principali modalità di danneggiamento dei serbatoi soggetti ad un'azione sismica. Quindi, si può affermare che i danni più ricorrenti per questo tipo di apparecchiature sono:

- il danneggiamento del tetto che, per effetto delle tensioni interne dovute al fenomeno dello sloshing, può generare una modesta perdita di contenimento;
- la deformazione a zampa di elefante che è dovuta all'azione combinata della pressione idrostatica e della sovrappressione indotta dal sisma. Tale deformazione si manifesta attraverso un rigonfiamento generato dalle tensioni circonferenziali. In alcuni casi, può causare una perdita di contenimento del serbatoio in prossimità dell'attacco della condotta di mandata e, a seguito del sollevamento, per il distacco tra prima virola e fondo;
- l'instabilità elastica della parete che genera delle deformazioni a forma di diamante per effetto di tensioni verticali superiori ad un valore critico. Si manifesta in regime elastico, a differenza della deformazione a zampa di elefante che avviene in campo elasto-plastico;
- la rottura del cordone di saldatura tra la base e il mantello che si verifica più frequentemente nel caso di serbatoi non ancorati;
- la rottura degli ancoraggi ad esempio per snervamento del tirafondo;
- la rottura per fatica all'interfaccia tra la condotta di mandata e il guscio che in genere avviene in corrispondenza dell'ugello saldato sul mantello del serbatoio;
- l'incendio del serbatoio che può avvenire a causa delle scintille prodotte dal movimento relativo tra il tetto galleggiante e il mantello;
- l'instabilità alla compressione delle colonne che supportano il serbatoio a tetto fisso;
- l'instabilità dell'ultimo corso di virole dovuto alla pressione negativa generata dal movimento del liquido interno;
- la lacerazione del mantello o del fondo del serbatoio per effetto della deformazione delle scale o delle condotte afferenti al serbatoio;
- la lacerazione del mantello dovuta ai movimenti differenziali della passerella di collegamento tra due serbatoi;
- la rottura degli elementi di connessione che non sono dotati di sufficiente flessibilità;
- la perdita di contenimento dal fondo del serbatoio per effetto del fenomeno della liquefazione del suolo che può comportare deformazioni meccaniche rilevanti.

4.2 Le schede di valutazione

In analogia al caso della valutazione della vulnerabilità sismica in ambito civile-ambientale, sono state realizzate delle schede di valutazione dei danni arrecati dal sisma alle apparecchiature installate in un complesso industriale.

In particolare, tra tutte le varie unità presenti, sono state analizzate le conseguenze indotte dal terremoto sui serbatoi e sulle condotte. Si è scelto di limitare il campo di studio a tali apparecchiature perché essi costituiscono le unità più diffuse in un complesso industriale. Inoltre, al fine di valutazione della vulnerabilità sismica, è possibile ricondurre ogni unità di processo a un serbatoio o a una condotta in quanto le approssimazioni adottate sono, relativamente, accettabili.

4.2.1 L'identificazione e le caratteristiche del serbatoio

Nella prima parte della scheda, relativa all'identificazione del sito industriale, vanno riportate le informazioni necessarie per individuare la posizione dello stabilimento industriale ovvero la regione, la provincia, il comune e l'eventuale indirizzo.

La parte immediatamente successiva della *check list* è inerente al settore produttivo nel quale opera l'unità in oggetto. Sono state classificate tre macroaree industriali: il settore chimico, il comparto manifatturiero, la produzione di energia e lo smaltimento dei rifiuti.

Nell'ultima sezione è possibile definire, in maniera puntuale, le caratteristiche meccaniche, geometriche e strutturali del serbatoio. Inoltre, sono riportate le voci relative allo stato fisico della sostanza stoccata o processata, alla posizione del serbatoio rispetto al piano di riferimento e alla funzione svolta dall'apparecchiatura all'interno del processo produttivo.

In primo luogo, i serbatoi industriali possono essere suddivisi in due grandi categorie: le unità di processo e le unità di stoccaggio. Le prime presentano dei volumi più piccoli e si interpongono tra le diverse unità di processo in modo da rendere indipendenti le diverse parti dell'impianto mentre i serbatoi di stoccaggio, di dimensioni notevolmente maggiori, sono posizionati lontano dalla parte produttiva e sono utilizzati per la conservazione delle materie prime e dei prodotti finiti.

Il materiale costituente il serbatoio è strettamente dipendente dallo stato fisico-chimico della sostanza stoccata all'interno. In generale, l'acciaio inox garantisce notevole resistenza alle sollecitazioni meccaniche, ai fenomeni corrosivi e alle escursioni termiche. Invece, i serbatoi realizzati con materiali a base di polietilene, a differenza dei serbatoi in acciaio, presentano il vantaggio di essere disponibili in varie forme e geometrie e sono, quindi, più adattabili al processo.

I recipienti contenenti sostanze allo stato liquido in condizione di pressione atmosferica sono, solitamente, a forma cilindrica ad asse verticale o orizzontale con fondo piano. Per valori di

pressioni superiori, invece, si utilizzano serbatoi dalla forma ellittica e sferica ad asse orizzontale o verticale.

Invece, i gas sono stoccati in serbatoi cilindrici o sferici a pressioni superiori rispetto al caso dei liquidi per immagazzinare quantitativi superiori di materia per unità di volume. Per tale motivo, spesso si utilizzano dei serbatoi con fondo bombato o dei serbatoi cilindrici ad asse verticale molto alti. Quest'ultimi, rispetto ai recipienti sferici, sebbene presentino maggiori capacità, sono soggetti ad una maggiore scambio termico e ad una peggiore distribuzione delle pressioni.

I serbatoi ad asse verticale hanno dimensioni più grandi rispetto ai serbatoi ad asse orizzontale. Infatti, nel primo caso si possono raggiungere delle capacità fino a 100 m^3 con rapporti diametro altezza pari a 4:1, mentre nel secondo caso i volumi sfiorano i 500 m^3 raggiungendo rapporti 6:1.

Una tipologia di sostanza particolare è costituita dal liquido criogenico ovvero una sostanza che presenta una temperatura di ebollizione pari a $-73 \text{ }^\circ\text{C}$. Lo stoccaggio di liquidi criogenici quali l'azoto, l'ossigeno e l'ammoniaca avviene a temperature estremamente basse tramite dei serbatoi con doppia parete o con un isolamento esterno al fine di minimizzare gli scambi termici.

Per ciò che concerne le tipologie di fondazioni maggiormente diffuse, si possono annoverare: il plinto, la platea, i pali e il basamento.

Il plinto è un tipo di fondazione che poggia sul terreno tramite uno strato di calcestruzzo. Può essere di varie geometrie secondo le caratteristiche di resistenza del terreno. Le forme di plinto più diffuse presentano delle basi quadrate, circolare o esagonali.

La fondazione di tipo platea si utilizzano in caso di terreni a bassa resistenza ed è costituita da una soletta di calcestruzzo armato che ricopre un'ampia superficie. Il suo utilizzo è indicato quando si hanno numerose apparecchiature in uno spazio ristretto.

L'utilizzo di una fondazione a pali è indicato, invece, per i terreni a scarsa resistenza negli strati superficiali. Generalmente, alla sommità è realizzata una fondazione a plinto.

Il basamento è un tipo di fondazione costituito da un pesante blocco di calcestruzzo che offre un grande supporto relativamente a i carichi dinamici e alle vibrazioni generate dall'apparecchiatura.

Le strutture di supporto dei serbatoi si suddividono in base al tipo di materiale e tipologia costruttiva. I materiali più diffusi sono, tipicamente, l'acciaio e il calcestruzzo mentre la struttura portante di un serbatoio dipende dall'altezza e dalla disposizione. I serbatoi sopraelevati sono sorretti da strutture a fusto o reticolari.

Le strutture a fusto possono raggiungere altezze che variano da 10 m fino a 20 mentre la forma e il diametro dipendono dalla capacità del recipiente che, in questo caso, possono raggiungere valori fino a 1000 m^3 . Un esempio di serbatoio sopraelevato con struttura portante a fusto è riportato in Figura 4.2.



Figura 4.2 Serbatoio sopraelevato con struttura portante a fusto

Invece, la struttura di supporto reticolare, rappresentata in Figura 4.3, è più utilizzata per sostenere dei serbatoi di minore volume. Tuttavia, qualora le membrature non siano progettate per resistere a deformazioni di tipo anelastico, potrebbero presentare delle gravi criticità in termini di resistenza alle azioni sismiche.



Figura 4.3 Serbatoio sopraelevato con struttura portante reticolare

La gonna, riportata in Figura 4.4, è il sostegno più diffuso per i serbatoi cilindrici ad asse verticale ed è costituito da una lamiera cilindrica che collega il mantello alla fondazione. Essa presenta un'apertura sulla parte laterale per effettuare l'ispezione interna.

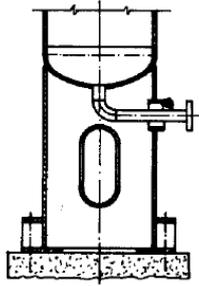


Figura 4.4 Schematizzazione di un sostegno a gonna

Infine, la sella in calcestruzzo o in acciaio è il tipo di supporto utilizzato per sostenere i serbatoi cilindrici ad asse orizzontale. Un esempio di supporto a sella in acciaio è rappresentato in Figura 4.5.



Figura 4.5 Serbatoio cilindrico ad asse orizzontale con supporto a sella

L'ultima parte strutturale, analizzata nella prima scheda, è relativa al tetto del serbatoio che può essere di due tipologie: fisso o galleggiante.

La copertura di tipo fissa è costituita da delle lamiere di acciaio saldate al mantello in modo da garantire la protezione del contenuto rispetto agli agenti atmosferici. Per diametri minori a 10 m il tetto è sostenuto solamente dal perimetro del mantello. Invece, nel caso di diametri maggiori, la copertura è, generalmente, sorretta da uno o più pilastri interni.

Il tetto galleggiante è utilizzato nel caso di serbatoi di stoccaggio di liquidi estremamente infiammabili perché, seguendo il livello di liquido interno, permette di ridurre lo spazio sopra il battente e, quindi, di diminuire le perdite per evaporazione. La copertura di tipo galleggiante è, dal punto di vista costruttivo, molto più semplice rispetto alla tipologia fissa in quanto è sostenuta direttamente dal liquido.

Esiste un'ulteriore tipologia di serbatoio che è rappresentata dalle vasche ovvero dei recipienti che non presentano una copertura. Per questo motivo non consentono di proteggere il contenuto dall'azione degli agenti atmosferici e non impediscono l'evaporazione. Le vasche possono essere realizzate in acciaio o in calcestruzzo e interrare parzialmente o fuori terra.

Scheda N°1	Identificazione dell'apparecchiatura: serbatoio				
Sede dello stabilimento					
▪ Regione: _____ ▪ Provincia: _____ ▪ Comune: _____ ▪ Indirizzo: _____ ▪ Coordinate GPS: _____					
Attività produttiva					
▪ Chimico	<input type="checkbox"/> siderurgico <input type="checkbox"/> farmaceutico <input type="checkbox"/> plastica e gomma	<input type="checkbox"/> raffinazione del petrolio <input type="checkbox"/> metallurgia <input type="checkbox"/> altri prodotti chimici			
▪ Manifatturiero	<input type="checkbox"/> alimentare <input type="checkbox"/> tabacco <input type="checkbox"/> confezionamento <input type="checkbox"/> industria della carta <input type="checkbox"/> industria del legno	<input type="checkbox"/> bevande <input type="checkbox"/> tessile <input type="checkbox"/> metalmeccanica <input type="checkbox"/> mobilificio <input type="checkbox"/> altre industrie manifatturiere			
▪ Energia e rifiuti	<input type="checkbox"/> produzione di energia <input type="checkbox"/> fornitura idrica	<input type="checkbox"/> trattamento dei rifiuti <input type="checkbox"/> altro			
Caratteristiche					
▪ Materiale	<input type="checkbox"/> acciaio inox <input type="checkbox"/> alluminio <input type="checkbox"/> polietilene	<input type="checkbox"/> acciaio zincato <input type="checkbox"/> calcestruzzo <input type="checkbox"/> altro (ottone, ghisa, bronzo ecc..)	<input type="checkbox"/> vetroresina <input type="checkbox"/> ferro		
▪ Posizione	<input type="checkbox"/> a terra	<input type="checkbox"/> interrato	<input type="checkbox"/> sopraelevato		
▪ Forma	<input type="checkbox"/> sferico <input type="checkbox"/> cubico <input type="checkbox"/> parallelepipedo <input type="checkbox"/> ellissoidale	<input type="checkbox"/> cilindrico ad asse verticale <input type="checkbox"/> cilindrico ad asse orizzontale <input type="checkbox"/> tronco conico <input type="checkbox"/> pseudoellittico			
▪ Volume [m ³]	<input type="checkbox"/> < 10	<input type="checkbox"/> 10 ÷ 50	<input type="checkbox"/> 50 ÷ 100	<input type="checkbox"/> > 100	
▪ Livello di riempimento [%]	<input type="checkbox"/> < 20	<input type="checkbox"/> 20 ÷ 50	<input type="checkbox"/> 50 ÷ 80		
▪ Tipo di giunzioni	<input type="checkbox"/> saldato	<input type="checkbox"/> rivettato	<input type="checkbox"/> bullonato		
▪ Tetto	<input type="checkbox"/> fisso	<input type="checkbox"/> galleggiante	<input type="checkbox"/> aperto		
▪ Pressione	<input type="checkbox"/> atmosferica		<input type="checkbox"/> in pressione		
▪ Stato fisico	<input type="checkbox"/> solido <input type="checkbox"/> liquido generico	<input type="checkbox"/> gas/vapore <input type="checkbox"/> liquido criogenico			
▪ Funzione	<input type="checkbox"/> unità di processo		<input type="checkbox"/> unità di stoccaggio		
▪ Struttura di supporto	<input type="checkbox"/> fusto in calcestruzzo armato <input type="checkbox"/> reticolare in calcestruzzo armato <input type="checkbox"/> gonna in lamiera <input type="checkbox"/> sella in acciaio	<input type="checkbox"/> reticolare in acciaio <input type="checkbox"/> muratura <input type="checkbox"/> sella in calcestruzzo <input type="checkbox"/> altro			
▪ Struttura di fondazione	<input type="checkbox"/> plinti <input type="checkbox"/> pali	<input type="checkbox"/> platee <input type="checkbox"/> basamento			
▪ Ancorato al basamento	<input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no				
▪ Età [anni]	<input type="checkbox"/> < 1	<input type="checkbox"/> 1 ÷ 2	<input type="checkbox"/> 2 ÷ 5	<input type="checkbox"/> 5 ÷ 10	<input type="checkbox"/> > 10

4.2.2 La valutazione della vulnerabilità dei serbatoi

In questa sezione sono riportate le caratteristiche specifiche relative ai componenti strutturali ed accessori dei serbatoi industriali. Inoltre, sono state analizzate i principali dispositivi di sicurezza, installate in questo tipo di apparecchiature, ovvero il disco di rottura e la valvola di sicurezza (*PSV*).

Il disco di rottura è un disco metallico che mediante uno scoppio consente di diminuire la pressione interna nel caso in cui tale parametro dovesse raggiungere dei valori critici molto alti. È un dispositivo con funzionamento irreversibile, infatti, deve essere sostituito ogni qual volta entra in azione.

La valvola di sicurezza è un dispositivo che entra in funzione quando la pressione interna supera un certo valore di progetto. Essa può essere di due tipi: a molla e a contrappeso. Inoltre, è un organo reversibile in quanto ripristina le condizioni iniziali quanto la pressione ritorna ai valori standard.

Invece, dal punto di vista strutturale un serbatoio si compone di basamento, fondo, mantello e tetto.

Il fondo è la parte inferiore dell'apparecchiatura costituito generalmente da una lamiera impermeabile e assemblata tramite un processo di saldatura.

Il mantello costituisce la parete del serbatoio e può essere messo in collegamento con il fondo mediante saldatura, rivettatura o bullonatura. La parte del fondo in contatto con la parete viene definita trincarino. Il mantello è realizzato, lungo il suo sviluppo verticale, attraverso delle lamiere calandrate, saldate ad anelli con i giunti sfalsati in modo tale da conferire maggiore resistenza alla struttura.

Alcune apparecchiature industriali possono presentare un'intercapedine nella quale, attraverso lo scorrimento di un fluido di servizio (acqua), si ottimizza lo scambio termico tra la sostanza contenuta nel serbatoio e l'aria esterna.

Le valvole di sfiato hanno la funzione di garantire le pressioni di esercizio ordinarie ed evitare che si creino delle sollecitazioni impreviste per effetto di sovrappressioni o depressioni interne. Possono essere costituite da tronchetti di tubo aperti o da valvole tarate collegate con un diffusore.

Invece, le valvole di respirazione sono molto diffuse nei serbatoi a tetto fisso per compensare le variazioni di pressione interne dovute a escursioni termiche o a cicli di svuotamento e riempimento.

Una misura di protezione obbligatoria per tutti i tipi di liquidi infiammabili è rappresentata dal bacino di contenimento che può essere costituito da argini di terra, preferibilmente argillosa, o da muri in cemento armato senza fenditure. Chiaramente il bacino di contenimento deve essere dotato di tubazione di scarico e valvola a saracinesca per l'intercettazione dei liquidi contenuti all'interno.

Nella *check list* sono, altresì, elencati tutte le tipologie di misuratori di controllo relativamente ai valori di pressione, temperatura e livello.

In particolare, uno dei misuratori di livello più tradizionale è costituito dalla stadia metrica ovvero un'asta graduata disposta lungo la parete del serbatoio che tramite un cursore consente di individuare il livello del liquido interno. Un altro dispositivo di misurazione più evoluto è rappresentato dal radar. Esso emette delle microonde dalla sommità del serbatoio che vengono riflesse dalla superficie di liquido. Dal tempo di percorrenza l'antenna è in grado di misurare il livello del contenuto.

I sistemi antincendio, nel caso dei serbatoi industriali, sono composti da un sistema di condotte in pressione oppure da impianti di sollevamento che, tramite irrorazione, consentono di raffreddare la superficie esterna del contenitore. In alternativa, è possibile utilizzare un impianto a schiuma attraverso l'impiego di apparecchiature portatili o trasportabili oppure una tubazione di tipo permanente presente in ogni serbatoio dello stabilimento.

La messa a terra è un conduttore che limita il rischio di elettrocuzione, imponendo l'equi potenzialità tra la superficie del serbatoio e l'operatore a contatto con il suolo.

Le aperture presenti sulla parte laterale dell'apparecchiatura si suddividono in bocchelli alla base del serbatoio e in passi d'uomo. I primi sono delle tubazioni utilizzate in fase di carico o scarico del prodotto e sono collegati al serbatoio, tipicamente, da una giunzione di tipo flangiato. Invece, i passi d'uomo sono dei bocchelli di grande diametro che permettono l'accesso dell'operatore all'interno per l'effettuazione delle operazioni di manutenzioni e di ispezione.

All'interno di stabilimenti industriali adibiti a particolari processi produttivi si possono utilizzare dei serbatoi muniti di accessori particolari quali i serpentine di riscaldamento, gli agitatori e i jet-mixer.

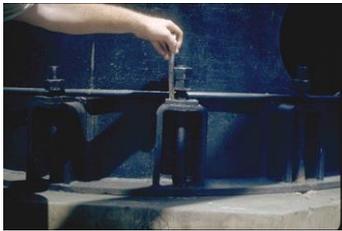
I serpentine di riscaldamento sono delle tubazioni a serpentino o a fascio tubiero che sono utilizzati nei serbatoi contenenti liquidi molto viscosi. Il riscaldamento avviene tramite il flusso di vapore.

Gli agitatori sono utilizzati per la miscelazione di soluzioni con una certa viscosità tramite il moto di un'elica trasmessa da un albero che viene alimentato da un motore elettrico.

I jet mixer sono una tubazione a sezione tronco conica disposta in prossimità dell'ingresso della condotta di mandata. Essa produce un vortice che evita il deposito di particelle e la possibile ostruzione della condotta.

Infine, un elemento particolarmente vulnerabile è costituito dalla guarnizione tetto mantello ovvero una guarnizione che si sviluppa lungo tutto il perimetro del tetto ed è pressata contro la parete del serbatoio.

Scheda N°2		Valutazione della vulnerabilità delle apparecchiature industriali
Valutazione specifica: serbatoio		
Assegnare un punteggio da 1 a 5 a ciascuna dei seguenti elementi. Il valore 1 corrisponde a nessun danno mentre il valore 5 a danno gravissimo. Il non applicabile è da considerarsi nullo ovvero avrà valore 0. Il totale sarà dato dalla somma aritmetica delle singole voci.		
N°	Elemento	Valutazione del danno
1	Basamento	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
2	Fondo	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
3	Mantello	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
4	Tetto	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
5	Camicia	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
6	Gonna	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
7	Scala	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
8	Passarella	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
9	Valvola di sfiato	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
10	Valvola di respirazione	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
11	Valvola di sicurezza	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
12	Disco di rottura	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
13	Bacino di contenimento	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
14	Misuratore di livello	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
15	Misuratore di temperatura	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
16	Radar	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
17	Misuratore di pressione	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
18	Sistema antincendio	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
19	Messa a terra	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
20	Bocchello alla base	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
21	Passi d'uomo	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
22	Serpentini di riscaldamento	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
23	Agitatori	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
24	Jet-mixer	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
25	Tenuta mantello-tetto	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
26	Giunti	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
27	Raccordi	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
28	Scarico di fondo	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> n.a.
	Tot.	

Scheda N°3		Valutazione della vulnerabilità delle apparecchiature industriali	
Valutazione complessiva: serbatoio			
Descrizione generale	Esempio	Valutazione	Entità del danno
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nessun danno alle parti strutturali dell'apparecchiatura ▪ Nessun danno alle parti non strutturali e/o accessorie ▪ Nessuna perdita di contenimento ▪ Il sisma non ha causato interruzione operativa 	 <p>Serbatoi non danneggiati dal sisma</p>	Tot. ≤ 30	Nessuno
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nessun danno alle parti strutturali ▪ Minimi danni alle parti non strutturali e/o accessorie ▪ Minima perdita di contenimento ▪ Possibile interruzione operativa per criticità delle giunzioni 	 <p>Deformazione residua dell'ancoraggio di una gonna</p>	$30 < \text{Tot.} \leq 50$	Lieve
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Minimi danni alle parti strutturali ▪ Danni consistenti alle parti non strutturali e/o accessorie ▪ Perdita di contenimento copiosa ▪ Interruzione operativa certa per criticità delle giunzioni 	 <p>Deformazione a zampa di elefante o di un giunto</p>	$50 < \text{Tot.} \leq 70$	Modesto
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deformazioni delle parti strutturali del serbatoio ▪ Possibilità di incendio o esplosione ▪ Formazione di nube tossica ▪ Possibilità di vittime e danni all'ambiente 	 <p>Rottura dei supporti di un serbatoio sferico di gpl</p>	$70 < \text{Tot.} \leq 90$	Grave
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rottura delle parti strutturali del serbatoio ▪ Gravi incendi ed esplosioni ▪ Formazione di nube tossica di grandi proporzioni ▪ Morte e devastazione nei territori limitrofi allo stabilimento 	 <p>Incendio di un impianto industriale causato dal sisma</p>	Tot. > 90	Gravissimo

4.2.3 L'identificazione e le caratteristiche della condotta

In analogia al caso dei serbatoi, si è proceduto con la redazione di una scheda per l'identificazione della condotta. Questa distinzione si è resa necessaria in quanto le tubazioni presentano delle caratteristiche geometriche, meccaniche e strutturali differenti rispetto ai serbatoi.

Le condotte sono costituite, principalmente, da 4 tipi di elementi: la tubazione, l'elemento di raccordo o di giunzione, gli organi di intercettazione e di regolazione e i componenti accessori.

Ogni tubazione è contraddistinta da un colore che favorisce l'identificazione del tipo di fluido contenuto o delle funzioni di servizio. A tal proposito, in Tabella 4.2 sono riportati i possibili colori associati al contenuto di una determinata tubazione.

Tabella 4.2 Colori identificativi delle condotte

	Acqua
	Antincendio
	Vapore e acqua riscaldata
	Aria
	Oli minerali, liquidi combustibili e/o infiammabili
	Acidi
	Fluidi pericolosi

Per ciò che concerne i materiali, tra i più diffusi si annoverano l'acciaio, i materiali polimerici, la ghisa, il calcestruzzo e l'alluminio. Il tipo di materiale utilizzato dipende, essenzialmente, dalle caratteristiche chimico-fisiche del fluido trasportato e dalle condizioni ambientali.

Infatti, tra i parametri principali che influenzano il tipo di materiale vi sono la pressione, la temperatura, e l'aggressività del fluido che può generare dei fenomeni corrosivi di una certa gravità. Inoltre, l'umidità dell'ambiente in cui opera la tubazione può influenzare la vita utile della condotta in termini di usura dello strato superficiale più esterno.

I tubi di acciaio si suddividono in diverse tipologie secondo la sostanza che è convogliata all'interno. Le tubazioni che trasportano fluidi alterabili come l'acqua sono zincate o rivestite tramite uno strato di plastica. Invece, per applicazioni caratterizzate da pressioni e temperatura elevate si utilizzano acciai di classe superiore e speciali. Quest'ultimi, utilizzati nell'industrie farmaceutiche e tessile, sono acciai legati ad alto contenuto di Cr e Ni e presentano un elevato grado di resistenza nei confronti della corrosione.

I tubi in ghisa sono più diffusi in ambito civile per la realizzazione di collettori fognari ma alcune applicazioni sono presenti anche nel settore industriale. Queste tubazioni presentano

sempre un rivestimento interno a base di vernice bituminosa nera ed un rivestimento esterno costituito da uno strato di zinco metallico e di vernice sintetica. I tipi di giunzione per questa tipologia di materiale sono rappresentati da giunti flangiati o a bicchiere.

Per quanto concerne le tubazioni in rame, esse presentano delle elevate proprietà di conducibilità elettrica e termica. Inoltre, sono molto resistenti alla corrosione, duttili, non magnetiche e facilmente riutilizzabili. Si trovano anche sottoforma di leghe metalliche tra le quali, le più comuni, il bronzo e l'ottone. In aggiunta, le condotte di rame sono molto adatte al trasporto di acqua potabile, gas, acqua per il riscaldamento e dei fluidi refrigeranti.

Infine, i materiali plastici conferiscono alle tubazioni notevole resistenza agli agenti chimici, ottime proprietà dielettriche, leggerezza e flessibilità. Ne esistono di diverse tipologie: polipropilene (PP), polietilene (PE), policloruro di vinile (PVC) e poliestere rinforzati con fibre di vetro (PRFV). In campo industriale si utilizzano per il convogliamento di liquidi e gas, a valori di pressione operative e temperatura modesti.

Le condotte, per ragioni di funzionalità e flessibilità, sono sempre realizzate tramite un sistema di tubazioni collegate tramite delle giunzioni che possono essere classificate in giunti fissi e smontabili.

I giunti fissi sono ottenuti tramite processi di saldatura e di incollaggio di due estremità. La saldatura, come rappresentato in Figura 4.6, può essere di tre tipologie: di testa, a bicchiere cilindrico e a bicchiere a sfera. Per questo tipo di giunzioni, la resistenza alle sollecitazioni longitudinali è garantita dalla presenza di ancoraggi.

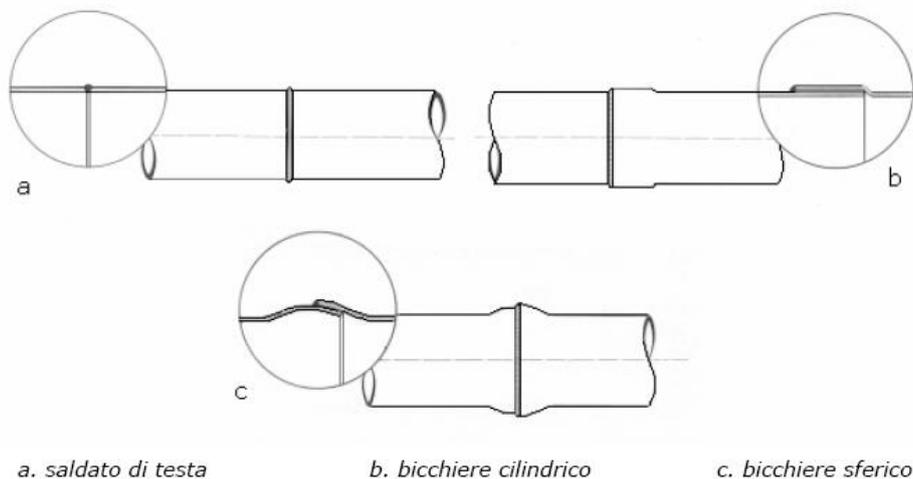


Figura 4.6 Tipologie di giunti fissi

Invece, i giunti smontabili sono costituiti dalle giunzioni flangiati ovvero un collegamento delle estremità del tubo tramite un anello di appoggio saldato per sovrapposizione o con flange. La giunzione è eseguita interponendo una guarnizione e mediante serraggio dei bulloni. In Figura 4.7, sono riportate le due tipologie più diffuse di giunzioni flangiati: le flange libere con anelli di appoggio saldati e le flange saldate di testa.

Per motivi legati all'aggressività degli agenti chimici, i giunti smontabili sono poco adatti per le condotte sotterranee e per tale motivo sono utilizzati assai raramente.

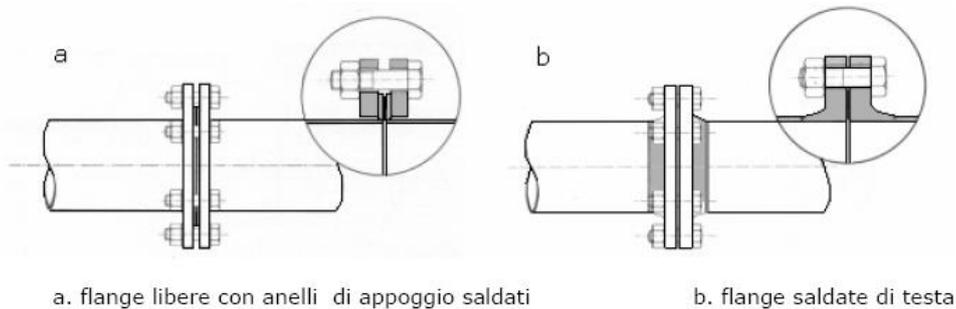


Figura 4.7 Tipologie di giunti smontabili

I raccordi sono degli elementi che consentono il collegamento dei tubi e degli accessori. Possono essere realizzati in materiale metallico quale ghisa malleabile e plastica. I più diffusi nell'ambito industriale e civile sono la curva a 90° e il raccordo a T. Quest'ultimo può essere abbinato ad una valvola costituendo la cosiddetta valvola a tre vie ovvero un dispositivo che separa il flusso principale in ingresso in due correnti in uscita.

Ulteriori elementi di raccorderia sono utilizzati per la riduzione e l'aumento della sezione trasversale della tubazione come nel caso della riduzione maschio-femmine e per collegare due tratti di condotta di materiale diverso tramite un raccordo a compressione. In Figura 4.8 sono rappresentati i principali elementi di raccorderia commerciali.

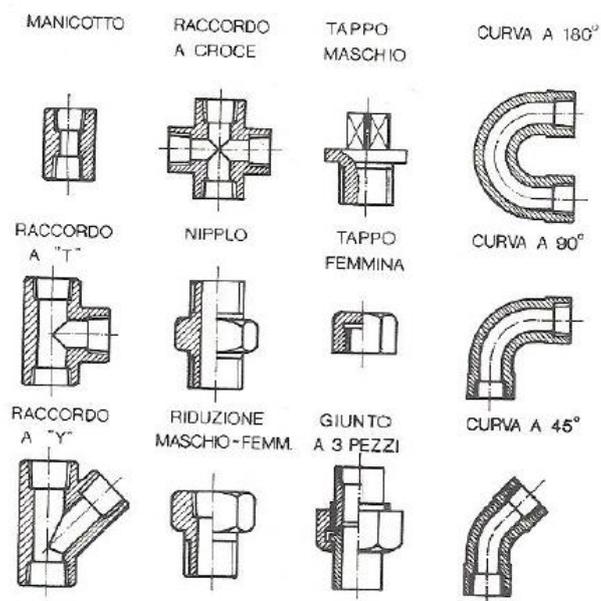


Figura 4.8 Elementi di raccorderia

Scheda N°4	Identificazione dell'apparecchiatura: condotta			
Sede dello stabilimento				
▪ Regione: _____ ▪ Provincia: _____ ▪ Comune: _____ ▪ Indirizzo: _____ ▪ Coordinate GPS: _____				
Attività produttiva				
▪ Chimico	<input type="checkbox"/> siderurgico	<input type="checkbox"/> raffinazione del petrolio		
	<input type="checkbox"/> farmaceutico	<input type="checkbox"/> metallurgia		
	<input type="checkbox"/> plastica e gomma	<input type="checkbox"/> altri prodotti chimici		
▪ Manifatturiero	<input type="checkbox"/> alimentare	<input type="checkbox"/> bevande		
	<input type="checkbox"/> tabacco	<input type="checkbox"/> tessile		
	<input type="checkbox"/> confezionamento	<input type="checkbox"/> metalmeccanica		
	<input type="checkbox"/> industria della carta	<input type="checkbox"/> mobilificio		
	<input type="checkbox"/> industria del legno	<input type="checkbox"/> altre industrie manifatturiere		
▪ Energia e rifiuti	<input type="checkbox"/> produzione di energia	<input type="checkbox"/> trattamento dei rifiuti		
	<input type="checkbox"/> fornitura idrica	<input type="checkbox"/> altro		
Caratteristiche				
▪ Materiale	<input type="checkbox"/> acciaio	<input type="checkbox"/> ceramica	<input type="checkbox"/> ghisa	
	<input type="checkbox"/> alluminio	<input type="checkbox"/> calcestruzzo	<input type="checkbox"/> ottone	
	<input type="checkbox"/> polietilene	<input type="checkbox"/> bronzo	<input type="checkbox"/> altro	
▪ Posizione	<input type="checkbox"/> a terra	<input type="checkbox"/> interrato	<input type="checkbox"/> sopraelevato	
▪ Lunghezza [m]	<input type="checkbox"/> < 10	<input type="checkbox"/> 10 ÷ 50	<input type="checkbox"/> 50 ÷ 100	<input type="checkbox"/> > 100
▪ Diametro [mm]	<input type="checkbox"/> < 10	<input type="checkbox"/> 10 ÷ 50	<input type="checkbox"/> 50 ÷ 100	<input type="checkbox"/> > 100
▪ Tipologia	<input type="checkbox"/> continua			
	<input type="checkbox"/> segmentata			
▪ Pressione [bar]	<input type="checkbox"/> < 1	<input type="checkbox"/> 1 ÷ 2	<input type="checkbox"/> 2 ÷ 4	<input type="checkbox"/> 4 ÷ 6
	<input type="checkbox"/> > 6			
▪ Colore	<input type="checkbox"/> grigio argento		<input type="checkbox"/> rosso	
	<input type="checkbox"/> azzurro		<input type="checkbox"/> verde	
	<input type="checkbox"/> giallo		<input type="checkbox"/> arancione	
	<input type="checkbox"/> marrone		<input type="checkbox"/> altro	
▪ Giunti	<input type="checkbox"/> fissi		<input type="checkbox"/> smontabili	
▪ Età [anni]	<input type="checkbox"/> < 1	<input type="checkbox"/> 1 ÷ 2	<input type="checkbox"/> 2 ÷ 5	<input type="checkbox"/> 5 ÷ 10
	<input type="checkbox"/> > 10			
▪ Materiale del raccordo	<input type="checkbox"/> plastica			
	<input type="checkbox"/> metallo			

4.2.4 *La valutazione della vulnerabilità sismica delle condotte*

Lo studio di vulnerabilità di una condotta si basa, essenzialmente, sull'analisi dello stato di danno, a seguito dell'azione sismica, delle apparecchiature installate per la regolazione del flusso ovvero le valvole e per la movimentazione dei fluidi quali i compressori e i ventilatori. Le valvole sono dei dispositivi che, all'interno di un impianto, permettono la regolazione e l'intercettazione del flusso all'interno delle condotte.

In generale, una valvola è costituita da:

- un otturatore;
- uno stelo;
- un cappello;
- un attuatore;
- una tenuta.

L'otturatore è l'organo mobile della valvola che permette di parzializzare o chiudere totalmente il flusso del fluido. Il movimento avviene all'interno della sede che deve garantire un'adeguata ermeticità.

Lo stelo è l'elemento che svolge la funzione di regolazione dell'otturatore essendo collegato agli organi di comando. È assente nelle valvole di ritegno e nelle valvole a comando automatico.

Il cappello è la guida all'interno della quale si muove l'organo di movimentazione dell'otturatore. È, altresì, utilizzato per introdurre le varie parti all'interno del corpo valvola.

La tenuta idraulica tra lo stelo e il cappello e tra l'otturatore e la sede è garantita da una treccia o un premistoppa ovvero delle tenute a base di gomma, plastica o metallo che impediscono il trafileamento in caso di chiusura della valvola.

Nello schema tipico di una valvola, rappresentato in Figura 4.9, si può osservare anche il cosiddetto corpo valvola ovvero lo spazio in cui è inserito il dispositivo. Esso è, generalmente, realizzato utilizzando materiali a base di C, Ni, Cr per gli impianti eserciti a pressioni elevate mentre, nel caso di condotte a pressioni basse, può essere a base di bronzo.

L'installazione del corpo valvola può essere eseguita mediante giunzioni filettate o saldate. Quando è necessario apportare interventi di manutenzioni frequentemente, è preferibile realizzare le valvole accoppiate a una giunzione flangiata.

Una valvola può essere inserita mediante tre diverse modalità: a via dritta, quando vi è un perfetto allineamento tra i due attacchi, a squadra se i due attacchi sono mutuamente ortogonali e a tre vie, della quale si è già trattato nel paragrafo precedente.

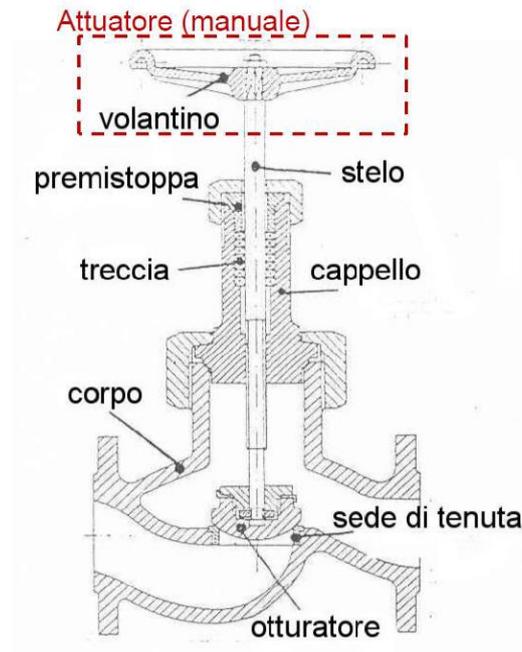


Figura 4.9 Rappresentazione schematica di una valvola

Le valvole, in base al tipo di funzione alla quale assolvono, possono essere divise in quattro categorie:

- valvole di intercettazione
- valvole di regolazione
- valvole di non ritorno
- valvole di sicurezza

Una valvola di intercettazione, riportata in Figura 4.10, ha il compito di arrestare o avviare la portata agendo, tramite una saracinesca, sulla sezione di passaggio del flusso. Il loro utilizzo consente il sezionamento dell'impianto per cui le valvole di intercettazione sono molto utili in fase di manutenzione.

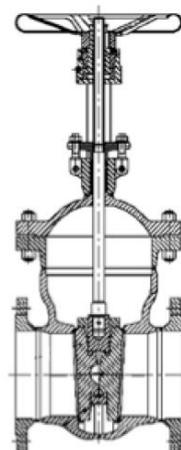


Figura 4.10 Schema di una valvola di intercettazione

Una valvola di regolazione consente di parzializzare la portata del fluido tramite una resistenza fisica, un restringimento della sezione di passaggio o un cambiamento di direzione. Attualmente, le valvole di regolazione più diffuse sul mercato sono le valvole a sfera, a farfalla, a fuso e a membrana. Un esempio è rappresentato in Figura 4.11.

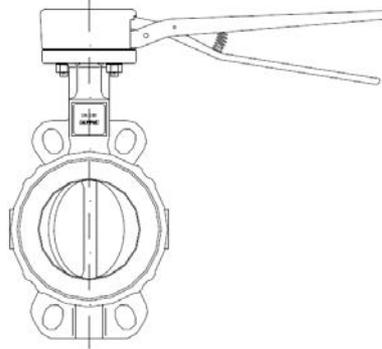


Figura 4.11 Valvola di regolazione a farfalla

La valvola di non ritorno o di ritegno sono dei dispositivi che permettono un'unica direzione del flusso. Una delle tipologie più diffuse è costituita dalla valvola di tipo clapet, dove l'otturatore, come si evince in Figura 4.12, è costituito da un piattello incernierato in corrispondenza della parte superiore del corpo valvola. Il piattello rimane sempre nella posizione di apertura fino a quando non avviene il cambio di direzione del flusso.

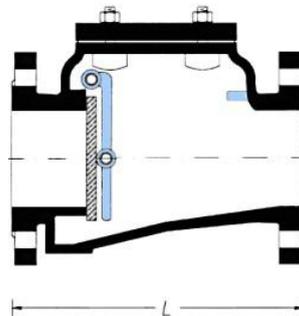


Figura 4.12 Valvola di ritegno di tipo clapet

Le pompe ovvero le macchine che conferiscono il moto ai liquidi, si possono classificare in base al principio di funzionamento e alle caratteristiche costruttive, in due tipologie:

- pompe volumetriche;
- pompe cinetiche.

Le pompe volumetriche producono un aumento di pressione del fluido attraverso il trasferimento diretto di energia meccanica generata dal moto di un organo mobile. Esse spostano quantità di liquido costante per unità di tempo e sono indicate nel caso in cui occorre erogare una portata limitata ma con elevata prevalenza.

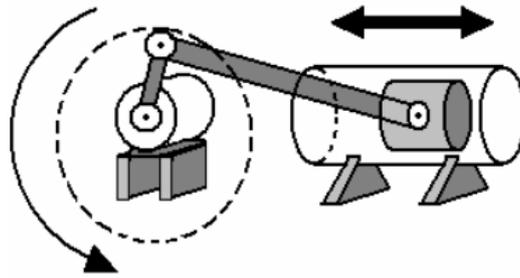


Figura 4.13 Esempio di pompa volumetrica

Invece, le pompe cinetiche sono caratterizzate da una trasmissione indiretta di energia meccanica, prodotta dalla parte mobile, che si converte in energia cinetica trasferita al fluido e, successivamente, in un incremento di pressione.

Le pompe centrifughe sono la tipologia di pompe cinetiche più diffuse in ambito industriale, il loro funzionamento è basato sulla rotazione di pale generate da un albero motore. In questo caso, il flusso in ingresso è sempre perpendicolare al flusso in entrata. I vantaggi che una pompa centrifuga comporta sono notevoli, ad esempio i bassi costi di manutenzione e di costruzione, gli ingombri minimi e la capacità di erogare una portata costante.

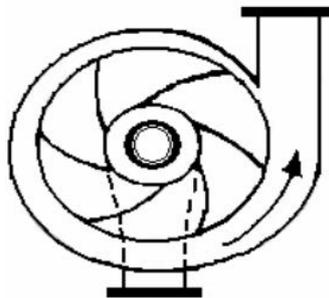


Figura 4.14 Esempio di pompa centrifuga

I compressori sono delle macchine che assolvono alla funzione di comprimere i gas, elevandone la pressione. Si suddividono in due gruppi:

- i compressori volumetrici;
- i compressori dinamici.

Nei compressori volumetrici l'aumento di pressione avviene diminuendo lo spazio a disposizione del gas. I compressori rotativi, alternativi e centrifughi rientrano all'interno di questa tipologia.

Il compressore a palette, riportato in Figura 4.15, è un esempio di compressore rotativo. Esso è costituito da una parte mobile detto rotore dotato di palette, una parte fissa detta statore, una condotta di aspirazione e una condotta di mandata. La compressione è generata dalla riduzione del volume per effetto del rientro delle palette all'interno di opportune scanalature.

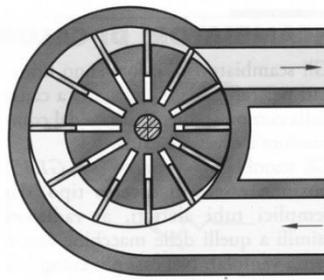


Figura 4.15 Compressore rotativo a palette

Un esempio di compressore alternativo, rappresentato in Figura 4.16, è il compressore a stantuffo. Esso è costituito da uno stantuffo che si muove all'interno del cilindro. In particolare, quando il pistone si muove verso il basso si ha l'aspirazione e un aumento di volume dell'aria, invece, quando il pistone si muove verso l'altro si ha la compressione e una diminuzione del volume dell'aria.

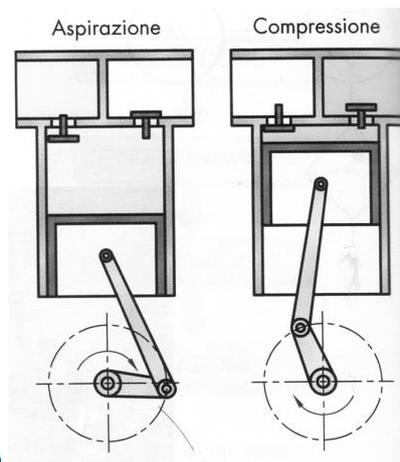


Figura 4.16 Compressore alternativo a stantuffo

Un compressore centrifugo, riportato in Figura 4.17, è costituito da una girante, una presa d'aria rappresentata da un diffusore racchiuso in un corpo e un collettore di uscita. L'energia viene trasmessa al fluido tramite la forza centrifuga che, attraverso la rotazione della girante, imprime una accelerazione radiale, incrementando la pressione del gas. Tale tipologia di compressore è molto utilizzata quando si vuole evitare la contaminazione del gas con particelle solide o liquidi. In generale, è molto diffuso nell'industria automobilistica, nei motori aeronautici e nell'industria di processo.

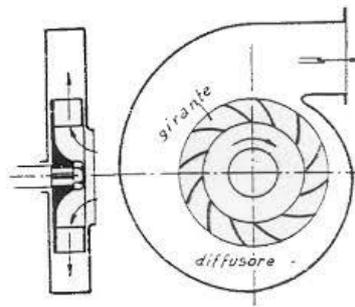


Figura 4.17 Compressore centrifugo

Gli eiettori sono delle apparecchiature che utilizzando il principio di Venturi consentono di miscelare, aspirare e trasportare i liquidi. Il funzionamento consiste nel passaggio della corrente di liquido in un restringimento di sezione che comporta un'accelerazione del fluido motore. A sua volta, si crea una depressione che permette di aspirare un secondo fluido definito fluido aspirato.

L'ultimo elemento da analizzare, riportato nella scheda di valutazione, è rappresentato dal compensatore di dilatazione ovvero un dispositivo di protezione che riduce o elimina le sollecitazioni indotte sulla condotta per effetto termico. Nel primo caso si utilizzano i compensatori di dilatazione con generazione di spinta se, invece, si vuole ridurre completamente le tensioni si ricorre ai compensatori di dilatazione senza o quasi generazione di spinta. La tipologia di compensatore più diffuso, rappresentato in Figura 4.18, è costituita dal compensatore a lira o ad omega.

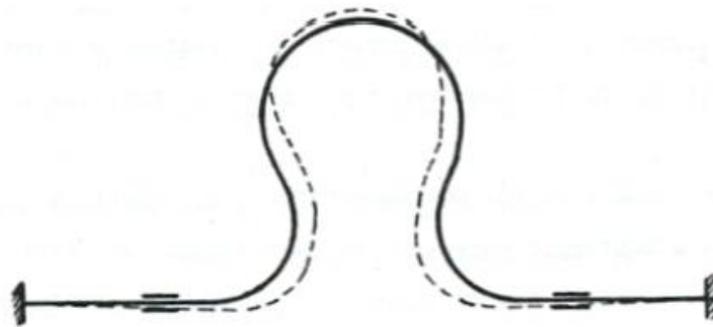


Figura 4.18 Schema di un compensatore a lira o ad omega

Scheda N°5		Valutazione della vulnerabilità delle apparecchiature industriali					
Valutazione specifica: condotta							
Assegnare un punteggio da 1 a 5 a ciascuna dei seguenti elementi. Il valore 1 corrisponde a nessun danno mentre il valore 5 a danno gravissimo. Il non applicabile è da considerarsi nullo ovvero avrà valore 0. Il totale sarà dato dalla somma aritmetica delle singole voci.							
N°	Elemento	Valutazione del danno					
1	Giunzione saldata	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
2	Giunto a manicotto	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
3	Giunto a bicchiere	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
4	Giunto a sfera	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
5	Valvola di sfiato	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
6	Valvola di intercettazione	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
7	Pompe	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
8	Compressori	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
9	Ventilatori	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
10	Valvola unidirezionale	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
11	Valvola di regolazione	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
12	Compensatore di dilatazione	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n.a.
	Tot.						

Scheda N°6		Valutazione della vulnerabilità delle apparecchiature industriali	
Valutazione complessiva: condotta			
Descrizione generale	Esempio	Valutazione	Entità del danno
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nessun danno alle parti strutturali dell'apparecchiatura ▪ Nessun danno alle parti non strutturali e/o accessorie ▪ Nessuna perdita di contenimento ▪ Il sisma non ha causato interruzione operativa 	 <p>Insieme di condotte non danneggiate dal sisma</p>	Tot. ≤ 15	Nessuno
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nessun danno alle parti strutturali ▪ Minimi danni alle parti non strutturali e/o accessorie ▪ Minima perdita di contenimento ▪ Possibile interruzione operativa per criticità dei supporti 	 <p>Spostamento della condotta a causa di un supporto inadeguato</p>	15 < Tot. ≤ 20	Lieve
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Minimi danni alle parti strutturali ▪ Danni modesti alle parti non strutturali e/o accessorie ▪ Possibile perdita di contenimento ▪ Interruzione operativa per i danni dovuti all'interazioni mutue 	 <p>Possibili danni a tubazioni adiacenti</p>	20 < Tot. ≤ 25	Modesto
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deformazioni delle parti strutturali della condotta ▪ Possibilità di incendio o esplosione ▪ Formazione di nube tossica ▪ Possibilità di vittime e danni all'ambiente 	 <p>Rottura di un giunto flangiato</p>	25 < Tot. ≤ 30	Grave
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rottura delle parti strutturali della condotta ▪ Gravi incendi ed esplosioni ▪ Formazione di nube tossica di grandi proporzioni ▪ Morte e devastazione nei territori limitrofi allo stabilimento 	 <p>Incendio di un impianto industriale causato dal sisma</p>	Tot. > 30	Gravissimo

CONCLUSIONE

Il tema della valutazione della vulnerabilità sismica delle apparecchiature industriali costituisce, attualmente, un argomento di discussione di primo piano all'interno della comunità scientifica in quanto un cospicuo numero di stabilimenti produttivi sono stati progettati e realizzati in territori caratterizzati da una elevata sismicità.

Inoltre, la materia risulta essere particolarmente complessa poiché, una sua trattazione esaustiva, necessita dell'analisi di professionisti appartenenti a diversi ambiti ingegneristici quali, ad esempio, l'ingegneria strutturale, geotecnica, chimica e ad altre scienze naturali.

Secondo una visione più ad ampio raggio, un evento sismico colpisce, non solo tutte le unità presenti all'interno di uno stabilimento industriale ma, bensì, anche tutte le strutture civili ad esso afferente. In aggiunta, le conseguenze generate dal sisma in termini di perdite di contenimento possono creare degli scenari incidentali sotto forma di incendi, esplosioni o dispersioni di nubi tossiche nelle zone limitrofe all'impianto.

Per tali motivi, in questo lavoro di tesi, si è scelto di sviluppare il tema della vulnerabilità sismica secondo un duplice punto di vista: l'ambito civile-ambientale e l'ambito industriale. Pertanto, sono state redatte diverse schede di valutazione per stabilire l'entità dei danni subiti dagli edifici e dalle apparecchiature per effetto dell'azione sismica.

L'analisi della vulnerabilità sismica, relativamente al settore civile-ambientale, è stata effettuata considerando, in primo luogo, la tenuta strutturale di tutti gli elementi architettonici che assolvono a tale funzione. In seguito, sono stati approfonditi gli aspetti relativi alla vulnerabilità impiantistica ovvero la valutazione dell'entità dei danni subiti dall'impianto elettrico, idrico e antincendio installati su un edificio.

Un'altra scheda di valutazione è stata realizzata per analizzare gli effetti del sisma sulle principali infrastrutture costruite nell'area di danno. Infine, un'attenzione particolare è stata riservata all'ambiente e al territorio colpite dall'evento sismico.

Nella fattispecie, per ciò che concerne il tema del dissesto idrogeologico, sono state trattate le criticità connesse al movimento del suolo indotto dal sisma quali le frane e la liquefazione. Invece, relativamente alle problematiche di natura ambientale, sono state elencati i danni arrecati dal sisma in termini di peggioramento delle condizioni igienico-sanitarie. È stato, altresì, trattato l'annoso tema dello smaltimento dei rifiuti generati dal crollo delle abitazioni e dei rifiuti solidi urbani.

L'ultima parte della tesi è stata incentrata sulla valutazione della vulnerabilità sismica delle principali apparecchiature industriali ovvero i serbatoi e le condotte. Infatti, sebbene, in realtà,

siano presenti anche altre tipologie di unità, i serbatoi e le condotte sono le apparecchiature, di gran lunga, più diffuse e utilizzate all'interno di uno stabilimento industriale.

La valutazione è stata condotta effettuando, in un primo momento, una classificazione in merito alle tipologie di serbatoi presenti in commercio in termini di geometrie, materiali e procedimento costruttivi. In seconda battuta, è stata redatta la scheda di valutazione per stimare l'entità dei danni subiti dal serbatoio sia dal punto di vista strutturale sia per ciò che riguarda le componenti accessorie.

Analogamente, è stata eseguita un'analisi di vulnerabilità sismica in riferimento alle condotte utilizzate per il trasporto dei fluidi. In questo caso, si è posto l'accento sulle varie tipologie di materiali attraverso le quali, le tubazioni possono essere realizzate. Inoltre, è stata effettuata una classificazione dei dispositivi accessori per la movimentazione e la regolarizzazione del flusso.

La realizzazione delle schede di valutazione della vulnerabilità sismica elaborate in questo lavoro di tesi sono indirizzate alle squadre di soccorso appartenenti ad un ente di pubblica sicurezza al fine di stimare in maniera speditiva l'entità dei danni subiti dal patrimonio edilizio e dalle apparecchiature industriali colpite dall'evento sismico.

Inoltre, l'utilizzo delle schede sinottiche è consigliato anche in una fase di esercitazione in modo tale da garantire, in sede di valutazione dell'entità dei danni, la velocità di esecuzione più elevata possibile nel caso in cui si manifestasse l'emergenza reale ovvero, in altri termini, per assicurare un'idonea formazione e addestramento alle squadre di soccorso.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Salzano, E., A. G. Agreda, A. Di Carluccio e G. Fabbrocino (2009). Risk assessment and early warning systems for industrial facilities in seismic zones. *Reliability Engineering and System Safety*, 94, p. 1577-1584.
- Giovinazzi, S. (2005), The vulnerability assessment and the damage scenario in seismic risk analysis. *Ph.D.Thesis*, Università degli Studi di Firenze.
- Bramerini, F., G. Di Pasquale, G. Naso e M. Severino (2008). *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica* (parti I e II). Dipartimento della protezione civile, Roma, p. 24-25.
- Ricchiuti, A., A. Lotti, F. Astorri e M. Caparresi (2013). Mappatura dei pericoli di incidente rilevante in Italia. *Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale (ISPRA)*, Roma, p. 34.
- Rossini V. e Carli P. (2013). *Analisi Na-Tech per gli impianti chimici*. Atti della giornata di studio "Sicurezza sismica degli impianti chimici a rischio di incedente rilevante, p. 25.
- Clemente P. (2013). *Sicurezza sismica delle strutture industriali*. Atti della giornata di studio "Sicurezza sismica degli impianti chimici a rischio di incedente rilevante, p. 17-18.
- Calvi, G. M., R. Pinho, G. Magenes, J.J. Bommer, L. F. Restrepo Velez e H. Crowley (2006). Development of seismic vulnerability assessment methodologies over the past 30 years. *ISET Journal of Earthquake Technology*, Paper No. 472, Vol. 43, No. 3, September 2006, p. 75-104.
- Polidoro B. (2010). La valutazione della vulnerabilità sismica: il caso di Pettino (Aq). *Tesi di laurea in Ingegneria Strutturale e Geotecnica*, DIS, Università degli Studi di Napoli Federico II.
- Di Carluccio, A. (2007), Structural Characterisation and Seismic Evaluation of Steel Equipments in Industrial Plants. *Ph.D.Thesis*, Università degli Studi di Napoli Federico II.
- Fabbrocino, G., I. Iervolino, F. Orlando e E. Salzano (2005). Quantative risk analysis of oil storage facilities in seismic area. *Journal of Hazardous Materials*, A123, p. 61-69.
- Fabbrocino, G. e I. Iervolino (2005). Seismic risk of atmospheric storage tanks by probit analysis. Università degli Studi di Napoli Federico II.
- Di Gregorio, L., P. Salvini, F. Vivio, V. Vullo (2002). Valutazione dell'effetto di sloshing nei serbatoi in movimento. *Associazione Italiana per l'Analisi delle Sollecitazioni (AIAS) XXXI Convegno nazionale*, Parma.
- Brabharan, P., G.K. Bharathy e R. Lynch (2003). Natural Hazards Risk Associated with Petroleum Storage in the Wellington Region, New Zealand. *Pacific Conference on Earthquake Engineering*.

- Lanzano, G., E. Salzano, F. Santucci de Magistris e G. Fabbrocino (2014). Seismic vulnerability of gas and liquid buried pipelines. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 28, p. 72-78.
- Lee, D. H., B. H. Kim, H. Lee e J. S. Kong (2009). Seismic behavior of a buried gas pipeline under earthquake excitations. *Engineering Structures*, 31, p. 1011-1023.
- Stannard, M., B. Galloway e D. Brunson (2014). Field guide: rapid post disaster, building usability assessment-earthquake. *Ministry of Business, Innovation and Employment (MBIE)*, Wellington, New Zealand, p. 20.
- Dolce, M., F. Papa, A. G. Pizza (2014). Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES). *Dipartimento della protezione civile*, Roma.
- Gabrielli, F., L. M. Galluzzi, A. Amato, S. Balducci e F. Beolchini (2018). Gestione dei rifiuti in emergenza: analisi di casi studio italiani. *Ingegneria dell'ambiente*, Vol. 5 n. 1/2018, p.47.
- Caputo, A., F. Paolacci, O. S. Bursi. R. Giannini (2019). Problems and perspectives in seismic quantitative risk analysis of chemical process plant. *Journal of Pressure Vessel Technology*, Vol. 141/010191.
- Yigit, A., M. A. Lav, A. Gedikli (2018). Vulnerability of natural gas pipelines under earthquake effects. *J. Pipeline Syst. Eng. Pract.* 9(1): 04017036.

Siti web

<http://www.vigilfuoco.it/asp/page.aspx?IdPage=3813>

<http://www.ingv.it/ufficio-stampa/faq/terremoti/zxcvcbdfgb>

http://www.protezionecivile.gov.it/attività-rischi/rischio_sismico/descrizione

https://ingvterremoti.wordpress.com/faq/glossario/#_Toc427851284

<http://ingvterremoti.wordpress.com/i-terremoti-in-italia/>

<http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/suolo-e-territorio/siti-contaminati>

http://www.researchgate.net/publication/312910329_Seismic_Response_of_RCC_Storage_Tanks_in_HighRisk_Seismic_Zones/link/58896f7992851c06a133ef2c/download